BENZETİM TEMELLİ BİR YAKLAŞIM VE DOĞRUSAL OLMAYAN PROGRAMLAMA İLE ENVANTER EN İYİLEME ÖNERİSİ

Yavuz KARAZEYBEK

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hale Fulya YÜKSEL

Ağustos, 2020

Afyonkarahisar

T.C.
AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

BENZETİM TEMELLİ BİR YAKLAŞIM VE DOĞRUSAL OLMAYAN PROGRAMLAMA İLE ENVANTER EN İYİLEME ÖNERİSİ

Hazırlayan
Yavuz KARAZEYBEK

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Hale Fulya YÜKSEL

AFYONKARAHİSAR 2020

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum **"Benzetim Temelli Bir Yaklaşım ve Doğrusal Olmayan Programlama ile Envanter En İyileme Önerisi"** adlı çalışmanın, tarafımdan bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Kaynakça'da gösterilen eserlerden oluştuğunu, bunlara atıf yaparak yararlanmış olduğumu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

10/08/2020

Yavuz KARAZEYBEK

TEZ JÜRİSİ KARARI VE ENSTİTÜ MÜDÜRLÜĞÜ ONAYI

JURI UYELERI

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Hale Fulya YÜKSEL

Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Fatih ECER

Dr. Öğr. Üyesi Nurcan DENİZ

İşletme Anabilim Dalı Üretim Yönetimi ve Pazarlama Bilim Dalı Tezli Yüksek Lisans öğrencisi Yavuz KARAZEYBEK'in "Benzetim Temelli Bir Yaklaşım ve Doğrusal Olmayan Programlama ile Envanter En İyileme Önerisi" başlıklı tezi, 10 Ağustos Pazartesi günü saat 10:30'da Afyon Kocatepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca, yukarıda isim ve imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Elbeyi PELİT

Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürü

ÖZET

BENZETİM TEMELLİ BİR YAKLAŞIM VE DOĞRUSAL OLMAYAN PROGRAMLAMA İLE ENVANTER EN İYİLEME ÖNERİSİ

Yavuz KARAZEYBEK

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

Ağustos, 2020

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hale Fulya YÜKSEL

Envanter kararları hemen her işletme için oldukça önemlidir. Envanterin elde bulundurulması ya da bulundurulmaması çok yüksek maliyetler oluşmasına sebep olabilir. Bu maliyetler işletmeler için rekabette dezavantajlar oluşturabilmektedir. Bazen doğru kararı belirlemek ve ilgili alanlarda bu kararları uygulamak zor olabilmektedir. Bu karar verme sürecine yardımcı bazı modeller bulunmaktadır. Envanter yönetimi modelleri olarak anılan bu modeller iki anahtar soruya -"ne zaman sipariş verileceği" ve "ne kadar sipariş verileceği"- cevap bulmaya yardımcıdır. Bu iki anahtar soruya cevap vermek için modeller matematiksel formüller barındırmaktadır. Bu çalışma bu sorulara, karmaşık matematiksel formüller olmadan cevap vermeyi amaçlamaktadır. Talebin tahmin edilmesi için Monte Carlo Benzetimi kullanılmıştır ve tahmin edilen bu veriler ile karı maksimize, zararı minimize etmek için maliyet hesaplamaları yapılmıştır. Envanter kararlarını en iyilemek için MS Excel Çözücü eklentisi içerisinde Doğrusal Olmayan Programlama kullanılmıştır. Ayrıca, talep ve maliyetlerin belirlenmesi için ikincil veriler kullanılmıştır. En iyileme süreci sonucunda karı maksimize eden sipariş miktarı ve tekrar sipariş noktası belirlenmiş ve test edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Monte carlo benzetimi, envanter yönetimi modelleri, sipariş miktarı, tekrar sipariş noktası, doğrusal olmayan programlama

ABSTRACT

INVENTORY OPTIMIZATION PROPOSAL WITH A SIMULATION BASED APPROACH AND NONLINEAR PROGRAMMING

Yavuz KARAZEYBEK

AFYON KOCATEPE UNIVERSITY
INSTITUTE OF SOCIAL SCIENCES
DEPARTMENT OF BUSINESS ADMINISTRATION

August, 2020

Advisor: Assist. Prof. Dr. Hale Fulya YÜKSEL

Inventory decisions are extremely crucial for almost any businesses. Holding or not holding inventory on hand can lead to excessive costs. These costs may create competitive disadvantage to the business. Sometimes it can be hard to determine the right decision and implement it to the related areas. There are some models to help this decision making process. These models are called inventory management models and they help to answer two key questions about inventory decisions -"when to order" and "how much to order". To answer these two questions, models include some mathematical formulas. This study aims to answer these questions without any complicated mathematical formulas. Monte Carlo simulation has been used to forecast demand and through these forecasted data, cost calculations have been done in order to maximize profit or minimize loss. Non-Linear Programming in MS Excel Solver extension has been used to optimize inventory decisions. Moreover, secondary data sources have been used to determine demand and inventory costs. As a result of the optimization process, lot size and reorder point which maximize the profit have been determined and tested.

Keywords: Monte carlo simulation, inventory management models, lot size, reorder point, nonlinear programming

ÖN SÖZ

Envanter hemen her işletmenin bünyesinde bir şekilde bulunmaktadır. Bazı işletmelerde envanterin yönetimi o kadar önemli olmasa da çoğu işletme etkin bir envanter yönetimi ile karlılığını artırabilmektedir. Envanter yönetimi, üretim sürecinin hemen her adımında karşılaşılan problemlerle ilgilenirken; bu çalışmanın uygulaması dahilinde talebe karşılık olarak arz edilen bitmiş ürün envanteri üzerinde durulmuştur. Bu doğrultuda, uygulaması kolay sayılabilecek ve oldukça düşük maliyetli bir envanter yönetim sistemi önerilmiş ve en iyilenmiş envanter kararları açısından bulgular paylaşılmıştır.

Hayatım boyunca aldığım doğru, yanlış her kararda yanımda olan, beni destekleyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmam süresince gerek verdiği fikirler ile gerekse pozitif yaklaşımı ile kendimi yanında açıkça ifade edebildiğim danışmanım, değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Hale Fulya YÜKSEL'e ayrıca saygılarımla teşekkür ederim. Ayrıca eğitim ve iş hayatımda bana yol gösteren; Prof. Dr. Şuayip ÖZDEMİR, Prof. Dr. Tuğrul KANDEMİR, Dr. Öğr. Üyesi Ender BAYKUT, Dr. Öğr. Üyesi Volkan YÜNCÜ ve farklı bakış açıları ile beni sürekli canlı tutan Arş. Grv. Halilibrahim GÖKGÖZ, Arş. Grv. Yunus Yıldırım, Arş. Grv. Arif ARİFOĞLU, Arş. Grv. Mücahit YILDIRIM, Öğr. Grv. Hasan Basri İPEK hocalarıma sevgi saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Çalışma üzerinde önemli katkıları bulunan Doç Dr. Fatih ECER ve Dr. Öğr. Üyesi Nurcan DENİZ hocalarıma da teşekkür ederim. Bunun yanında isimlerini sayamadığım çok değerleri arkadaşlarıma sevgilerimi saygılarımı iletirim.

Yavuz KARAZEYBEK
2020, Afyonkarahisar

İÇİNDEKİLER

Sayfa

YEMİN METNİ ... **ii**
TEZ JÜRİSİ KARARI VE ENSTİTÜ MÜDÜRLÜĞÜ ONAYI ... **iii**
ÖZET ... **iv**
ABSTRACT ... **v**
ÖN SÖZ ... **vi**
İÇİNDEKİLER ... **vii**
TABLOLAR LİSTESİ ... **ix**
ŞEKİLLER LİSTESİ ... **x**
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ... **xi**
GİRİŞ ... **1**

BİRİNCİ BÖLÜM

ÜRETİM İŞLETMELERİNDE ENVANTER YÖNETİMİ

1. ENVANTER KAVRAMI ... **4**
1.1. ENVANTER BULUNDURMA SEBEPLERİ ... 4
1.2. ENVANTER ÇEŞİTLERİ ... 6
2. ENVANTER YÖNETİMİ ... **8**
2.1. ENVANTER POLİTİKALARI ... 10
2.2. ENVANTER MALİYETLERİ ... 11
3. ENVANTER YÖNETİMİ MODELLERİ ... **13**
3.1. TALEP YAPISINA GÖRE ENVANTER YÖNETİMİ MODELLERİ ... 14
3.1.1. Bağımsız Talep İçin Envanter Modelleri ... **14**
3.1.1.1. Ekonomik Sipariş Miktarı Modeli ... 15
3.1.1.2. Üretim Sipariş Miktarı Modeli ... 19
3.1.1.3. Miktar İndirimi Modeli ... 20
3.1.1.4. Diğer Modeller ... 20
3.1.2. Bağımlı Talep İçin Envanter Modelleri ... **21**
3.1.2.1. Malzeme İhtiyaç Planlaması (MRP) ... 21
3.1.2.2. Tam Zamanında Envanter Sistemi ... 22
3.2. SEÇİCİ ENVANTER YÖNETİMİ MODELLERİ ... 24
3.2.1. ABC Analizi ... **24**
3.2.2. VED Analizi ... **25**
3.2.3. FSN Analizi ... **26**
4. ENVANTER YÖNETİMİ İLE İLGİLİ LİTERATÜRDEKİ ÇALIŞMALAR **26**

İKİNCİ BÖLÜM

BENZETİM VE DOĞRUSAL OLMAYAN PROGRAMLAMA

1. BENZETİM KAVRAMI ... **34**
2. ENVANTER YÖNETİMİNDE BENZETİM KULLANIMI ... **37**
3. MONTE CARLO BENZETİMİ ... **40**
4. BENZETİM TABANLI EN İYİLEME ... **42**
5. DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN PROGRAMLAMA ... **44**

6. BENZETİM İLE İLGİLİ LİTERATÜRDEKİ ÇALIŞMALAR 46

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

BENZETİM TEMELLİ BİR YAKLAŞIM VE DOĞRUSAL OLMAYAN PROGRAMLAMA İLE ENVANTER EN İYİLEME ÖNERİSİ

1. ARAŞTIRMANIN AMACI 52
2. ARAŞTIRMANIN ÖNEMİ 52
3. ARAŞTIRMANIN KISITLARI VE SINIRLILIKLARI 53
4. ARAŞTIRMANIN METODU 54
4.1. VERİLERİN TEMİNİ VE İŞLENMESİ 54
4.2. HAZIRLIK, BENZETİM SÜRECİ VE UYGULAMA 57
4.3. EN İYİLEME SÜRECİ 63
5. BULGULAR 66

TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER 71
KAYNAKÇA 75
ÖZGEÇMİŞ 80

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1. Aylık Talep Verileri **54**
Tablo 2. Eğitim ve Test Setleri **55**
Tablo 3. Düzenlenmemiş Olasılıksal Talep Tablosu **56**
Tablo 4. Olasılıksal Talep Tablosu **57**
Tablo 5. Maliyet Verileri **57**
Tablo 6. Olasılıksal Tedarik Süresi Tablosu **57**
Tablo 7. Örnek Simülasyon ve Maliyet Hesapları **61**
Tablo 8. Çoklu Başlangıç Noktası ile En İyi Değerler **66**
Tablo 9. Çoklu Başlangıç Noktası ile En İyi Durum **66**
Tablo 10. Açılım Seçeneği Sonucu Başlangıç Noktası ile En İyi Sonuçlar **67**
Tablo 11. Minimum ve Maksimum Kar/Zarar Durumları **69**
Tablo 12. Basit Ortalama Yöntemi Sonuçları **69**
Tablo 13. Monte Carlo Benzetimi ve Doğrusal Olmayan Programlama Sonuçları **69**
Tablo 14. Sonuçlar **70**

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1. Ekonomik Sipariş Miktarı Modeli **16**
Şekil 2. Envanter Yönetiminde Maliyetler..... **16**
Şekil 3. Üretim Sipariş Miktarı Modeli..... **19**
Şekil 4. ABC Analizi..... **25**
Şekil 5. Envanter Benzetimi Akış Şeması..... **39**
Şekil 6. Doğrusal Programlama..... **45**
Şekil 7. Doğrusal Olmayan Programlama..... **46**
Şekil 7. Veri Tablosu..... **62**
Şekil 8. Çözücü Eklentisi **65**
Şekil 9. Çoklu Başlangıç Noktası..... **65**
Şekil 10. Açılım..... **67**
Şekil 11. Tamsayı En İyi Durum Ölçütü..... **68**

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

%: Yüzde
&: Ve
a: Satış Fiyatı
b: Karşılanmayan Talep
bkz.: Bakınız
c: Elde Bulundurma Maliyeti
D: Talep
e: Karşılanan Talep
I: Envanter Miktarı
k: Satın Alınan Malın Maliyeti
s: Elde Bulundurmama Maliyeti
MRP: Malzeme İhtiyaç Planlaması
P: Sabit Oranlı Sipariş Miktarı (Üretim Miktarı)
Q: Sipariş Miktarı
Q_d: Sipariş Kararı
SM: Belirlenen Sipariş Miktarı
TM: Toplam Maliyet
TSN: Tekrar Sipariş Noktası
v: Sipariş Maliyeti
vb.: Ve Benzeri
vd.: Ve diğerleri

GİRİŞ

Envanter, üretim veya hizmet işletmelerinde ağırlıkları ve yapıları değişmekle birlikte sürekli olarak bulunan ve yönetilmesi gereken bir kalemdir. Bünyesindeki envanter durumunu takip etmeyen işletmeler potansiyel karlarından bir şekilde vazgeçmişlerdir. Envanterin kontrolü tek başına karlılığı artırmasa dahi karlılığı artıracak aksiyonları almak için zemin hazırlamaktadır.

Envanter yönetimi, üretim süreci boyunca sistem içerisinde yer alan envanter ile ilgili bütün kararlarla ilgilenmektedir. Envanterin yönetilmesi demek aslında bütün üretim sürecinin incelenmesi ve geliştirilmesi anlamına da gelmektedir. Envanterin sağlıklı bir şekilde incelenmesi ve kullanılması üretim süreçlerini hızlandırır, kalite sorunlarının önüne geçer, daha kolay strateji belirlemeyi ve planlamayı sağlar.

Envanter yönetiminin sağlanması için envanter girdileri ve çıktılarının doğru ve tutarlı bir şekilde kaydedilmesi gerekmektedir. Doğru bilgi girdilerinin sağlanmadığı bir sistemde envanter yönetimi etkin bir şekilde sağlanamaz. Bu kayıtların yapılabilmesi ve mevcut kayıtların doğruluğunun sağlanabilmesi; hatta bu süreçlerin hızlandırılması ve eylemler ile eşzamanlı şekilde ilerlemesi işletmeye belirli maliyetler getirir. Eğitilmiş personeller hatta yeni personel alımları gibi ek maliyetler kısa vadede işletmeler için büyük görünse de edinilen sağlıklı veri ile bu maliyetleri karşılayıp hatta karı artıracak kararlar alınabilir.

Envanter çoğu sistemde bir maliyet olarak görülür. Envanter yönetiminin amacı da bu maliyetleri azaltmak ve süreçlerde iyileşme sağlamaktır. Envanter maliyetleri temel olarak üç ana başlıkta toplanabilir; elde bulundurma maliyeti, elde bulundurmama maliyeti ve sipariş maliyeti. Bu maliyet kalemlerinin ağırlıkları işletmelerin yapısına göre değişiklik göstermektedir. Bu maliyetlerin tamamını aynı anda aşağı çekmek her zaman mümkün olmamaktadır. Çünkü elde bulundurma ve elde bulundurmama maliyetleri genelde birbirlerinin zıt yönünde hareket ederler. Örneğin bir üründen çok fazla envanterde bulundurmak elde bulundurmama maliyetini azaltırken elde bulundurma maliyetini artırır. Bu yüzden aralarında bir denge oluşturulması gerekmektedir.

Bahsedildiği üzere envanter yönetimi bütün üretim sürecinde varlığını göstermektedir. Bu çalışma içerisinde üretimi tamamlanmış, satışı bekleyen bitmiş mamullerin işletmeye yüklediği maliyetler incelenmiş yapılabilecek iyileştirmeler ve kullanılacak sistemler incelenmiştir. Bir üretim süreci sonrasında arz edilen ürünlerin

envanterinin kontrol edilmesi ve en iyi seviyenin yakalanabilmesi için sonraki süreçlerden veya müşterilerden gelecek talebin bir şekilde tahmin edilebiliyor olması gerekmektedir. Ne kadar ürüne ihtiyaç duyulacağı bilinmeden veya tahmin edilmeden envanter yönetiminden söz edilemez.

Talep tahmini konusunda önerilen birçok yöntem bulunmaktadır. Bu çalışmada talebin dışsal faktörlerden nasıl ve ne derece etkilendiğinin bilinmediği bir ortamda talep tahmini için de kullanılan Monte Carlo Benzetimi uygulanmıştır. Monte Carlo Benzetimi çalışma sistemi içinde rassallık çok önemli bir yere sahiptir. Bu yöntemde gelecek talep, geçmiş verilerin analizi ile birlikte rastgele şekilde tahmin edilir.

Çalışmanın devamında Monte Carlo benzetimi envanter durumu ile bütünleşik bir şekilde çalıştırılarak bir envanter benzetimi oluşturulmuştur. Envanter benzetiminde gerçekleşen durumlar sonrası elde bulunan maliyet verileri sisteme işlenerek işletmenin dönem sonu kar/zarar durumu bilgisine ulaşılmıştır.

Benzetim yöntemi, uygulanacak sistem iyi tanındığı ve formüle edilebildiği sürece oldukça etkili bir yöntemdir. Sistemi doğru şekilde temsil eden bir benzetim oluşturulduktan sonra önemli kararlar benzetimde test edilerek önemli maliyetlerden kaçınılmış olunur. Benzetim bir kere çalıştırıldığında gerçekleşmesi muhtemel senaryolardan yalnızca birine ulaşılır. Yani benzetim yöntemi eğer karar alma amaçlı kullanılacaksa yalnızca bir tekrar yeterli olmayacaktır. Benzetimin çok sayıda tekrar edilmesi ve elde edilen sonuçların ortalamasının alınması ve bu değerin karar alma amacı ile kullanılması daha mantıklıdır. Bu çalışmada elde edilen ortalama veriler doğrusal olmayan programlama modeli içinde değerlendirilerek en iyi sonuçlara ulaşılmak istenmiştir.

Yukarıda bahsedilen bilgiler doğrultusunda bu çalışmanın amacı işletmelerin envanter yönetiminde kullanabilecekleri basit fakat etkili bir yöntemi ortaya koymaktır. Bu doğrultuda şu araştırma sorularına cevap aranmıştır:

- İşletmelerin envanter yönetiminde benzetim ve en iyileme teknikleri ne şekilde kullanılabilir?
- Monte Carlo Benzetimi ile talep tahmini nasıl etkin şekilde yapılabilir?
- Doğrusal olmayan programlama ile tekrar sipariş noktası ve sipariş miktarı değişkenleri en iyi şekilde belirlenebilir mi?

- Benzetim ve doğrusal olmayan programlama ile yapılan envanter yönetiminin diğer envanter yönetimi modellerine göre üstün sayılabilecek yanları var mıdır ve varsa nelerdir?

Bu araştırma sorularını cevaplamak üzere tezin içeriği şu şekilde oluşturulmuştur:

Çalışmanın birinci bölümünde envanter yönetimi konusu envanter modelleri kapsamında değerlendirilmiştir. Envanter modelleri envanter kararlarının minimum maliyet, maksimum kazanç koşullarını sağlayacak şekilde alınmasına yardımcı modellerdir. Değinilen envanter maliyetleri ile elde edilen getiriler değerlendirilerek "ne zaman" ve "ne kadar" sipariş verileceği kararları verilir.

Çalışmanın ikinci bölümünde benzetim yöntemi konusunda detaylar verilmiş avantaj ve dezavantajlarına değinilmiştir. Bunun yanında benzetim yönteminin kullanılması için gereken koşullar ve uygulama adımları da detaylı şekilde verilmiştir. Çalışmanın asıl amacını desteklemesi açısından benzetimin envanter yönetimi içerisindeki uygulamaları incelenmiş, çalışmada uygulanan MS Excel üzerinden envanter benzetiminin çalışması detaylandırılmıştır. Ardından amaç fonksiyonunu en iyilemek için kullanılan doğrusal olmayan programlama yöntemi ile ilgili kavramlar ve çalışma şekline değinilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümü uygulama kısmıdır. Uygulama kısmında talep ve maliyet değerleri ikincil veri şeklinde elde edilmiştir. Elde edilen veriler Monte Carlo benzetimine uyacak şekilde şekillendirilmiş, envanter benzetiminin oluşturulması ve kar/zarar durumunun tespiti amaçlı kullanılmıştır. Tekrar sipariş noktası ve sipariş miktarı değerleri için en iyi nokta belirlenmesinde doğrusal olmayan programlama yöntemi MS Excel Çözücü aracılığıyla uygulanmıştır. Uygulama sonucunda basit ortalama yöntemine göre envanter maliyetlerini aşağı çekerek karı artırıcı etki gösteren en iyi tekrar sipariş noktası ve sipariş miktarı değerleri belirlenmiştir. Talep, tedarik süresi, maliyet verileri ile birlikte uygulama sonucunda elde edilen bulgular tablolarda gösterilmiştir.

Çalışmanın en son kısmı olan sonuç bölümünde ise genel anlamda uygulama kısmı irdelenmiştir. Bu bölüm içinde araştırmanın nasıl başladığı ve zaman içinde nasıl şekillendiğine ilişkin bilgiler yer almaktadır. Kısıtlar ve sınırlılıklar dikkate alınarak uygulama aşamaları ve düşünülen kullanım alanları için eleştirel bir bakış açısı ve tartışmalar da aktarılmıştır. Son olarak bulgular özetlenmiş daha sonraki yapılacak çalışmalara yardımcı olması açısından önerilerde bulunulmuştur.

BİRİNCİ BÖLÜM

ÜRETİM İŞLETMELERİNDE ENVANTER YÖNETİMİ

1. ENVANTER KAVRAMI

Bütün örgütler envanter bulundururlar. Şirketin ham maddeleri, yarı mamulleri, operasyonlarda kullanılan malzemeler ve bitmiş mamuller envanteri oluşturur (Muller, 2003: 1).

Envanter, ürünlerin fiziksel olarak işletme içerisinde gelecek talebi karşılamak üzere bulundurulmasıdır. Envanterin ekonomik bir değere sahip olup işletme için kullanılabilir ama atıl kaynaklar şeklinde tanımlanması da mümkündür. Envanterin gerekli bir kötülük olarak görülmesindeki sebep de buradaki çelişkidir (Vrat, 2014: 21).

Envanter, gelecekte yapılacak üretim ve müşterilerden gelecek talebin karşılanması için işletmenin bünyesinde bulundurduğu mallar olarak da tanımlanabilir (Öztürk, 2016: 587).

Kobu (2017: 327) üretim yapan bir sistemde ana ürün üretiminde dolaylı olarak veya doğrudan etkisi bulunan her türlü fiziksel varlığı envanter olarak tanımlamıştır.

1.1. ENVANTER BULUNDURMA SEBEPLERİ

İşletmelerin beklenen talebi karşılaması için envanter bulundurmaları gerekmektedir; çünkü gerektiğinde istenilen malzemelere ulaşılamazsa bu üretimi yavaşlatabilir veya durdurabilir. Ancak envanter bulundurmanın da maliyetleri vardır. Sonuçta envanter tutmanın bir gereklilik olduğu fakat aynı zamanda da istenmediği ortaya çıkmaktadır. Envanter yönetimi envanterin doğasında bulunan bu çatışmadan dolayı zorlu bir iştir (Vrat, 2014: 21).

Envanter birçok işletme için pahalı varlıklar içerisinde yer alır. Yöneticiler iyi bir envanter yönetiminin işletme için çok önemli olduğu konusunda hemfikirdir. Envanter miktarı aşağı çekilerek maliyetler düşürülebilir ancak diğer taraftan bu üretimi durdurabilir ve gelen talep karşılanamadığında müşteriler için hayal kırıklığı yaratabilir. Envanter yönetiminin amacı da envantere yapılacak harcamalar ile müşterilere verilecek hizmet arasındaki en iyi noktaya ulaşmaktır (Heizer vd.: 2016: 490).

Yalın üretim felsefesi kapsamında yer alan Tam Zamanında Üretim (TZÜ) metodunda envanter yalnızca bir israf olarak değerlendirilmektedir. Buna rağmen zayıf nakit akışından muzdarip, departmanlar arası veya tedarikçileri ile güçlü elektronik iletişimi sağlayamayan, tedarik süreleri veya tedarik edilen malzemelerin kalitesi üzerindeki kontrolü zayıf olan işletmeler için envanter önemli bir rol oynamaktadır (Muller, 2003: 3).

Bitmiş mamullerin küçük bir miktarda envanterinin bulundurulması çoğu zaman talebin kesintisiz karşılanması için bir gerekliliktir. Bu israf olarak gözlemlenebilir ancak bu gibi küçük israflar ile daha büyük maliyetlerden kaçınmak mümkündür (Liker, 2004: 127).

Muller (2003) envanter bulundurmanın en önemli sebeplerini şu şekilde ifade etmiştir:

- *Tahmin edebilirlik:* Kapasite planlama ve üretim çizelgeleme faaliyetlerini gerçekleştirebilmek için belirli bir sürede ne kadar ham madde, parça gerektiği üzerinde kontrol sahibi olmak gerekmektedir. Envanter bu konuda yardımcı olur.
- *Talepteki dalgalanmalar:* Her zaman ne kadar ürüne ihtiyacın oluşacağını bilmek oldukça zor bir iştir ancak bir işletmenin müşterilerini memnun etmesi gerekmektedir. Eğer işletme bünyesinde envanter bulundurursa talepteki dalgalanmalara karşı kendisini o kadar korumuş olur.
- *Tedariğin güvenilir olmaması:* Envanter güvenilir olmayan tedarikçilere karşı bir koruma sağlar. Bunun yanında eğer tedarik edilecek ürün az bulunan cinstense veya düzenli bir şekilde tedariği yapısı gereği mümkün değilse yine envanter bulundurmak gerekebilir.
- *Fiyat koruma*: Envanter bulundurmak maliyetlerde oluşacak enflasyondan etkilenmemek için kullanılabilecek bir yöntemdir. Ancak bunun sağlanabilmesi için ödemenin mevcut şartlardaki fiyatlar üzerinden yapılması konusunda anlaşılması gerekmektedir.
- *Miktar indirimleri:* Birçok tedarikçi fazla sayıda alım yapılacağı zaman fiyat konusunda esneklik sağlayabilmektedir. Bu karar hesaplamalar sonucunda karlı bir hareket olarak gözüküyorsa envanterin oluşturacağı maliyetlere katlanma konusunda ikna edici olabilir.
- *Sipariş maliyetlerini azaltma:* Her defasında yüksek miktarlarda ürün tedarik edip toplam sipariş sayısı aşağı çekilirse ürünler üzerindeki sipariş maliyetinin payını

azaltacaktır. Ancak sipariş maliyetini azaltmak için çok yüksek miktarlarda envantere sahip olmak her zaman doğru bir karar olmayabilir.

Kaynak yönetimi bakış açısına göre envanter asla bulundurulmaması gereken atıl bir kaynak türüdür. Ancak envanter bulundurulmazsa karşılanamayan talepler ve üretimde gecikmeler meydana gelebilir. Vrat (2014: 22) da envanter bulundurmanın sebeplerini sıralamıştır. Yukarıda verilen sebepler üzerine şu eklemeler yapılabilir:

- Sipariş verme ile teslim alma arasında geçen sürenin varlığı envanter bulundurmanın sebeplerinden biridir. Tedarik süresi olarak da ifade edilen bu sürede gelen talebi karşılamak için işletmeler envanter bulundurabilmektedir.
- Mevsimsel, dönemsel talep yapısına sahip ürünlerde mevsimsel envanterler kullanılabilir. Satışların en yüksek seviyeye ulaşacağı zamanlar için önceki dönemlerde fazladan üretim yapılabilir ve gelecek yüksek talebin karşılanması için envanter bulundurulabilir.
- Fiziksel olarak uzak yerlere dağıtımı yapılan ürünlerde doğal olarak taşıma durumunda bulunan envanterler olacaktır. Dağıtım kanalında ürünler ne kadar yavaş hareket ederse dağıtım sistemi içinde bulunan envanter miktarı da o kadar artacaktır. Bunun için tedarik zincirinin hızını artırarak taşıma durumundaki envanter miktarının aşağı çekilmesi işletmenin yararına olacaktır.
- Bu sebepler dışında türlü sebeplerle işletmeler envanter bulundurmak isteyebilirler. Enflasyonist ortamlarda veya basitçe mevcut yılın bütçesini tamamen kullanmak için envanter tutulabilir.

Heizer vd. (2016: 490) ise envanter bulundurma amaçlarını şöyle sıralamışlardır: Talep dalgalanmalarından korunmak, tedarik sıkıntılarından arınmak, miktar indirimlerinden yararlanmak ve enflasyondan korunmak.

Envanter bulundurmanın birçok farklı sebebi olduğu ortadadır. Çeşitli kaynaklarda farklı sınıflandırmalar mevcuttur ancak görüldüğü üzere ortak noktaları da oldukça fazladır.

1.2. ENVANTER ÇEŞİTLERİ

Literatür incelendiğinde envanter çeşitlerinin temelde üç grupta incelendiği görülmektedir. Muller (2003: 4-9) ile Heizer vd. (2016: 490-491) bu çeşitleri şu şekilde açıklamıştır:

- *Ham madde envanteri*, satın alınmış ancak üzerinde hiçbir işlem yapılmamış malzemeleri kapsar. Bu tip envanter, üretim faaliyeti ile tedarik faaliyetini birbirinden ayırmak ve arada tampon oluşturmak için kullanılır. Ancak tabii ki işletmelerin güvenilir tedarikçilerle çalışması istenmektedir ve bu durum sağlandığı takdirde bu faaliyetleri ayırmak da gerekmeyecektir.
- *Yarı mamul envanteri*, ham madde veya diğer bileşenlerin işletme içinde belli işlemlerden geçmiş ancak tamamlanmamış hallerini ifade eder. Her ürünün üretilmesi için belli bir süre gerekmektedir. Bu süre içerisinde yarı mamul envanteri doğal olarak oluşacaktır. Ürünün üretim süresi aşağı çekilebilirse yarı mamul envanterinde de azalma sağlanabilecektir.
- *Bitmiş mamul envanteri*, işletmeden çıkış yapmayı bekleyen ve satılmaya hazır ürünlerin karşılığıdır. Gelecek talebin tam olarak bilinemediği durumlarda bu envanter türü kullanılabilir.

Bu ana gruplara ek olarak Heizer vd. (2016: 490) bakım-onarım-operasyon malzemeleri envanterinden de bahsetmiştir. Bu tür envanter işletme içinde bulunan makinelerin ve süreçlerin verimli çalışması için gerekli olan malzemelerden oluşur. Bu envanterin kullanılmasının sebebi, her makinenin ne zaman tamire veya parça değişikliğine ihtiyaç duyacağının tam olarak bilinememesidir. Bakım aralıkları dikkate alınarak bu envanter planlanabilir. Ancak bu planlama sırasında beklenmedik arızalanmalar da göz önünde bulundurulmalıdır.

Muller (2003: 4-9) de bahsedilen gruplar dışında, fonksiyonel bir bakış açısı ile düşünüldüğünde başka sınıflandırmaların da mümkün olduğunu belirtmiştir. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- *Sarf Malzemeleri*: Ampuller, havlular, bilgisayarlar, fotokopi kağıtları, broşürler, temizlik malzemeleri, paketleme malzemeleri gibi eşyaları kapsar. Sıklıkla ham madde olarak görülür.
- *Servis, Tamir, Yedek Parçaları*: Üretim faaliyetlerinin devam edebilmesi için tutulan malzemeleri ifade eder. Arıza oranı, bakım çizelgesi gibi yardımcılar kullanılarak ne miktarda tutulması gerektiği kararlaştırılabilir.
- *Güvenlik Stoku*: Tedarik, talep belirsizliklerinin üstesinden gelebilmek için ve faaliyetleri ayrıştırmak için kullanılır.
- *Tahmini Stok*: Sezonluk talebi tahmin edip bunun için önceden planlanarak üretilmiş envanteri ifade eder. Güneş tutulması öncesi güneş tutulmasını izlemek

için üretilen gözlüklerin çok miktarda üretilip anlık talep için hazır halde tutulması buna örnek olarak gösterilebilir.

- *Transit Stok*: Bir yerden diğerine hareket halinde olan envanterleri ifade eder. Ürün müşteriye ulaşıncaya kadarki bütün hareketlerinde transit stok olarak görülebilir. Transit stok aynı zamanda gerçek envanter miktarını anlamak açısından da oldukça önemlidir. Örneğin hala yolda olan ürünlerin depoda satışa hazır olarak beklediğinin düşünülmesi yanlış kararlar alınmasına sebep olabilir.

2. ENVANTER YÖNETİMİ

Envanter yönetimi, bir organizasyonun rekabet edebilmesi veya rekabet avantajı sağlayabilmesi için envanterinin planlanması ve kontrolü olarak tanımlanabilir (Krajewski vd., 2013: 416). Envanter yönetimi hemen her sektörde oldukça önemli bir konu olarak öne çıkmaktadır.

Arz ve talebi dengelerken envanter maliyetlerini azaltıcı devamlı yapılan planlama, organize etme ve kontrol faaliyetlerinin tamamı envanter yönetimini tanımlar. Envanter yönetimi tamir ve bakım politikaları, taşıma, elde bulundurma ve sipariş maliyetlerinin idaresini içinde barındırır (Singh ve Verma: 2017).

Envanter yönetimi yaklaşımları satış, planlama, alım gibi diğer işletme aktiviteleri ile de bağlıdır. Hedeflenen yaklaşımların uygulanmasında teknik bir çalışma ve planlamanın yanında organizasyonel bir boyut da söz konusudur. Otoritenin dağıtılması, çalışanların yetkilendirilmesi ve birimler arası koordinasyonun sağlanması etkin bir envanter yönetiminin kapsamı dahilindedir (Vries, 2020).

Envanterin kağıt üzerindeki hareketi fiziksel hareketi ile paralel olarak ilerlemezse işletme için çok yanlış durumlar ortaya çıkarabilir. Bu yüzden envanterin sistem içindeki her hareketi izlenmeli ve kayıtlarda bu hareketlerin tamamının incelenebilir olduğundan emin olunmalıdır. Envanter yönetimini başarılı bir şekilde yürütmek için ürünlerin veya ham maddelerin sistem içerisindeki yerini hem fiziksel olarak hem de kayıtlar içerisinde takip edebiliyor olmak gerekmektedir (Muller, 2003: 9).

Envanter kayıt doğruluğu hemen her sistemin temelidir, bilgisayarla veya manuel olarak bu doğruluk sağlanabilir (Greene, 1970: 14-19). Periyodik sistem kullanıldığında belli aralıklarla envanter kontrol edilir. Bu sistemin eksi yanı kontroller arasındaki sürelerde envanter durumu konusunda bilgi eksikliğidir. Bu yüzden talepleri karşılamaya

yönelik olarak ekstra envanter bulundurulması bir gereklilik olmaktadır. Periyodik sisteme alternatif olabilecek bir diğer sistem devamlı sistemlerdir. Bu sistemde envanter durumu sürekli takip edilir. Bu sistemin uygulanmasında kare kod, barkod sistemleri aktif olarak kullanılır. (Heizer vd.: 2016: 493).

Bilgisayarlı kayıt doğruluğunu kontrol amaçlı programlar mevcuttur. Bu programlar, üretim ve kontrol sistemlerinin başarılı bir şekilde işlemesi için oldukça önemlidir. Bu şekilde bilgisayarlı bir sistemle problemlerin nereden kaynaklandığı belirlenebilir. Problemlerin kaynağı hurdaya ayrılmış malların kayıtlara işlenmemesi, kalifiye olmayan elemanlar, sorunlu prosedürler gibi durumlar olabilir. Problemlere tanı konduktan sonra gerekli kararlar alınarak bu problemlerin üstesinden gelinmeli ve kayıt doğruluğu sağlanmalıdır (Greene, 1970: 23-25)

Hangi sistemin kullanıldığından bağımsız olarak kayıt doğruluğu sağlanabilmesi için kayıt girdilerinin ve çıktılarının iyi bir şekilde takip edilmesi gerekmektedir. Bu sistemlerin iyi bir şekilde işlenmesi, depolama alanının ve depolama tekniklerinin etkin bir şekilde kullanılması gerekmektedir (Heizer vd.: 2016: 493).

Dağıtım işletmeleri için verilecek envanter kararları ile üretim işletmelerinde verilecek envanter kararları farklılık göstermektedir. Bu iki farklı dünyada neyin, ne zaman, hangi miktarda alınacağı sorularının önemi değişmektedir. Dağıtım işletmelerinde daha çok doğru ürün ve doğru miktar aranırken üretim işletmelerinde doğru ürün, doğru miktarda, doğru yerde ve zamanda istenilmektedir (Muller, 2003: 121).

Tam zamanında üretim sistemi Japon şirketler tarafından kullanılmış ve başarısı ile birlikte en çok konuşulan konulardan biri olmuştur. Bu sisteme göre istenilen ürün, istenilen yerde, istenilen zamanda ve istenen miktarda bulunmalıdır. Bu durumlar sağlandığında işletmenin elinde envanter bulundurmasını gerektirecek sebepler de ortadan kalkacaktır. Tam zamanında üretim sisteminin uygulanabilmesi için tedarikçilerin yerel ve tamamen güvenilir olması gerekmektedir. Sipariş sayısı doğal olarak artacağından taşıma maliyetlerinin çok fazla yükselmemesi için işletmeye yakında olmalıdır. Bunun yanında kaliteli tedarikçiyle uzun yıllar çalışmayı da beraberinde getirir. Tedarikçinin aynı zamanda işletmenin üretiminde ihtiyaç duyacağı malzemeleri üretme kapasitesinin bulunması gerekmektedir. Sistemin kullanılabilmesi için talep ve tedarik süreçleri konusunda tam ve kesin bilgiye sahip olmak gerekmektedir. Anlaşılacağı üzere daha önce bahsedilmiş envanter bulundurma sebeplerini ortaya çıkaracak belirsizlikler ve

bilgi eksiklikleri tam zamanında üretim sisteminin uygulanmasında engel teşkil edecektir. (Vrat, 2014: 23-24).

2.1. ENVANTER POLİTİKALARI

Envanter konusunda prosedürlere ve hangi modelin kullanılacağına karar verilmesi envanter politikası ile ilgilidir. Vrat (2014: 29) pratikte hayata geçirilebilecek üç envanter politikasını açıklamıştır:

1. Sürekli İnceleme Politikası (Q, R):

Planlanan sipariş veya üretim miktarları her zaman en iyi miktarlar olmayabilir. Bu politika içerisinde çeşitli formüller kullanılarak "ne zaman" ve "ne kadar" sipariş verileceği ya da üretim yapılacağı sorularına cevap aranır (Tanyaş ve Baskak, 2019: 212).

Bu politika envanterin sürekli olarak kontrol edilmesini gerektirir. Envanter takibinin bilgisayarlı bir sistem ile yapılması durumunda kontrol kolay olacakken işletme bilgisayarlı bir takip sistemine sahip değilse çok maliyetli bir hal alabilir. Bu durumu kolaylaştırmak için çok basit bir yöntem mevcuttur. Yöntemin adı iki kutu sistemidir. Bu sisteme göre toplam envanter iki farklı yerde depolanır. Birinci kutu tedarik süreci boyunca kullanılacak kutudur ve normal zamanlarda bu kutudan ürün kullanılmaz. İkinci kutu asıl kullanılan kutudur ve bu kutudaki malzemeler tükendiğinde sipariş verilir. Sipariş teslim alınıncaya kadar geçen sürede ikinci kutudaki malzemeler kullanılır. İkinci kutudaki ürün miktarı tekrar sipariş noktasındaki ürün miktarı kadar olacaktır. Böylece gelişmiş takip sistemlerine sahip olmayan bir işletme de çok yüksek maliyetlere katlanmadan bu politikayı uygulayabilir (Vrat, 2014: 29).

2. Dönemsel İnceleme Politikası (S, T):

Belirlenen periyotlar ile envanter durumunun incelenmesi politikasıdır. Ekonomik sipariş miktarı politikasında siparişin ne zaman verileceğine tekrar sipariş noktası ile karar verilirken bu politika içerisinde en iyi nokta farklı değişkenlerle hesaplanır ve sipariş sabit aralıklarla verilir. Bu sebeple sipariş vermek için envanter durumu sürekli gözlemlenmez (Öztürk, 2016: 612-613).

Bu politikada bir sistem oluşturulabilmesi için siparişler için zaman aralığı ve maksimum envanter düzeyinin belirlenmesi gerekmektedir. En son siparişin üzerinden belirlenen sipariş zamanı kadar süre geçtiğinde mevcut envanteri maksimum envanter düzeyine çıkaracak miktarda sipariş verilir (Top ve Yılmaz, 2018: 293).

Düşünüldüğünde bu politikanın uygulanması oldukça kolaydır. Çünkü yalnızca belli zaman aralıklarıyla envanter durumu kontrol edilir. Ancak bu süre içerisinde gelen talep açısından hassastır. Eğer dönem içerisinde talep çok düşük gelirse maksimum envantere tamamlamak için yine sipariş verilir. Ancak çok düşük sayıda sipariş vermek sipariş maliyetinin payını artırarak birim maliyeti yukarı çeker (Vrat, 2014: 30).

3. Seçimli Envanter Yenileme Politikası (S, s, T):

Dönemsel inceleme politikasının bir çeşididir. Ancak bu politika içerisinde maksimum envanter düzeyi ile birlikte minimum envanter düzeyi de faktör olarak kabul edilir. Dönemsel inceleme bu politika içerisinde de devam eder. Belirlenen zaman aralıklarıyla envanter kontrol edilir ancak sipariş kararına minimum envanter düzeyine bakarak karar verilir. Bulunulan envanter belirlenen minimum envanter düzeyinin üstündeyse sipariş vermek için sonraki periyodik kontrol beklenir. Eldeki envanter belirlenen minimum düzeyinin altındaysa maksimum envanter düzeyine ulaştıracak miktarda sipariş verilir (Vrat, 2014: 31).

2.2. ENVANTER MALİYETLERİ

Envanter beraberinde bazı maliyetler getirir. Bu maliyetler para, alan, hırsızlık, ürünlerin tarihinin geçmesi, tedavülden kalkması, herhangi bir sebeple zarar görmesi ve bunlara ek olarak taşıma, paketleme, istifleme, sayım gibi işlemler için kullanılacak iş gücü şeklinde olabilmektedir (Muller, 2003; 2).

Muller'e (2003: 2) göre envanter ile ilişkili maliyetler, sipariş maliyeti ve elde bulundurma maliyeti olmak üzere temel olarak iki kategoride ele alınabilir. Sipariş maliyeti malların asıl değeri ile alakalı olmayan ve sipariş vermek için gerekli olan personel, kayıt işleri, izin alınması gibi maliyetleri ifade eder. Elde bulundurma maliyeti ise envanter bulundurmak için bağlanan sermayeden dolayı oluşan maliyetin yanında depolanacak alan için yapılan harcamalar ile birlikte yine bu depolamanın yapılabilmesi için kullanılacak personel ve ekipman maliyetlerini kapsar.

Vrat (2014: 25) envanter maliyetlerini üç kategoride incelemiştir:

1) Elde bulundurma maliyeti: İşletmenin envanter bulundurduğu takdirde katlanması gereken maliyetleri ifade eder. Bunun içinde; ürünlerin demode olması, depolama, sigortalama, güvenlik ve fırsat maliyeti gibi oluşacak maliyetler de bulunmaktadır. Elde bulundurma maliyetinin tam olarak hesaplanması oldukça zorlu bir

iştir (Heizer vd.: 2016: 495). Bu maliyet türü dört alt kategoride incelenebilir (Vrat, 2014: 26):

- Sermaye maliyeti, envantere bağlanan sermayenin alternatif yollarda kullanılıp işletmeye sağlayacağı karı ifade eder. Envanterde tutulan her bir üründe bu kardan vazgeçilmiş olunur. Bu kalemin elde bulundurma maliyeti içerisindeki payının en yüksek olduğu düşünülmektedir.

  Taiichi Ohno, aşırı üretimi işletmeler için en temel israf olarak değerlendirmektedir çünkü diğer israfların temelinin aşırı üretim olduğunu savunur. Müşterinin isteğinden fazla ürün üretilmesi süreç içerisinde envanterlerin oluşmasına sebep olur. İşletmenin envanter bulundurması başka bir alanda değerlendirebileceği sermayenin kullanılamaması anlamına gelir (Liker, 2004: 30-33).

- Depolama maliyeti, envanterin saklanması için fiziksel bir ortamın bulunması gerekliliğinden doğan maliyettir. Arazi, bina, saklama koşulları, kira, izin, vergi gibi maliyetler depolama maliyetini oluşturur.
- Hizmet maliyeti; materyallerin idaresi, işçi alımı, fiziksel alanın bakımı gibi durumlar dolayısıyla oluşan maliyet türüdür.
- Risk maliyeti, saklanan envanterin modasının geçmesi, demode olması, arızalanması, hasar görmesi, fiyatının düşmesi gibi koşullar karşısında işletmenin katlanması gereken maliyettir.

Elde bulundurma maliyetinin yarısının sermaye maliyeti kategorisi tarafından oluştuğu hakkında literatürde çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalar dikkate alındığında elde bulundurma maliyetinin en basit şekilde hesabı sermaye maliyetinin iki katı olarak düşünülebilir. Bunun üzerine duruma göre değişebilen risk koşulları için de ekleme yapılabilir (Love, 1979'dan akt. Vrat, 2014: 27).

2) Karşılanamayan talebin maliyeti: Talebin karşılanamadığı durumda müşteri kaybı, potansiyel karın elde edilememesi gibi maliyetler oluşur (Özer ve Yücel, 2000). Üretim kısmında taleplerin karşılanamadığı durumda ise üretim ertelenebilir. Bu maliyet kaleminin doğru olarak hesaplanması çok güç olsa da böyle bir maliyetin varlığından haberdar olup tahmin etmeye çalışmak işletmenin yararına olacaktır.

Bu maliyet kaleminin somut ve soyut anlamda hesaplanması gerekmektedir; bu yüzden tam olarak hesaplanması oldukça zordur. Kabaca tahmin edilmesi

düşünüldüğünde elde bulundurma maliyetinin 10 katı şekilde hesaplanabilir. Hassas müşterilere sahip işletmeler için bu oran daha fazla olabilir. Çok istenen ürünler için de tabi ki daha düşük maliyet beklenebilir (Vrat, 2014: 28).

3) Sipariş maliyeti: Sipariş verme faaliyeti sırasında oluşan maliyetleri ifade eder. Bu kalem içerisinde satın alınan malzemeler, formlar, sipariş süreci, satın alma, ofis desteği gibi maliyetler yer almaktadır (Heizer vd.: 2016: 495). Stok yenileme maliyeti olarak da ifade edilebilir. Bunun yanında üretim yapan işletmeler için hazırlanma maliyeti şeklinde de kullanılmaktadır (Vrat, 2014: 28).

Hazırlanma maliyeti, makine veya süreçlerin üretime hazır hale gelmesi için katlanılan maliyetlerdir. Üretim işletmeleri için hazırlanma sırasında geçen zaman hazırlanma maliyetinin büyük kısmını oluşturur. Dünya çapında işletmeler hazırlık zamanını minimuma indirerek envanter için yapılan yatırımı aşağı çekip verimliliği artırabilmişlerdir (Heizer vd.: 2016: 495).

Bu maliyet kalemi daha elle tutulur olduğu için diğer iki maliyet kalemine göre hesaplanması daha kolaydır. Sipariş miktarından bağımsız olarak yalnızca sipariş verme aksiyonunun oluşturduğu maliyetlerdir (Vrat, 2014: 28).

3. ENVANTER YÖNETİMİ MODELLERİ

Envanter kararları temelde ne zaman ve ne kadar sipariş verileceği ile ilgilidir. Bu sorulara karar değişkenleri ve durumsal parametrelere göre cevap verebilecek modellere envanter modelleri denir (Vrat, 2014: 28).

Ne zaman sipariş verileceği ve ne kadar sipariş verilmesi gerektiği envanter problemlerini ifade eder. Bu sorulara cevap bulunması için envanter modellerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu modeller içerisinde karar değişkenleri olan sipariş miktarı ve tekrar sipariş noktası, envanter ile ilgili maliyetler, talep ve tedarik süreleri gibi durumsal parametreler kullanılır. Bazı modellerde bunlara ek olarak miktar indirimleri, enflasyon durumu gibi faktörler de sisteme dahil edilebilmektedir (Vrat, 2014: 25).

İşletmenin elindeki envanteri minimumda tutması gerekmektedir. Çünkü envanter maliyet demektir ancak sürekli küçük miktarlarda ürün tedarik etmek de maliyetleri yukarı çeker. Maliyeti minimumda tutmak için elde bulundurma ve sipariş maliyetleri hesap edilip en iyi kararın bulunması gerekmektedir (Muller, 2003: 40).

İşletmenin çok az envanter ile çalışması ve bu yüzden de bir problemle karşılaşıldığında üretimin durdurulması, istikrarsızlık ile birlikte işçiler üzerinde de baskı oluşturur. Çünkü üretime devam edilebilmesi için problemin ivedilikle çözülmesi gerekir. İşletmenin bünyesinde fazladan envanter bulundurması sorunlarla yüzleşmek zorunda kalmama gibi kötü bir huy oluşturur. İşletme eğer sorunları belirleyip çözmezse, süreçleri sürekli iyileştirmezse zaman içinde rakipleri ile rekabet edemez duruma gelebilir (Liker, 2004: 96-98).

Çoğu envanter modeli maliyetleri minimize etme amacı güder. Varsayımlar dikkate alındığında satın alınacak ürünlerin birim maliyetinde bir değişiklik olmayacağından elde bulundurma ve hazırlanma maliyetleri aşağı çekildiğinde toplam maliyette de azalma gerçekleşecektir. Sipariş miktarları artırıldığında sipariş maliyetlerinde azalma gerçekleşirken elde bulundurma maliyetleri artmaktadır. Sipariş miktarı aşağı çekildiğinde kalite ve üretim esnekliği konusunda ilerleme sağlanacağı unutulmamalıdır (Heizer vd.: 2016: 497).

Envanter kararlarını verirken uygulanacak çeşitli teknikler vardır. Uygun tekniği bulup, geliştirmek; doğru maddeye, doğru miktarda, doğru zamanda ve doğru yerde sahip olmayı sağlar (Muller, 2003: 115).

3.1. TALEP YAPISINA GÖRE ENVANTER YÖNETİMİ MODELLERİ

Envanter yönetimi modelleri talebin yapısı konusunda bağımlı veya bağımsız olmak üzere varsayımlarda bulunur (Heizer vd.: 2016: 495).

Organizasyonun kendi içinde kontrol edemeyeceği, pazar durumu gibi farklı dışsal faktörler tarafından etkilenen talep türüne bağımsız talep denir. Bağımlı talep ise talebin başka bir kalemin talebine bağlı olduğu talep türüdür. Asıl ürünün üretimi için birçok farklı alt ürünün, ham maddenin kullanıldığı durumlarda bu ürünlere olacak talep asıl ürünün talebine bağımlı olarak değişir (Muller, 2003: 121).

3.1.1. Bağımsız Talep için Envanter Modelleri

Heizer vd. (2016: 496) bağımsız talep için kullanılan envanter modellerinden 3 tanesini işlemişlerdir. Bu modeller ne zaman ve ne kadar sipariş verilmelidir sorularına cevap aramaktadır:

1) Temel ekonomik sipariş miktarı modeli

2) Üretim sipariş miktarı modeli

3) Miktar indirimi modeli

3.1.1.1. Ekonomik Sipariş Miktarı Modeli

Bu model bağımsız talep olduğu durumda ne kadar sipariş verilmesi gerektiğini belirler. Bu formül içerisinde her bir kalem için tekrar sipariş noktaları belirlenir. Envanter ve envantere girecek olan miktar belirlenen tekrar sipariş noktasının altına düştüğünde sipariş verilir (Muller, 2003: 122).

Bu model, 1915 yılında F.W. Harris tarafından envanter bulunduran işletmelerin ne kadar ürün sipariş etmesi gerektiği konusunda karar vermesi için geliştirilmiştir (Muller, 2003: 122). Temel ekonomik sipariş miktarı modeli içerisinde kullanılan bazı varsayımları aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür (Heizer vd.: 2016: 495):

1. Bir ürün için olan talep bellidir, makul sabitliktedir ve diğer ürünler için alınan kararlardan bağımsızdır.

2. Tedarik süresi bilinir ve tutarlıdır.

3. Siparişler tek seferde tamamı ile envantere girer.

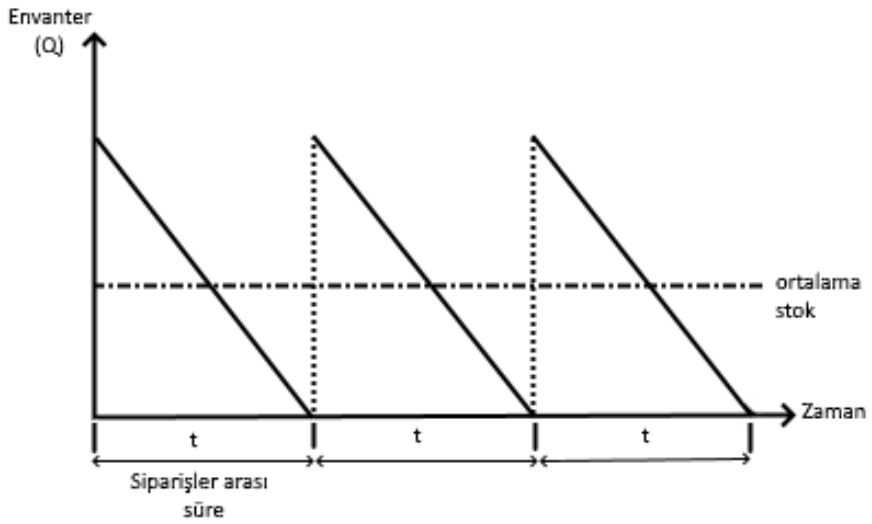
4. Miktar indirimi söz konusu değildir.

5. Değişken maliyetler yalnızca elde bulundurma, hazırlanma ve sipariş maliyetleridir.

6. Siparişler zamanında iletilirse karşılanmayan talep oluşmaz.

Bu varsayımlar sağlandığı takdirde ekonomik sipariş miktarı modeli uygulanabilir ve doğru sonuçlar verebilir. Bu modele ait grafik Şekil 1'de görüldüğü gibidir.

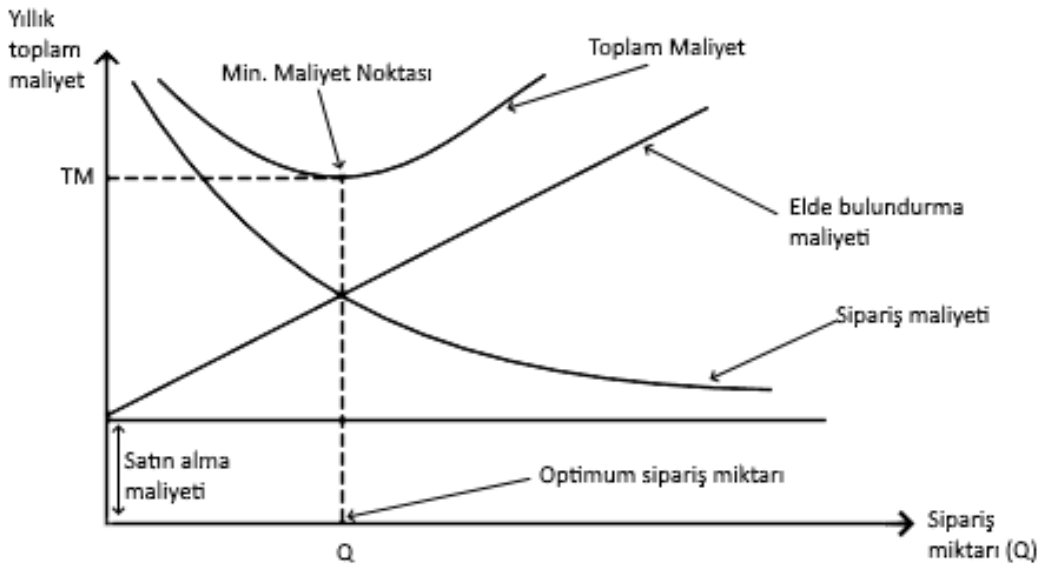
Şekil 1. *Ekonomik Sipariş Miktarı Modeli*



Kaynak:Öztürk, (2016: 591).

Ekonomik sipariş miktarı modelinde en iyi sipariş miktarı, Şekil 2'de görüldüğü üzere elde bulundurma maliyeti ile sipariş maliyetinin eşit olduğu noktada gerçekleşir (Özer ve Yücel, 2000).

Şekil 2. *Envanter Yönetiminde Maliyetler*



Kaynak: Öztürk, (2016: 591).

Ekonomik sipariş miktarı modelinin dirençli bir model olması kullanımının getirdiği avantajlardan biridir. Sipariş ve elde bulundurma maliyetlerinin doğru şekilde hesaplanması son derece zor olduğundan burada yapılabilecek yanlışlıklar son karar üzerinde etkili olacaktır. Ekonomik sipariş miktarı modeli bazı hataları tolere edebilecek yapıdadır. Maliyetlerdeki hesaplamalarda veya talep tahminlerinde yanılgılar olsa dahi toplam maliyette çok yüksek farklılıklar meydana gelmez yine de kabul edilebilir sonuçlara ulaşılabilir (Heizer vd.: 2016: 500).

Bu modelde kullanılan değişkenler şunlardır (Öztürk, 2016: 590-593):

k=satın alınan malın fiyatı

v=sipariş maliyeti

c=elde bulundurma maliyeti

D=talep

Q=sipariş miktarı

Bu model için k, v, c, D değişkenleri bilinmekte Q bulunmaya çalışılmaktadır. Q yani sipariş miktarının en iyi noktası uygulama sonucu belirlenecektir. Bu işlemi yaparken toplam maliyetin minimum noktaya çekilmesi amaçlanmaktadır.

Toplam maliyet hesabı yukarıda verilen değişkenlerle şu şekilde hesaplanabilir:

- Sipariş sayısı ve sipariş maliyeti çarpılarak toplam sipariş maliyeti bulunur.
- Elde bulundurma maliyeti ile ortalama envanter çarpılarak toplam elde bulundurma maliyeti bulunur.
- Satın alınan mal sayısı ile malın birim maliyeti çarpılarak satın alınan malların maliyeti bulunur.
- Bu 3 maliyet toplanarak toplam maliyete ulaşılır.

Aşağıda yukarıdaki işlemlerin sembollerle ifadesi bulunmaktadır.

Sipariş sayısı = $n = D/Q$

Sipariş maliyeti = $v.D/Q$

Ortalama envanter = $Q/2$

Elde bulundurma maliyeti = $c.Q/2$

Satın alınan malların maliyeti = $k.D$

$$TM = \frac{vD}{Q} + \frac{cQ}{2} + kD$$

Bu formüllerden hareketle asıl belirlenmek isteyen en iyi sipariş miktarını belirlerken TM fonksiyonunun Q'ya göre türevi alınıp 0'a eşitlenir.

$$\frac{dTM}{dQ} = 0 = -\frac{vD}{Q^2} + \frac{c}{2}$$

Daha sonra Q (ekonomik sipariş miktarı)'nın fonksiyonu elde edilir.

$$Q(ekonomik\ sipariş\ miktarı) = \sqrt{\frac{2vD}{c}}$$

TM fonksiyonunun ikinci türevi de elde edildikten sonra pozitif olduğu bulunursa elde edilen Q değeri toplam maliyeti minimum kılan değerdir yani bulunması amaçlanan ekonomik sipariş miktarıdır.

$$\frac{d^2TM}{dQ^2} = 2vD/Q^3 > 0$$

Ekonomik sipariş miktarı formülü üzerinden toplam maliyete ulaşmak da mümkündür.

$$TM = \sqrt{2vcD} + kD$$

Ekonomik sipariş miktarı modeli ile birlikte ne kadar sipariş verileceği konusunda işletmeye yardımcı olunabilir. Bunun yanında ne zaman sipariş verileceği sorusu da cevap bulmalıdır. Bu soruya da tekrar sipariş noktası belirlenerek cevap bulunabilir. Bu nokta belirlenirken tedarik süresi de önemli bir rol oynamaktadır (Heizer vd.: 2016: 501).

$$Tekrar\ Sipariş\ Noktası = Günlük\ Talep\ x\ Tedarik\ Süresi\ (Gün)$$

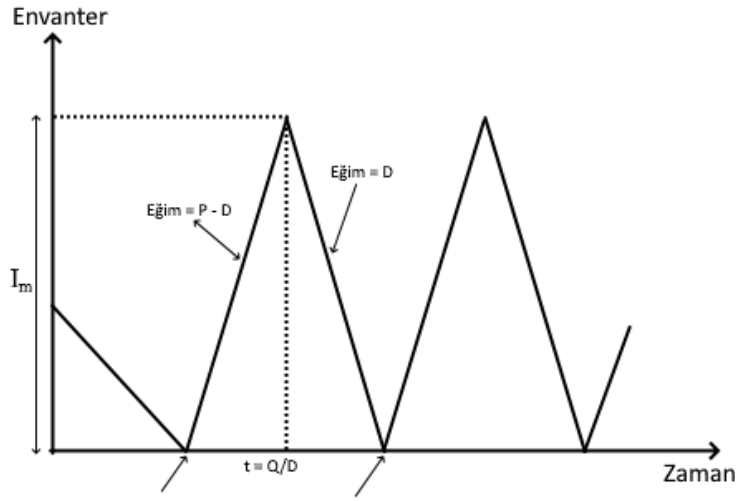
Tekrar sipariş noktasının hesaplanmasında kullanılan günlük talep ve tedarik süresi değişkenleri sabit olarak kabul edilir. Bunun sağlanamadığı durumlarda emniyet stoku kullanılabilir. Bu durumda formül şu şekilde oluşacaktır (Heizer vd.: 2016: 501).

$$Tekrar\ Sipariş\ Noktası = Tedarik\ Süresinde\ Beklenen\ Talep + Emniyet\ Stoku$$

3.1.1.2. Üretim Sipariş Miktarı Modeli

Bu modelde önceki modelden farklı olarak tedarik edilen ürünlerin hepsi bir anda envantere eklenmeyip belli bir süre içinde parça parça eklenir (Şekil 3). Varsayılan bu durum üretim yapan işletmelerin doğasında olduğu için modelin ismi üretim sipariş miktarı modeli olarak şekillenmiştir (Heizer vd.: 2016: 502).

Şekil 3. *Üretim Sipariş Miktarı Modeli*



Kaynak: Öztürk, (2016: 595).

Bu modelde görüleceği üzere ortalama envanter miktarı ekonomik sipariş modelinden farklıdır (Öztürk, 2016: 593-594).

$$Ortalama\ Stok = Q(1 - \frac{D}{P})/2$$

Ortalama stok hesaplaması değiştiği için toplam maliyet formülü de değişecektir.

$$TM = \frac{vD}{Q} + \frac{cQ\left(1 - \frac{D}{P}\right)}{2} + kD$$

Bu modele göre ekonomik sipariş miktarını bulmak için yeni oluşan toplam maliyet fonksiyonunda Q'ya göre türev alıp 0'a eşitlemek gerekmektedir.

$$\frac{d(TM)}{dQ} = -\frac{vD}{Q^2} + \frac{c\left(1 - \frac{D}{P}\right)}{2} = 0$$

$$\frac{vD}{Q^2} = \frac{c\left(1 - \frac{D}{P}\right)}{2}$$

$$2vD = Q^2c\left(1 - \frac{D}{P}\right) \qquad Q^2 = \frac{2vD}{c\left(1 - \frac{D}{P}\right)}$$

Sonuç olarak bu modelde ekonomik sipariş miktarına şu şekilde ulaşılır.

$$Q = \sqrt{\frac{2vD}{c\left(1 - \frac{D}{P}\right)}}$$

Envanterin ulaşacağı en yüksek noktanın hesabı da işletmeler için oldukça önemlidir. Deponun yeterli büyüklükte olup olmadığı alınacak kararlar üzerinde etkili olacağından maksimum envanter düzeyi de belirlenmeli ve dikkate alınmalıdır. Bu model içerisinde en yüksek envanter düzeyi (Im) şu şekilde bulunur.

$$I_m = Q(1 - \frac{D}{P})$$

3.1.1.3. Miktar İndirimi Modeli

Miktar indirimi envanter modeli daha yüksek miktarlarda sipariş verildiği zaman birim fiyatın düşeceği varsayımından hareket eder (Özer ve Yücel, 2000). Böylece daha yüksek miktarlar sipariş edildiğinde elde bulundurma maliyetinde elde edilecek artış ile birim fiyattaki düşüş karşılaştırılarak sipariş miktarı buna göre belirlenir (Heizer vd.: 2016: 505).

3.1.1.4. Diğer Modeller

Stokastik modeller talep, tedarik süresi, maliyetler gibi değişkenlerin kesin olarak bilinemediği ancak istatistiksel yöntemler kullanılarak olasılıkların değerlendirildiği modellerdir. Gerçek hayatı en iyi değerlendiren modeller de stokastik modellerdir; çünkü talepler ve tedarik sürelerinin sürekli sabit kalması veya doğru olarak bilinmesi her zaman mümkün olmamaktadır (Öztürk: 2016: 612).

Talep kesin olarak bilinemese dahi yöneticiler belli bir hizmet seviyesini sağlamalıdırlar. Hizmet düzeyi, işletmenin gelen talebin ne kadarını karşılayabildiğini ifade eder. Talep belirsizleştikçe karşılanamayan talep oluşma ihtimali artmaktadır. Karşılanamayan talebin önüne geçmek için emniyet stoku bulundurulması tercih edilebilir. Bu miktar belirlenirken her bir durumda oluşacak maliyetler hesaplanır ve karşılaştırılır. Toplam maliyeti minimumda tutan miktar emniyet stoku miktarı olarak kabul edilir (Heizer vd.: 2016: 508).

$$Yıllık\ Karşılanamayan\ Talep\ Maliyeti$$
$$= Her\ talep\ seviyesinde\ karşılanamayan\ talep\ x\ talep\ düzeyinin\ olasılığı$$
$$x\ birim\ başına\ karşılanamayan\ talep\ maliyeti\ x\ yıllık\ sipariş\ sayısı$$

Yukarıda verilen formül ile hesaplanan maliyetin üzerine düşünülen emniyet stoku miktarının artıracağı elde bulundurma maliyeti de eklenir. Böylece o kararın sonunda oluşacak toplam maliyete ulaşılır. Amaç toplam maliyeti minimumda tutan emniyet stoku miktarına ulaşmaktır (Heizer vd.: 2016: 509).

Bahsedilen modeller dışında talebin sabit tedarik süresinin değişken, tedarik süresinin sabit talebin değişken veya talep ve tedarik süresinin değişken olduğu modeller bulunmaktadır. Bunların dışında tek dönemlik modeller de bulunmaktadır. Bu modeller, belli bir dönemin sonunda ürünlerin değerinin çok düştüğü veya hiçbir değeri kalmadığı durumlar için kullanılır. Buna ek olarak sabit periyotlu sistemler de bulunmaktadır. Önceden anlatılan modeller miktara odaklanırken sabit periyotlu modeller döneme odaklanır böylece envanter ve sipariş kararları zaman üzerinden verilir (Öztürk: 2016: 612-625).

3.1.2. Bağımlı Talep İçin Envanter Modelleri

Bağımlı talep, bir ürünün talebinin başka ürünler ile alakalı olduğu durumu ifade eder. Bağımlı talep için kullanılan iki önemli model incelenmiştir.

3.1.2.1. Malzeme İhtiyaç Planlaması (MRP)

Hangi üründen ne miktarda satın alındığının kontrol edilmesine ek olarak, çeşitli bilgisayar sistemleri yardımıyla ne zaman işletmeye ulaşacağının da kontrol edilmesine malzeme ihtiyaç planlaması (Material Requirements Planning - MRP) denir (Muller, 2003: 130). Başka bir ifade ile MRP bağımlı talep yapısına sahip envanter kalemlerinin ne miktarda ve ne zaman sipariş edileceğine ekonomik açıdan verimli bir cevap arayan sistemdir (Kobu, 2017: 353).

Daha önce bahsedilmiş olan bağımsız talep için envanter yönetimi müşteri odaklı bir sistemdir. Tekrar sipariş noktası formülünün amacı yüksek hizmet düzeyine ve daha düşük operasyon maliyetine ulaşmaktır. Bağımlı talep için envanter yönetiminde ise asıl amaç ana üretim planını desteklemektir (Muller, 2003: 130).

MRP içerisinde anlaşılması gereken iki önemli anahtar konu vardır. Bunlar ana ürün planlaması ve ürün reçetesi olarak ifade edilebilir (Muller, 2003: 131). Kobu (2017:

355), Tanyaş ve Baskak (2019: 237) bu iki konuya ek olarak envanter dosyalarını da MRP sisteminin girdilerinden biri olarak ele almışlardır.

- *Ana ürün planlaması,* neyin, ne zaman, ne miktarda üretileceği ile ilgilidir. Kısa ve uzun vadeli olmak üzere farklı şekilde incelenebilir. Kısa vadede bitmiş mamul gereklilikleri, alt ürünlerin üretim planlaması, sipariş önceliklendirmesi ve kısa vadeli kapasite gereksinimleri incelenirken; uzun vadede uzun vadeli üretim kapasitesi, depolama kapasitesi, personel ve para gereksinimleri incelenir (Muller, 2003: 131).
- *Ürün reçetesi*, işletme içinde üretilecek herhangi bir şey için kullanılması gereken ham madde, yarı mamul gibi gereklilikleri ifade eder (Muller, 2003: 132).
- *Envanter dosyası,* elde bulunan envanter miktarı, önceki siparişler, tedarik süreleri gibi bilgilerin yer aldığı envanterlerin durumunu özetlemektedir (Tanyaş ve Baskak, 2019: 237).

MRP sistemlerinin temel amacı, envanterde bulunan tüm birimlerin ihtiyaçlarının detaylı bir şekilde belirlenmesi ve bu şekilde uygulanacak envanter yönetimi için sağlıklı veri üretilmesidir. Sistem, envanter yönetimi içerisinde yer alan iş ve satın alma emirlerinin verilmesinde kullanılabilmektedir (Tanyaş ve Baskak, 2019: 232). MRP kısaca malzemelerin doğru zamanda, doğru miktarda doğru yerde olmasını hedefler (Top ve Yılmaz, 2018: 132).

Ana ürün planlaması, ürün reçetesi ve envanter dosyası bileşenleri eksiksiz bir şekilde tamamlandıktan ve doğru bilgiler elde edildikten sonra MRP süreci başlar, MRP sürecinde net ve brüt ihtiyaçlar ortaya konur. Belirlenen ihtiyaçlara uygun şekilde sipariş ve iş emirleri oluşturulur (Tanyaş ve Baskak, 2019: 248-251). Süreç sonunda envanter kararları ile ilgili detaylı çıktılar elde edilir. Çıktılar ise sipariş ve iş emirlerinin yanında sipariş planlaması, istisnai durumlar ve değişiklik notlarından meydana gelir (Top ve Yılmaz, 2018: 132).

3.1.2.2. Tam Zamanında Envanter Sistemi

Taiichi Ohno tarafından 1970li yıllarda Toyota üretim faaliyetleri kapsamında geliştirilmiştir. Bu sistemin amacı müşteri taleplerini minimum gecikme ile sağlamaktır. Bu sistemde ham maddelerin, bitmiş ve yarı mamullerin talep oluştuğu anda, talep edilen miktarda, talep edilen kalitede ve ihtiyaç duyulduğu yerde hazır olması istenmektedir (Muller, 2003: 137).

Tam zamanında üretim sistemi içerisinde envanter, işletmelerin kurtulması gereken bir maliyettir. Klasik yöntemler envanter ve hazırlanma maliyetlerini kabul edip bir denge noktası aramaya çalışırken tam zamanında üretim sistemi bu maliyetleri asla kabullenmez (Özer ve Yücel, 2000). Envanter ile ilgili maliyetler olan ve daha önce değinilen elde bulundurma, bulundurmama ve sipariş maliyetleri gibi doğrudan maliyetlerin yanında kalite, verimlilik ve işçilik gibi dolaylı maliyetler de bulunmaktadır (Kobu, 2017: 358).

Tam zamanında üretimin işletmeye sağladığı çeşitli faydalardan bazıları; karşılanamayan talebin azalması, envanter seviyelerinin düşmesi, ekipman ihtiyaçlarının azalması, kalitede artış ve kalite artışında çalışanların rol almasıdır (Muller, 2003: 138). Tam zamanında üretim sistemi envanter yatırımlarını azaltarak, daha verimli bir sistemle tedarik sürelerini düşürerek ve üretim sisteminin gelişmesi ile toplam kaliteyi de artırır (Heizer vd., 2016: 224).

Tam zamanında üretim yalın üretim felsefesine hizmet eden güçlü bir araçtır (Heizer vd., 2016: 640). Neredeyse her envanter yönetim sisteminde envanter bir israf olarak değerlendirilir. Ve bu israftan kaçınmak için çeşitli yöntemler uygulanır. Tam zamanında üretim içerisinde israf daha geniş anlamda değerlendirilir. Buna göre katma değer oluşturmayan her türlü faaliyet israftır. Tam zamanında üretimde elimine edilmeye çalışılan israflar yedi kalemde ele alınır (Muller, 2003: 139-140):

1) Fazla üretim: Gerektiğinden fazla üretmek para, yer ve uğraş konularında israf anlamına gelir.

2) Bekleme süresi: Verimlilik ve etkililiği aşağı çeker.

3) Taşıma: Depo edilecek yerin değiştirilmesi gereksiz maliyetler oluşturur.

4) İşleme: Arabirimlerin sayısının fazlalığı zaman kaybıdır.

5) Envanter: Depo edilmiş ve bekleyen malların hiçbir şeye faydası yoktur.

6) Hareket: Malzeme aramak gibi hareketleri azaltmak gerekmektedir.

7) Defolar: Paraya mal olduğu gibi faaliyetlerin gecikmesine hatta durmasına sebep olur.

Malzeme ihtiyaç planlaması ve tam zamanında üretim sistemleri yüksek derecede veri odaklı sistemlerdir. Bu sistemlerin kusursuz çalışması için zamanında ve doğru bilgiye ulaşmak gerekmektedir. Bunu sağlamak için de işletme içerisinde iletişim

kanallarının ileri teknoloji ile birlikte aktif ve sağlıklı bir şekilde kullanılması gerekmektedir (Muller, 2003: 137).

3.2. SEÇİCİ ENVANTER YÖNETİMİ MODELLERİ

İşletmeler içerisinde çok farklı sayıda ve düzende envanter bulundurabilir. Çok sayıda incelenmesi gereken yerin olması ve hepsinin aynı özenle kontrol edilmesi işletmenin yararına olmayabilir. Bazı envanter tutan birimlerin kontrolleri için verilecek çabanın bir getirisi olmayabilir veya buraya verilecek çaba başka bir birime yönlendirilse işletme için daha karlı bir karar olabilir. Bu durumda envanterlerin çeşitli sınıflandırmalarla ayrıştırılıp işletme için neyin daha önemli neyin daha önemsiz olduğuna karar verilmesi gerekmektedir (Vrat, 2014: 38).

Seçiçi envanter yönetimi kapsamında kullanılan birçok analiz türü mevcuttur. Bunlardan en çok tercih edilenleri aşağıdaki gibidir (Vrat, 2014: 38):

1. ABC Analizi
2. VED Analizi
3. FSN Analizi

Bu analizlerin hemen hepsinin temel aldığı görüş Pareto Prensibi'dir (Vrat, 2014: 38) (Heizer vd.: 2016: 491). Pareto ilkesine göre bir sistemde önemli ögeler az miktarda, önemsiz ögeler çok miktarda bulunur. Bu fikre göre işletmede envanter kararları alırken bulunan envanterlerin az ve önemli olan kısmına odaklanılması gerekmektedir. Maddi değeri düşük envanterler ile çok değerli envanterlerin gözlemlemesini aynı yoğunlukta devam ettirmek çok gerçekçi bir yaklaşım değildir (Heizer vd.: 2016: 491).

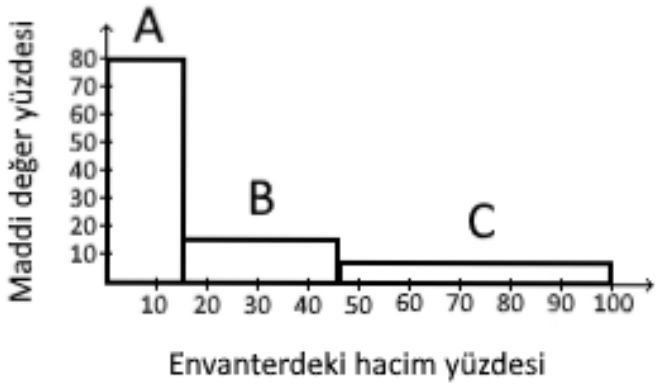
3.2.1. ABC Analizi

İşletme içindeki envanterlerin sınıflandırılması ve envanter kayıtlarının doğru ve güvenilir olmasının sağlanması envanter yönetiminin görevlerindendir. Envanter sınıflandırması için ABC analizi kullanılabilir (Heizer vd.: 2016: 491).

ABC analizi envanterlerin maddi değerlerini dikkate alır. Bu maddi değer, birim maliyet ile yıllık talep çarpılarak elde edilir. A sınıfı envanterler yıllık değeri en yüksek olan malzemeleri içinde barındırır. Bu malzemelerin toplam içindeki oranı yalnızca 15% civarındadır; ancak maddi değer açısından toplamın 70-80% ini karşılar. B sınıfı envanterler orta derecede maddi değere sahip ürünlerdir. Toplam envanterin yaklaşık

olarak 30% unu oluştururken maddi değer bakımından 15-20% civarındadır. C sınıfı envanterler ise maddi değeri en düşük ancak çok sayıda bulunan malzemelerden oluşur. Maddi değer bakımından toplamın yalnızca 5% inde yer alırken hacim bakımından toplam envanterin 55% ini oluşturur (Şekil 4) (Dağsuyu, 2019) (Vrat, 2014: 38).

Şekil 4. *ABC Analizi*



Kaynak: Heizer vd. (2016: 491).

ABC analizi sonucunda envanter çeşitleri farklı şekilde gözden geçirilmelidir. A tipi envanterin B ve C tipi envanterlere göre çok daha detaylı incelenmesi ve kontrol edilmesi gerekmektedir. Özetle envanter ile ilgili alınacak hemen her kararda A tipi envanter daha fazla gözetilmelidir (Heizer vd.: 2016: 492) (Vrat, 2014: 38).

3.2.2. VED Analizi

ABC analizi ürünlerin sahip olunmadığı zamanki durumları ile ilgilenmez. İçerisinde çok fazla türde envanter bulunduran işletmelerin her bir ürün çeşidi için karşılanamayan talep maliyeti hesaplaması oldukça güçtür. Bu durumda işletmenin envanterleri talebi karşılanamadığı durumda katlanılacak fırsat maliyeti yönünden sınıflandırması gerekir. Bu analiz yönteminde envanter kritiklik durumu dikkate alınarak sınıflandırılır (Dağsuyu, 2019). VED analizi sınıflandırması ve açıklamalar aşağıdaki gibidir (Vrat, 2014: 43):

- V (Vital): Hayati ürünler, ihtiyaç duyulduğunda kesinlikle elde olmalıdır. Olmaması durumunda üretimin durmasına sebep olabilecek ürünlerdir. Elde bulunmama riskinin oldukça düşük şekilde ayarlanması gerekmektedir.
- E (Essential): Gerekli ürünler, stokta bulunmalıdır. V grubu ürünler kadar olmasa da elde bulunmaması üretimi zor duruma sokar.

- D (Desirable): İstenilir ürünler, stokta bulunabilir. Elde bulunmaması durumunda fırsat maliyeti diğer kategorilere göre düşüktür. Daha yüksek risk alınabilir ve tolere edilebilir.

ABC ve VED analizlerinin ikisi de farklı bakış açılarına göre envanteri üç farklı gruba ayırır. ABC analizi envanterin elde bulunduğu, VED analizi ise elde bulunmadığı durumlara göre sınıflandırma yapmaktadır. Bu iki analizi birlikte kullanıp sınıflandırma yapan bir işletmenin toplamda dokuz farklı kategoride servis düzeyine karar vermesi gerekecektir (Dağsuyu, 2016).

3.2.3. FSN Analizi

Bu analizin temelini ürünün tüketim oranı oluşturur. Ürünlerin ne kadar hızlı satıldığı ile ilgilenen bu analize göre üç kategori bulunmaktadır (Palanisamy ve Ranganathan, 2016):

- F (Fast Moving): Hızlı Hareket Eden Mallar, sıklıkla satılan ürünlerdir.
- S (Slow Moving): Yavaş Hareket Eden Mallar, aralıklarla satılan ürünlerdir.
- N (Non Moving): Mallar, uzun süredir hiçbir talep olmayan ürünler, ölü stok olarak da ifade edilebilir.

Bu analiz türü envanter modeli seçiminde kullanılabilir. Ekonomik sipariş miktarı modeli veya ABC analizi gibi klasik modeller yalnıza F cinsi ürünler için geçerlidir. S cinsi ürünler için farklı envanter modelleri kullanılması gerekmektedir. N cinsi ürünler ise ne zaman ve ne kadar alınacağı cevaplanması gereken sorunlar değildir. Eldekilerle ne yapılabileceği konusu üzerinde düşünülmelidir. Elde bulunan ölü stoktan kurtulmanın yolları incelenmelidir (Vrat, 2014: 45).

4. ENVANTER YÖNETİMİ İLE İLGİLİ LİTERATÜRDEKİ ÇALIŞMALAR

Envanter yönetiminin çeşitli alanlarında literatürde yapılmış çokça çalışma mevcuttur. Bu çalışma kapsamında envanter yönetiminin bir kısmı incelenmiş olsa da envanter yönetimi konusunda yapılmış diğer çalışmaların incelenmesi de yapılacak çalışmalara ışık tutması açısından önemli görülmektedir. Bu anlayışla literatür incelendiğinde birçok çalışmaya rastlanmıştır.

Wallin vd. (2006) çalışmalarında envanter yönetimi bünyesinde alınması gereken kararlar üzerinde etkili faktörleri ortaya çıkarmak istemişlerdir. Araştırma içerisinde ilgili literatür incelenmiş sonrasında vaka çalışması üzerinden çıkarımlarda bulunulmuştur. Bu

çalışma sonucunda satın alınan ürünler konusunda alınacak envanter kararları üzerinde üç kritik faktör bulunmuştur; müşteri talebi veya kullanım gereklilikleri, tedarik hattının yapısı ve tedarikçiler ile olan pazarlık gücü.

Ayad (2006) çalışmasında envanter optimizasyonu için mağaza yöneticilerinin kontrolü altında olan anahtar faktörleri incelemiştir. Çalışma içerisinde eylem araştırması ve geleneksel araştırma yöntemi bir arada kullanılmıştır. Çalışma neticesinde elde edilen bulgular literatürde yer alan ürün seçimi ve teknolojinin envanteri satışa çevirme konusunda etkisi görülmüştür ancak buna ek olarak insanın bu konu üzerindeki etkisi öne çıkarılmıştır. Aynı işletme içinde farklı departmanlar arasında kıyaslamalar yapıldığında farklı sonuçlara rastlanmıştır bu da insan faktörünün etkisini işaret etmektedir. Uzmanlık, kritik düşünme, fonksiyonel bilgi ve liderlik becerileri mağaza yöneticilerinde bulunması gerek özellikler olarak da ön plana çıkmıştır.

Kranenburg ve Houtum (2007) yaptıkları çalışmada minimum ve maksimum stok düzeyi politikası üzerinden hareketle farklı talep sınıflarını ve parametreleri içinde barındıran yedi algoritmayı birbirleri ile kıyaslamışlardır. Bu algoritmalardan üç tanesi yazarlar tarafından sezgisel yaklaşımla geliştirilmiştir. Araştırmanın sonucunda en iyi çözüme ulaşmada bu üç algoritmanın da işe yaradığı ve hatta diğer modellere göre çok daha hızlı çözüme ulaştığı bulunmuştur.

Mustaffa ve Potter (2009) çalışmalarında Malezyada özel sağlık sektöründeki envanter yönetimini değerlendirmişlerdir. Bu çerçevede odaklanılan nokta ise ilaçların toptancılardan kliniklere dağıtımı olmuştur. Çalışma içerisinde vaka çalışması yaklaşımı kullanılmıştır. Veri toplanırken süreç haritalama ve mülakat teknikleri kullanılmıştır. Çalışma tamamlandıktan sonra elde edilen sonuçlarda acil siparişler ve envanter uygunluğu ana sorunlar olarak göze çarpmıştır. Bunun neticesinde yeni bir tedarik zinciri dizaynı önerilmiştir.

Fawcett vd. (2010) yaptıkları çalışmada tedarik zinciri işbirliğine bütüncül ve dizisel bir bakış açısı getirmek istemişlerdir. Bunun yanında işbirlikçi envanter yönetimi konusu üzerinde de durmuşlardır. Çalışma içinde işbirlikçi tedarik zincirini destekleyici ya da engelleyici çevresel koşullar ve yönetimsel süreçler literatürde yer alan çeşitli teoriler üzerinden incelenmiştir. Araştırma sonucunda işbirlikçi tedarik zinciri ve envanter yönetimini anlamak açısından entegre toeorik bir çerçeve sunulmuştur.

Stanger vd. (2012) çalışmalarında bozulabilir ürünleri hastaneler için kan envanteri üzerinde durarak incelemişlerdir. Bozulabilir ürünlerin envanter yönetimi ve tedarik zinciri konusunda önemli noktalar ele alınmıştır. Araştırma yöntemi olarak vaka çalışması kullanılmıştır ve bu çalışmada Birleşik Krallık kan tedarik zincirinde yer alan yedi adet vaka çalışması incelenmiştir. Araştırma sonucunda yönetimsel değişiklikler ve personel eğitiminin israfın azaltılması konusunda önemli rollere sahip olduğu görülmüştür. Yöneticilerin bozulabilir envanter yönetimini iyileştirmeleri için önerilerde bulunulmuştur.

Bruccoleri vd. (2014) çalışmalarında işçilerin davranışsal farklılıklarından kaynaklı oluşan envanter kayıt tutarsızlıklarının etkilerini incelemişlerdir. Araştırma içerisinde oluşturulan model benzetim ile temsil edilmiştir. Benzetim neticesinde elde edilen sonuçlar istatistiksel doğrusal modeller ile analiz edilmiştir. Araştırma sonucunda envanter yönetimi politikalarının işçilerden kaynaklı olarak kayıtların tutarsızlığı ile karşılaşıldığında etkin bir şekilde çalışmadıkları görülmüştür.

Boctor ve Bolduc (2015) envanter yenileme problemi çözümüne ekstra bir kısıt ve değişken de ekleyerek daha kapsamlı bir model elde etmek istemişlerdir. Hemen her envanter modelinde yer alan sipariş ve elde bulundurma maliyetlerinin yanında minimize edilmesi gereken bir diğer değişken olarak depo alanı da kabul edilmiştir. Çalışma içerisinde ayrıca iki farklı çözüm metodu da uygulanmıştır. Sonuçlar karşılaştırıldığında iki çözüm metodunda da en iyi sonuçlar kabul edilebilir düzeyde çıkmışlardır.

Baruah vd. (2016) çalışmalarında tahmin edilmesi zor olan talep türlerini incelemişlerdir. Çalışmada bu gibi tipik talep yapısına sahip olmayan ürünler için işletmelerin sipariş politikaları üzerine bir model geliştirilmiştir. Modelin geliştirilmesinde belirsiz tedarik ve atipik talep durumlarında kullanılmak üzere stokastik dinamik bir program kullanılmıştır. Model içerisinde opsiyonlu sipariş türü kullanılmıştır. Bu sipariş türünde alıcı almak istediği ürünleri tedarikçiye bildirir ancak daha sonra bu sipariş üzerinde değişiklik yapabilir. Bunun yanında alıcının tedarikçinin stok durumunu anlık takip edebilmesi de sağlanmaktadır. En iyi opsiyonlu sipariş miktarı, daha sonra yapılacak kesin sipariş miktarı ve bunların işletmenin kararlarına göre şekillendirilebildiği haller çalışmada incelenmiştir.

Azarskov vd. (2017) çalışmalarında makine üretimi odaklı bir üretim işletmesindeki yarı mamullerin kontrolü konusuna odaklanmışlardır. Karar verme

sürecinde makinelerin arızalanması gibi belirsizlikler de ele alınmıştır. Araştırma sonucunda belirsizlik altında çalışabilen alternatif bir tekrar sipariş politikası önerilmiştir. Önerilen bu yeni sistemin avantajları benzetim çalışmaları ile gösterilmiştir.

Kitaeva vd. (2017) fiyata duyarlı talep, tedarik süresi ve envanter tükenmesinin olmadığı durumların bulunduğu stokastik envanter modelleri ile ilgilenmişlerdir. Araştırmanın amacı satış fiyatı ve sipariş miktarının belirlenmesi ile birim zamandaki karın artırılmasıdır. Model içerisinde bozulma süreleri dikkate alınmış, sipariş ve elde tutma maliyetleri ile karşılanamayan talep hesaba katılmamıştır.

O'Neill ve Sanni (2018) yaptıkları çalışmada işletme organizasyonlarını desteklemede envanter en iyileme stratejisi geliştirmek üzerine odaklanmışlardır. Çalışma içerisinde talebin fiyata göre değerlendiği, bozulma oranının dönem içine yayıldığı deterministik bir envanter modeli incelenmiştir. Bu sistem ile literatürdeki mevcut yöntemler karşılaştırılmıştır.

Singh ve Verma (2018) çalışmalarında tedarik zincirinde envanter yönetimi konusunda incelemeler yapmışlar ve çıktılarını paylaşmışlardır. Bahsedilen konu üzerine kavramsal bir metodoloji de çalışma içerisinde sunulmuştur. Sunulan metot içerisinde iki yönlü bir iletişim önerilmiştir ve bu iletişim modelinin zincirin organizasyonları üzerinde geliştirici bir etki göstereceği düşünülmüştür. Bu metot üzerine herhangi bir deney yapılmamış olup ürün maliyetlerini düşüreceği ve kaliteyi artıracağı tahmin edilmektedir.

Plaza vd. (2018) hibrit bir envanter yönetimi modeli geliştirmişlerdir. Bu model içerisinde "çekme" ve "itme" stratejileri modelin belli yerlerinde kullanılarak tahminleme ve çözümlemeler yapılmaktadır. Model çıktısı olarak kritik elemanların ne kadar ve ne zaman sipariş edilmesi gerektiği soruları yanıtlanır. Geliştirilen model Kanada'da bilgisayar sektöründe yer alan bir teknoloji firması üzerinde test edilmiştir. 11 ay içerisinde toplam envanter 27% oranında düşüş göstermiştir. Bunun yanında işletmenin diğer önemli alanlarında da iyileşmeler görülmüştür. Geliştirilen modelin kullanımına ideal ortam olarak ise üretim tedarik süresinin kısa, satın alma tedarik süresinin uzun ve talebin değişkenlik gösterdiği durumlar şeklinde ifade edilmiştir.

Duran vd. (2019) aktivite bazlı maliyetleme yöntemi prensiplerine bağlı kalarak fiziksel bir varlığın yaşam döngüsü boyunca yedek parça yönetimi üzerine bir en iyileme modeli geliştirmişlerdir. Bu modelin amacı, karar vericilere en iyi envanter politikasını uygulamalarının önünü açmaktır. Bu model içerisinde direk maliyetler, elde bulundurma

maliyeti, lojistik maliyeti değişkenleri yer almaktadır. Lojistik maliyetlerinin hesabında ABC sistemi kullanılmıştır. Araştırma sonucunda bu maliyetlerin toplamını minimize edecek genetik algoritmalı bir en iyileme modeli önermişlerdir.

Johansen (2019) çalışmasında yüksek hizmet düzeyine ulaşmak için normal bir sipariş verme sisteminin üzerine acil sipariş verme prosedürlerinin de eklenmesinin vereceği katkıdan bahsetmiştir. Bu sistemin işletmeye sağlayacağı elastikiyetten de bahsedilerek araştırma gerekçelendirilmiştir. Araştırmanın modelinde normal siparişler için farklı politikalar kıyas amaçlı kullanılmıştır. Bu modellerde değişken tedarik süreleri, sabit sipariş maliyetleri ve Poisson dağılımlı talep gibi varsayımlar kullanılmıştır. Bu modeller aynı zamanda tekrar sipariş noktası belirleme politikaları ile çalışmaktadır. Araştırma içerisinde normal sipariş politikası ve acil sipariş politikası ile kombine edilmesi durumları Markov karar modeli ile hesaplanmıştır. Araştırma sonucunda kombine bir sistemin maliyet konusunda avantajlar sağladığı görülmüştür.

Akhtari vd. (2019) çalışmalarında biyo kütle enerjisinin doğru kullanımı ile fosil yakıtlardan elde edilen enerjiyi azaltmayı amaçlamışlardır. Biyo kütle enerjisinin arzı kısıtlı olduğu için doğru kullanım yollarının geliştirilmesinin önemine değinerek araştırmalarının geçerliliğini aktarmışlardır. Araştırma içerisinde talebi karşılama, maliyetler ve emisyon değerleri değişkenleri ile bir benzetim oluşturulmuştur. Emisyon değerleri hesaplanırken sabit sipariş miktarı ve maksimum envanter düzeyi modelleri gibi iki envanter sistemi kullanılmıştır. Elde edilen modeller Canada'da vaka üzerinde çalışılmıştır. Araştırma sonucunda sabit sipariş miktarı sisteminde daha yüksek talep karşılanabilmiştir ancak CO_2 emisyonu ve maliyetler yüksektir. Bunun yanında iki sistemde de toplam maliyet içinde en yüksek payı taşıma maliyetlerinin oluşturduğu görülmüştür.

Li ve Hai (2019) araştırmalarında çok perakendeli depo sistemi içerisinde envanter yönetimini incelemişlerdir. Envanter kararlarını alırken sipariş ve elde bulundurma maliyetlerinin yanında karbon emisyonu değerleri de minimize edilecek bir diğer değişken olarak ele alınmıştır. Sipariş sayısı arttığında karbon emisyonunun da arttığı varsayımına göre modellenmiştir. Araştırma sonucunda kurulan modelin hem karbon emisyonunu hem de sistemin toplam maliyetini düşürmede etkili olduğu ortaya çıkmıştır.

Marand vd. (2019) hizmet işletmelerinde ortak envanter ve fiyatlama konusuna odaklandıkları çalışmalarında müşteri varış sürelerini değişken olarak ele almışlardır. Bunun yanında tedarik süreleri üssel dağıtılmıştır. Envanter bulunmadığı zamanlarda müşteri gelmesi durumunda müşterinin kaybedildiği kabul edilip müşteriler arasında geçecek süre, hizmet süresi değişkenleri de stokastik olarak ele alınmıştır. Araştırma sonucunda hizmet envanter sistemi içerisine envanter kontrolü ve fiyatlama konuları entegre edilmiştir. İki farklı çözüm algoritması önerilmiştir. Önerilen algoritmalardan biri en iyi çözümü verirken diğer algoritma verimliliği ön plana almıştır.

Larsen (2019) araştırmasında minimum ve maksimum envanter düzeyini [Q(s,S)] belirleyen bir sistem üzerinden devam etmiştir. Ancak bu sistemin heterojenlik durumu ile karşılaştığında bazı sıkıntılar yaşadığından bahsetmiştir. Bunun sonucu olarak bu çalışmada sezgisel bir kontrol politikası geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yeni model çerçevesinde elde edilen bulguların, ürünler arasında heterojenlik olduğu durumda standart minimum maksimum envanter modelinden daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Muchaendepi vd. (2019) çalışmalarında Harare, Zimbabwe'de üretim sektöründe bulunan kobilerin envanter yönetimi stratejilerini incelemişlerdir. Çalışmada nitel araştırma yöntemleri kullanılmış olup örneklem seçimi amaçsal örnekleme tekniği kullanılarak yapılmıştır. Örneklem büyüklüğü 244 olarak belirlenmiştir ve veri toplama yöntemi olarak anket kullanılmıştır. Bilgi alınan kobilerin çoğu tam zamanında üretim sistemini kullanmaktadır ve diğer bilgisayarlı sistemler konusunda fazla bilgiye sahip değildirler. Araştırma sonucunda tam zamanında üretim sistemi uygulayan bu işletmelerin finansal durumlarında da bu etki gözlemlenmiştir. Operasyon maliyeti genel olarak en yüksek maliyet kalemlerinden birisidir. Bunun sebebi olarak da tedarikçilerle iletişimin bilgisayarlı gelişmiş bir sistem ile sağlanmaması gösterilmiştir.

Chuang ve Zhao (2019) yaptıkları araştırmada otomobil sektöründe tedarik zinciri ve envanter yönetimi üzerinde çalışmışlardır. Çalışma içerisinde General Motors bayilerinin verileri kullanılarak 2 adet simültane denklem modelleme sistemi önerilmiştir. Bu sistemler bayilerin talep, sipariş miktarı, envanter düzeyi bilgilerinin bayilere olan anlık etkilerini incelemektedir. Araştırma sonucuna göre yüksek talebin envanter düzeyini artırdığı, yüksek envanter düzeyinin ise satışları artırdığı bulunmuştur. Ancak envanter düzeyinin satışlara olan etkisi sonsuz değildir yani bir yerde son bulmaktadır.

Saha ve Ray (2019) sağlık sistemi içerisinde envanter yönetimi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada sağlık sektöründe hizmet düzeyinin yüksek tutulması, israfların önüne geçilmesi, maliyetlerin aşağıda tutulması gibi önemli noktalardan bahsedilmiştir. Araştırmanın asıl odağı sağlık sektöründe şu ana kadar önerilmiş envanter yönetimi modellerinin incelenmesi ve karşılaştırılmasıdır. Bunun yanında kapsamlı bir literatür taraması ile sonraki çalışmalara yön vermesi de amaçlanmıştır.

Farhat vd. (2019) tek tedarikçi ve tek satıcı bulunan bir ortam ile geri alım sözleşmesi bulunan bir ortamda tek ürün için sipariş miktarı belirlenmesi üzerinde çalışmışlardır. Model içerisine karşılanamayan talep de dahil edilmiştir. Belli bir süre içinde satılamayan ürünlerin tedarikçi tarafından geri alındığı varsayımı bulunmaktadır. Bu varsayımlar altında özgün bir çalışma yapılmış ve bu durumlar altında kullanılabilecek algoritmalar geliştirilmiştir.

Yu (2019) yaptığı çalışmada bozulma kayıplarının ve stok tükenmesi durumunun mümkün olduğu bir envanter modeli geliştirmiştir. Bu modelin kurulduğu sistem içerisinde 1 tedarikçi, 1 dağıtıcı ve 2 depo bulunmaktadır. Varsayımlardan biri olarak da kiralanan deponun maliyetinin zamanla düştüğü kabul edilmiştir. Model hem tedarikçi hem dağıtımcı açısından maliyetlerin minimuma ineceği sipariş miktarını belirlemektedir.

Vries (2020) envanter yönetiminde karşılaşılan çatışmalar üzerine deneysel bir çalışma yapmıştır. Çalışma içerisinde envanter yönetimi içerisinde yer alan çatışmalar sebepleri ile beraber incelenmiştir. Veri toplama sürecinde küçük anketler ve yarı yapılandırılmış mülakat, yazılı raporlar ve inceleme yöntemleri kullanılmıştır. Uygulama Hollanda'da yerel bir hastanede yapılmıştır. Araştırma sonucunda süreçler içerisinde bulunan çatışmaların zamanında kontrol altına alınmazsa daha geniş bir etki alanına sahip olduğu görülmüştür. Belirlenen çatışmaların hemen hepsinin çok boyutlu bir karaktere sahip olduğu da bir diğer bulgudur. Sistem içerisindeki çatışmalar çözülmeden yapılacak iyileştirmelerin hiç etkisinin olmayacağı veya çok sınırlı etkilerinin olacağı da görülmüştür.

Yang vd. (2020) çalışmalarında bozulabilir ürünlerin bozulma oranları üzerine odaklanmışlardır. Bozulma oranı dışsal bir parametre olarak değil kontrol edilebilir bir değişken olarak ele alınmıştır. Araştırmanın amacı bozulma kontrol karar destek sistemi oluşturmaktır. Bu sistem içerisinde bozulma değerlendirmelerine dayanarak belirlenen en

iyi sipariş miktarı bulunur. Araştırma sonucunda, belli maliyetlere katlanarak saklama koşullarında değişikliğe gidilmesi ile bozulma oranının kontrol altına alınabildiği görülmüştür. Bunun yanında çok hızlı bozulan ve ucuz ürünlerin kontrolü için herhangi bir çaba harcamak işletmeye maliyet olarak geri dönmektedir. Ancak düşük bozulma oranına sahip ürünlerde en iyi sipariş miktarı ve bozulma oranları hesaplanabilmiştir.

Haeussler vd. (2020) çalışmalarında üretim işletmelerinin planlama ve kontrol süreçlerini iyileştirme üzerinde durmuşlardır. Üretim işletmeleri için teslim süreleri ve siparişi gönderme süreleri oldukça önemlidir. Araştırmanın odağı sipariş gönderme planlaması için çok periyotlu en iyileme modelleridir. IOC (input output control) ve ACF (a clearing function) modelleri benzetim yöntemi kullanılarak test edilmiş ve kıyaslanmıştır. Talep ve ürün değişkenliğinin etkilerinin incelendiği modelde performans ölçümü için envanter düzeyleri, ulaştırma, akış zamanı gibi ölçütler belirlenmiştir. Sonuçta ACF modeli IOC modeline göre çok daha iyi performans göstermiştir.

Chinello vd. (2020) yaptıkları çalışmada envanter en iyilemesi üzerinde durmuşlardır. Bu çalışmanın amacı envanter en iyilemesi yaparken dikkat edilmesi gereken ana etkenleri tanılamaktır. Araştırma kapsamlı bir envanter taramasının ardından global Danimarkalı bir üreticinin çalışanları ile yapılan mülakatlar ile devam etmiştir. Farklı senaryoların test edilmesi için de benzetim yöntemi kullanılmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda ABC analizinin ürünleri ayrıştırma aracı olarak kullanıldığında envanter en iyilemesine pozitif katkı verdiği görülmüştür. Çalışma sonunda envanter en iyilemesini etkileyen ana faktörlerin tanımlandığı bir çerçeve çizilmiş, bu faktörleri etkilerini belirlemek amaçlı benzetim modellemesi yapılmış ve çok kademeli değerlendirme metodu önerilmiştir.

Envanter yönetimi konusunda literatür incelendiğinde oldukça geniş bir alanda uygulamaları olduğu görülmüştür. Bu çalışmada envanter yönetimi başlığı altında envanter modelleri konusu üzerinde durulmuştur. Envanter modelleri konusunda yapılan çalışmalar düşünüldüğünde literatürdeki çalışmaların bir bölümü kısıtlar açısından farklı durumları incelerken diğer bölümü ise modele farklı bakış açıları getirerek özgünlüklerini bu şekillerde ifade etmişlerdir. Yapılan bu çalışmada ise uygulanan model konusunda özgünlüğün yakalandığı düşünülmektedir.

İKİNCİ BÖLÜM

BENZETİM VE DOĞRUSAL OLMAYAN PROGRAMLAMA

1. BENZETİM KAVRAMI

Benzetim, gerçek bir sistemi özellik, görünüm ve karakteristik açıdan taklit etme girişimidir. Benzetimin amacı matematiksel modeller kullanarak gerçeğe olabildiğince yakın bir sistem oluşturmaktır. Bu sistem alınacak kararların etkilerini tahmin etmek için kullanılır (Heizer vd., 2016: 792).

Top ve Yılmaz (2018: 329) gerçek hayatta işleyen bir sistemin modellenerek arzu edilen denemelerin bu sistem üzerinde yapılmasını benzetim olarak ifade etmişlerdir. Bu yöntem çok sayıda belirsizliğin bulunduğu sistemlerde deney, gözlem ve analiz amaçları ile kullanılır. Benzetimin düzgün bir şekilde kullanımı için çok sayıda tekrar gerekmektedir. Bu yüzden de bilgisayar kullanımının yaygınlaşmasıyla popülaritesi de artmıştır.

Krajewski vd. (2013: 156) benzetimi, bir sistemin davranışlarını inceleyip modelleyerek bu sistemi taklit etme hareketi şeklinde tanımlamışlardır. Sistemi temsil edecek model başarıyla geliştirildiğinde, gerçek sistem üzerinde değiştirilmesi düşünülen aktiviteler üzerinde oynamalar yapılarak sistemin gerçekte nasıl cevap vereceği görülebilir. Aynı şekilde alınacak kararlar da benzetim üzerinden denenerek nasıl sonuçlar elde edilebileceği anlaşılabilir.

Benzetim, bir sistemin analitik ve matematiksel yöntemler ile ifade edilmesi çok zor veya imkansız olan durumlarda kullanılan bir yöntemdir. Sistemler zaman ve duruma göre farklı davranışlar sergileyebilir. Bu gibi durumları analiz etmek için benzetim yöntemi kullanılabilir (Kobu, 2017: 349).

Benzetim tek başına bir probleme çözüm sunmaz. Ancak problemi çözeceği düşünülen alternatif yöntemler kullanılarak işe yarayıp yaramayacağı hakkında fikir elde edilebilir. Bu kullanım türünde her bir alternatif için benzetim çalıştırılır ve en iyi sonucu veren alternatif karar uygulanır (Krajewski vd., 2013: 156).

Benzetimde amaç doğrudan sonuca ulaşmaktansa eldeki koşullar içerisinde sistemin karakteristik özelliklerini anlamak, opsiyonları incelemek ve düşünülen bir şeyin yapılabilirliğini ölçmektir (Top ve Yılmaz: 2018: 329).

Benzetimin kullanımı ile birlikte sistemin kontrol edilmesi mümkün olmayan ya da çok maliyetli olacak aktiviteleri üzerinde deneyler yapılarak sonuçlar risk almadan görülebilir. Uzun zamandır pilot yetiştirmek amaçlı benzetim kullanıldığı bilinmektedir. Bu kullanım yakıt maliyetini minimuma indirirken yapılacak herhangi bir hata sonucu çok büyük maliyetlere katlanmanın da önüne geçmektedir. Bunlara ek olarak gerçekte karşılaşılması düşük ihtimal olan durumlar için pilotların yetenekleri de geliştirilir (Top ve Yılmaz: 2018: 330).

Krajewski vd. (2013: 157) benzetim kullanımının nedenlerini şu şekilde ifade etmişlerdir:

1. Değişkenler arasında doğrusal bir ilişki yoksa veya sistemde en iyileme formüllerinin kullanılması için çok fazla değişken ve kısıt yer alıyorsa kullanılır.

2. Gerçekte işleyen sistem üzerinde herhangi bir durdurma, yavaşlatma gibi değişiklikler yapmadan deney yapmak amaçlı kullanılabilir.

3. Gelecekte uzun bir zaman boyunca gerçekleşmesi muhtemel olaylar hakkında istatistiksel bilgiye ulaşmak için kullanılabilir. Benzetimin bu yönü zaman sıkıştırması şeklinde ifade edilebilir.

4. Yönetimsel kararlar alma aşamasında kullanıma uygundur. Alınacak kararların etkileri gözlemlenerek yöneticilere karar alma konusunda yön gösterip, yeni fikirler geliştirme konusunda yardımcı olabilir.

İşletmenin büyük politik kararlar vereceği süreçte, kurulan model tarafından avantajları ve dezavantajları anlaşılmadan sisteme müdahale edilmemesi gerekmektedir. Benzer şekilde benzetim yönteminin geniş alanlarda kullanılmasına ve yöneticiler tarafından kabul görmesine sebep olan birçok etken bulunmaktadır. Bu bağlamda benzetim yönetiminin avantajları ve dezavantajları şöyle açıklanabilir (Heizer vd., 2016: 792).

Benzetim yönteminin kullanılmasının sağladığı avantajlar:

- Büyük ve karmaşık gerçek dünya problemlerini analiz ederken geleneksel operasyon yönetimi modellerinin çözemediği alanlarda kullanılabilir.
- Gerçek dünya problemlerinde üretim yönetiminde kullanılan yöntemlerin birçoğunun izin vermediği durumlarda çalışır.

- Üretim yönetimi politikalarının etkilerini gözlemlemek için benzetim uygulanması zamandan ciddi tasarruflar sağlar.
- Yöneticilerin çok kısa sürelerde hangi tercihlerin işletmeye nasıl etkisi olacağını anlamalarını sağlar.
- Gerçek sistem ile çakışmaz. Fiziksel ortamda deneyler yapmak her ortamda mümkün değildir.

Benzetim yönteminin kullanılmasının oluşturduğu dezavantajlar:

- İyi bir benzetim modeli geliştirmek uzun zaman alabilir.
- Farklı çalıştırmalarda farklı çözümler sağlayabilir ancak en iyi sonucu vermez.
- Yöneticilerin sistemin girdilerini iyi ayarlamaları gerekir. Bütün koşulların ve kısıtların sisteme tam anlamıyla tanıtılması gerekir.
- Her bir benzetim modeli eşsizdir. Genelde bir benzetim başka problemlerin çözümleri için kullanılamaz.

Matematiksel formüllerle yapılan çözümlerde sonuçlar genelleştirilebilir; ancak benzetimler daha çok özel çözümler sunar. Bununla birlikte, matematiksel modellerin kullanım alanları aslında sınırlıdır. Değişkenlerin kesiksiz, doğrusal olması gibi çeşitli varsayımlar bulunmasından dolayı değişkenler üzerinde çeşitli değişiklikler gerekebilmektedir. Bunun yanında sistemin çok karmaşık olduğu ve matematiksel çözümlerin elde edilmesinin güç olduğu ortamlarda benzetim güçlü bir alternatif olarak öne çıkmaktadır (Top ve Yılmaz: 2018: 330).

Matematiksel formüller ile elde edilen sonuçlar belli varsayımlar altında olsa bile kesin ve en iyi sonuçlardır. Benzetim yöntemi ile elde edilen sonuç en iyi çözüm anlamına gelmez. Benzetim ancak çok sayıda tekrar edilerek sonuçların ortalaması alındığında en iyi çözümü ifade edebilir. Bu durumun sağlanması için de benzetim yönteminin bilgisayar üzerinde uygulanması oldukça önemlidir. Bilgisayar üzerinden sistemi temsil eden bir benzetim oluşturulduğunda el ile çok ciddi süreler alabilecek çözümlere çok daha kısa zamanda ulaşılabilir (Kobu, 2017: 350).

Benzetim yönteminin üretim yönetimi alanında kullanımları şu şekilde ifade edilebilir (Top ve Yılmaz: 2018: 331):

1) İş yerinin düzeninin belirlenmesi: Bir restoranda mutfağın nerede olacağı ve mutfağın düzenlenmesi veya bir petrol ofisinde pompa sayısının belirlenmesi.

2) Kapasite planlaması: Olasılık dahilinde olan çeşitli planların maliyetlerinin değerlendirilmesi.

3) Fabrikalar içindeki hatlarda makinelerin doğru sıra ve sayıda kullanılarak darboğazlardan kurtulma işlemi ile atama problemleri.

4) Envanter yönetimi ve sipariş miktarı ve zamanının belirlenmesi.

5) Malzeme yönetimi, üretim planında yapılan değişiklikler ile malzeme hareketlerinin incelenmesi

Benzetim yöntemi sonucunda sağlıklı sonuçlar elde edebilmek için benzetimin çok sayıda tekrar çalıştırılması gerekmektedir. Sabit duruma ulaşmak için yapılacak bu tekrarları el ile yapmak zaman konusundan zorlayıcı olabileceği gibi hesaplama yanlışlıkları gibi riskleri de beraberinde getirir. Sabit durum, benzetimin n sayıda tekrarı sonrasında elde edilen sonuçların ortalamalarının sabit kaldığı durumu ifade eder. Bu duruma ulaşmak için bilgisayarların kullanılması el ile çözüme göre oldukça avantajlıdır. Bilgisayar benzetimi içerisinde az sayıda değişken içeren modeller için MS Excel programı ve fonksiyonları kullanılarak Monte Carlo benzetim modeli oluşturulabilir. Daha karmaşık modeller için özellikle hazırlanmış benzetim programları kullanılabilir (Krajewski vd., 2014: 162-165).

Bahsedildiği gibi benzetimin kullanım alanlarından birisi de envanter yönetimi konusudur. Çalışmanın genel konusu ve uygulamasında odaklanılan alan olduğundan yazının devamında envanter yönetimi bakış açısı altında envanter benzetimi ile alakalı detaylı bir inceleme yapılacaktır.

2. ENVANTER YÖNETİMİNDE BENZETİM KULLANIMI

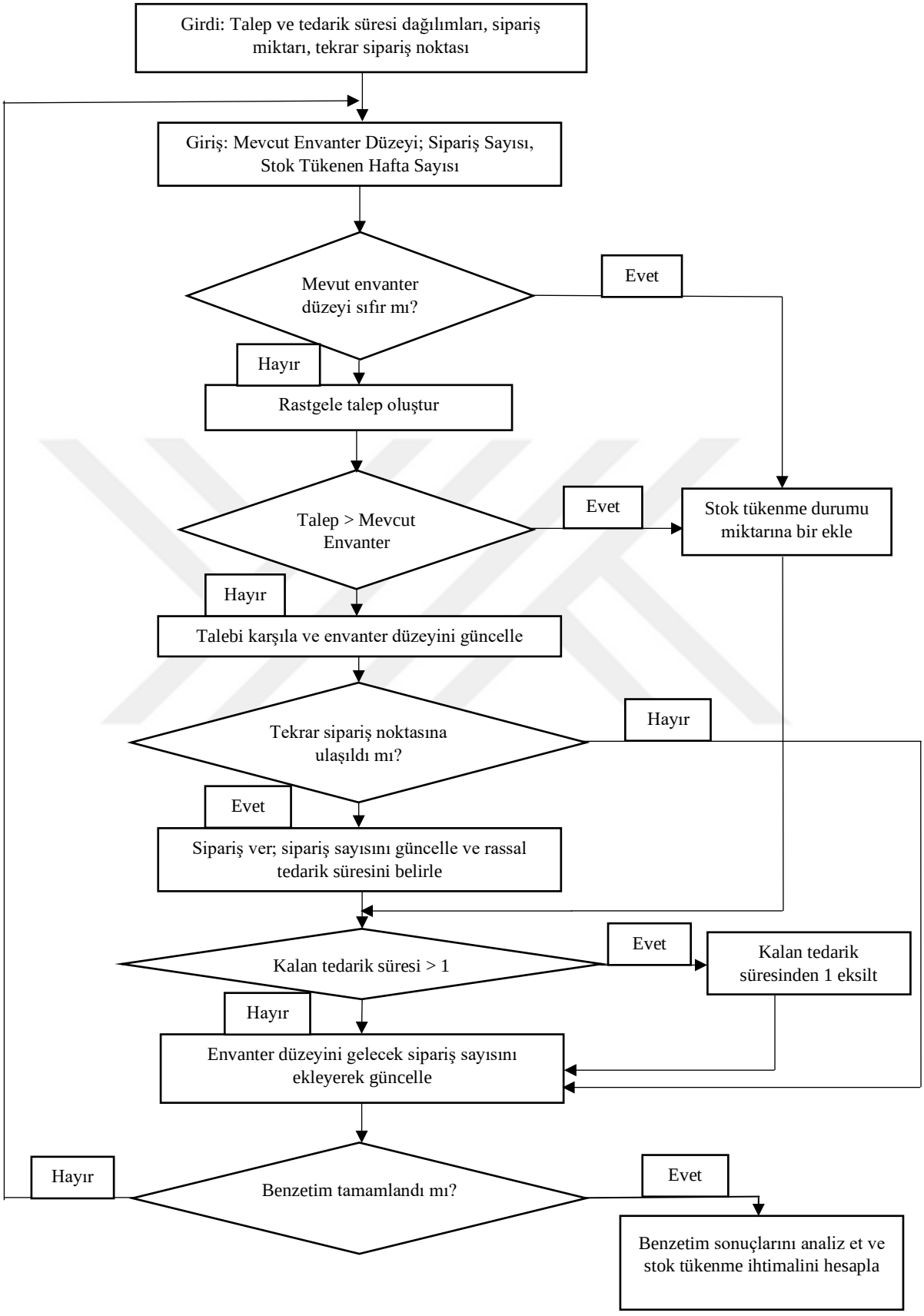
Benzetim, envanter yönetimi amacıyla kullanılabilir. Birinci bölümde değinilen envanter modelleri karmaşık matematiksel formüller içerir. Benzetim, bu modellere alternatif olarak düşünülebilir. Örnek verilecek olursa, tedarik süresi ve talep verilerinin sabit olmadığı durumlarda benzetim kullanılabilir (Heizer vd., 2016: 792).

Birçok envanter sisteminde olasılıksal talep ve tedarik süresi dağılımları devreye girdiğinde modeller oldukça karmaşık bir hal alabilmektedir. Benzetim bu gibi durumlarda kullanılabilecek yöntemlerden bir tanesidir. Bazı envanter yönetimi modellerinde ise benzetim kullanılabilecek yegane yöntem olarak ön plana çıkmaktadır. Bunların yanında, herhangi bir karar alınacağında bir şüphe duyuluyorsa bunu risksiz bir

şekilde deneyebilecek ortam da benzetim yöntemi tarafından karşılanabilmektedir. Ancak doğru çalışan bir benzetim oluşturmak için veri ve zaman gibi kaynaklara ihtiyaç duyulmaktadır (Vrat, 2014: 140).

Vrat (2014: 141) çalışmasında örnek bir envanter benzetimi için akış şeması aktarmıştır (Şekil 5). Bu akış şeması üzerinde mevcut envanter düzeyi kontrol edilerek stok tükenme durumu ile kaç defa karşılaşıldığı takip edilmektedir. Bunun yanında envanter düzeyinin belirlenen tekrar sipariş noktasına ulaşıp ulaşmadığı da kontrol edilerek sipariş kararı verilip ardından tedarik süresi belirlenmektedir. Bunun yanında daha önceki günlerde sipariş verildiyse bu siparişin de ne zaman ele geçeceği sürekli takip edilip ertesi dönemde envantere yeni siparişlerin eklenip eklenmeyeceği denetlenir. Her dönem sonunda bu değişkenlere göre karar alınır ve ardından yeni döneme geçilir, aynı karar alma süreci tekrarlanır.

***Şekil 5**. Envanter Benzetimi Akış Şeması*



Kaynak: Vrat, (2014: 143).

3. MONTE CARLO BENZETİMİ

Gerçek bir sistemde gelişecek olayların kesin bir şekilde bilinmesi her zaman mümkün olmamaktadır. Monte Carlo benzetiminde bu gibi durumları taklit edebilecek şekilde ihtimali durumlar hesaba katılır. Bu süreçte rastgele sayılardan faydalanılır. Bu sayıların belirlenmesinde tesadüfi sayılar tablosundan yararlanılabilir. Benzetim kullanılmaya karar verildikten sonraki süreçte verilecek bir diğer karar da sistemin modelinin kesikli mi kesiksiz mi olacağıdır. Kesikli dağılımda değişkenin belirlenen aralıklarda rastgele sayı üretildiğinde alacağı değer sabitken, sürekli dağılımda matematiksel ve istatistiksel formüller kullanılarak her bir rastgele sayı için farklı bir değer hesaplanır (Top ve Yılmaz: 2018: 333).

Monte Carlo benzetimi, rastgele elemanların kullanımı ile şans durumunun da kullanıldığı benzetim tekniğidir. İçinde şans barındıran sistemlerin davranışlarını simüle ederken bu teknik kullanılabilir. Heizer vd. (2016: 794) bu tekniği 5 aşamada açıklamaktadır:

1. Önemli değişkenler için olasılık dağılımı hazırlanır: Monte Carlo benzetimin temel düşüncesi değişkenler için değerler oluşturmaktır. Gerçek dünya sistemlerinde rassallık çoğu zaman kendini gösterir. Talep, tedarik süresi, hizmet süresi, proje tamamlanma süresi gibi değişkenler bu konuya örnek olarak verilebilir.

Monte Carlo benzetimi içerisinde verilerin sisteme aktarımı rastgele sayıların kullanımı ile sağlanmaktadır. Rastgele sayı atama, bütün sayıların aynı seçilme olasılığına sahip olduğu bir ortamda rastgele bir sayının seçimini ifade eder. Böylece atanan rastgele sayı hangi olayın gerçekleşeceği kararında kullanılmış olur (Krajewski vd., 2013: 159).

Olasılık dağılımı oluşturulurken genel olarak kullanılan yöntemlerden birisi tarihsel çıktıları incelemektir. Bir olayın gerçekleşmesi sayısını toplam olayların sayısına bölerek olayların gerçekleşme olasılıkları hakkında fikir elde edilebilir (Heizer vd., 2016:794).

2. Her bir değişken için birikerek artan olasılık dağılımı listelenir: Her bir olayın gerçekleşme olasılıkları hesaplandıktan sonra birikerek artan olasılık dağılımının oluşturulması oldukça kolay bir adımdır. Sırasıyla her bir olayın olasılıkları birbirleri üzerine eklenerek 0 ile 1 arasında bulunan yüzdelik dilimler olaylar arasında dağıtılır. Her olayın ait olduğu dilim böylece belirlenmiş olur.

3. Her değişken için rastgele sayı aralığı belirlenir: Önceki adımda belirlenen dilimlere göre olayların gerçekleşmesini ifade edecek olan sayı aralıkları atanır.

4. Rastgele sayı üretimi: Rassal sayı tablosu veya MS Excel gibi bilgisayar programları kullanılarak rastgele sayılar üretilir.

5. Denemeler gerçekleştirmek: Her simüle edilecek olayda rassal sayılar kullanılarak hangi olayın gerçekleşeceğine karar verilir ve bu şekilde sistem çalıştırılır.

Benzetimler çok defa tekrar edildikten sonra edinilen sonuçlar birbirleriyle kıyaslanır. Değişkenlere farklı değerler tayin edilerek elde edilen sonuçlar birbirleri ile karşılaştırıldıktan sonra sistem daha iyi anlaşılabilir veya en iyi çözüme ulaşılabilir (Krajewski vd., 2013: 162).

Krajewski vd. (2013:157) Monte Carlo Benzetimini, içerisinde rastgele sayılar kullanılan benzetim yöntemi şeklinde tanımlamışlardır. Süreci ise Heizer vd. (2016) ek olarak veri toplama, modelin formüle edilmesi aşamaları ile de aşağıdaki gibi incelemişlerdir (Krajewski vd., 2013: 157):

- Veri Toplama: Benzetim yönetiminde maliyet, kapasite, olasılık gibi veriler kapsamlı şekilde kullanılır. Daha önce yayınlanmış kaynaklardan veri elde edilebildiği gibi bu imkana sahip olunmadığı durumlarda yeni veri toplanması gerekmektedir. Veri toplamanın çok maliyetli olacağı durumlarda istatistiksel analizlerle birlikte örneklem kullanılarak işlem yapılabilir.
- Model Formülasyonu: Benzetim modelinin formülasyonu için değişkenlerin birbirleri ile ilişkilerini doğru anlamak gerekmektedir. Benzetim modelleri içerisinde karar değişkenleri, bağımlı ve bağımsız değişkenleri barındırır. Karar değişkenleri karar verici tarafından kontrol edilen değişkenlerdir. Bağımsız değişkenler ise karar vericinin kontrolü altında olmayan rassal sayıları ifade eder. Bağımlı değişkenler ise bağımsız ve karar değişkenlerinde oluşan değerlere göre belirlenen diğer değişkenlerdir.

Model formülasyonu içerisinde bahsedildiği gibi değişkenler arası ilişkilerin belirlenmiş olması gerekmektedir. Yani karar değişkenleri ile bağımlı, bağımsız değişkenlerin aralarındaki ilişkiler matematiksel formüllerle hesaplanabilir haldedir (Krajewski vd., 2013: 159).

Monte Carlo benzetimi MS Excel programında uygulanabilmektedir. Benzetimi oluşturmanın ilk adımı rassal sayıların üretilmesidir. Bu üretim sonunda rassal sayıların rassal değişkenlerin değerleri için uyarlanması aşaması da oldukça önemlidir. Rassal

sayılar MS Excel programında s_sayı_üret() fonksiyonu ile yapılır. Bu fonksiyon sonucunda 0-1 arası bir değer rassal olarak üretilir. Rassal sayı atama aşamasında öncelikle rassal değişkenler için kümülatif olasılık dağılımlarının ifade edildiği tablolar oluşturulur. Bu tablolar içindeki değerler düşeyara() komutu ile rassal sayılardaki değerleri kullanarak seçilir. Bu aşamalar sonrasında ilgili kutulara ilgili değişkenler yerleştirilerek aralarındaki ilişkiler formülize edilir ve benzetim tamamlanır (Krajewski vd., 2013: 162-164).

4. BENZETİM TABANLI EN İYİLEME

Günlük hayatta karşılaşılan birçok stokastik en iyileme problemi matematiksel ve analitik modeller ile çözülmek için oldukça karmaşık yapılardır. Bu gibi durumlarda kullanılabilecek yöntemlerden bir tanesi benzetimdir. Benzetim modellerinin amacı karmaşık ve stokastik gerçek dünya sistemlerinin davranışlarının tahmin edilmesidir. Genelde benzetim modelleri, alınması muhtemel kararların sonuçlarını gerçek bir uygulama yapmadan görebilmek için de kullanılır (Lang, 2010: 68).

Benzetim modelleri 3 farklı boyutta kategorize edilebilir (Lang, 2010: 68):

1. Statik & Dinamik Benzetim Modelleri: Statik model zamanın yalnızca belli bir anını incelerken, dinamik model sistemin devam eden bir süreçteki hareketleri ile ilgilidir.

2. Deterministik & Stokastik Benzetim Modelleri: Benzetim modeli içinde rassallık söz konusu ise stokastik, değilse deterministik modeller şeklinde ifade edilir.

3. Devamlı & Kesikli Benzetim Modelleri: Devamlı modeller zaman içinde sürekli değişen sistemlerde kullanılırken kesikli modeller yalnızca belirli zamanlarda değişkenlik gösteren sistemlerde kullanılır.

Benzetim modellemesi ile veri analizi karar almaya yardımcı araçlar arasında en fazla kullanılan yöntemlerden biri olarak görülmektedir. Benzetim yöntemi bir sistemin performansını artırması açısından ne kadar önemli bir yöntem olsa da en iyileme konusunda bir çözüm sunamamaktadır. Benzetim yöntemi gerçekleşmesi muhtemel senaryolar üzerinde analiz yapmayı sağlar ancak en iyileme konusunda başka yöntemlerin kullanılması bir gerekliliktir. Bir en iyileme yöntemi ile benzetim yönteminin birlikte kullanılması durumu benzetim temelli en iyileme şeklinde isimlendirilir (Aiassi vd., 2020).

Klasik yaklaşımda benzetim otomatik olarak çalışıp bunun için yazılımlar kullanılırken; alternatif kararlar manuel olarak değiştirilerek en iyi sonuca bu şekilde ulaşılmaya çalışılmaktadır. Benzetim tabanlı en iyileme yaklaşımında ise hem benzetim hem kararlar otomatik olarak işlenir ve en iyi karara otomatik olarak ulaşılır. Benzetim tabanlı en iyileme yaklaşımı içerisinde kullanılan sistemlerde alınacak kararlar yazılım tarafından değiştirilir ve belli sayıda tekrarlanır. Bu tekrarlar sonucunda elde edilen çıktılar değerlendirilir ve istenen durum için en uygun karar böylece otomatik olarak sistem tarafından ortaya çıkarılır (Lang, 2010: 69).

En iyileme yapılırken öncelikle kurulan benzetim modeli içinde yer alan kısıtların ve etkenlerin belirlenmesi gerekmektedir. Model oluşturulması oldukça zor bir süreçtir. Model oluşturulurken olabildiğince basitleştirilmiş şekilde olması önemlidir. Sistem birden fazla farklı model ile ifade edilebilir ve en iyileme yapılabilir. Çoğu zaman sadece tek bir amacın en iyileme için yeterli olmadığı görülmektedir. Bu gibi durumlardan birden fazla değişken ile en iyileme yapılır. Bu değişkenler birbirleri ile çelişkili olabilir, ki bu da çözümü zorlaştırır (Nieberg vd. 2020: 6).

Benzetim tabanlı en iyileme modelleri adından da anlaşıldığı üzere içeriğinde bir benzetim ve en iyileme problemi barındırır. Belirli değişkenler üzerinden çalışan bu model içerisinde; benzetim çalışmaları sonucunda tahmin edilebilecek olan bir sonuç fonksiyonu, bu sonuç fonksiyonunun aynısı veya bir türevi olan amaç fonksiyonu ve duruma göre değişkenler için çeşitli kısıtlar yer alır. Modelin sunduğu çözüm bir veya birden fazla değişkenin değerleri üzerinden tahmin edilen bir karar alternatifidir. Bu değişkenler devamlı, tam sayı veya ikili yapıda da olabilir. Modelin boyutu ise kullanılan değişkenlerin sayısı ile ilgilidir (Lang, 2010: 70). En iyileme problemleri iki ana başlıkta incelenebilir (Gosavi, 2015: 2):

1. Parametrik (Statik) En İyileme: Bir performans ölçüsünün en iyilemesi için karar değişkenlerinin değerlerinin bulunmasını ifade eder. Parametrik en iyileme için genelde doğrusal, doğrusal olmayan ve tam sayılı programlama gibi matematiksel programlama teknikleri kullanılmaktadır. En iyileme sonrası elde edilen sonuç statiktir.

2. Kontrol (Dinamik) En İyilemesi: Bir performans ölçüsünün en iyilenmesi için alınacak aksiyonların doğru bir şekilde belirlenmesini ifade eder. Bu tür en iyilemede dinamik programlama yöntemi kullanılmaktadır. En iyileme sonrasında farklı durumlar için farklı çözümlere ulaşılabilir bu yüzden dinamik en iyileme olarak da adlandırılır.

Benzetim tabanlı en iyileme modelinde belirsizlik, belirsiz bütün faktörler için olasılık dağılımları tahmin edilerek modellenir. Rastgele sayı üretildikten sonra benzetim yazılımları ile her bir belirsiz değişken için çeşitli senaryolar oluşturulur. Senaryolardan kasıt her değişken için atanan sayıları ifade eder. Benzetim içerisinde değişkenler arası bağımlılık söz konusudur yani bir değişkene atanan bir sayı diğer değişkenin değerini de etkileyebilir. Benzetim her çalıştığında tek bir durum için tek bir senaryoyu işletir (Lang, 2010: 71).

5. DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN PROGRAMLAMA

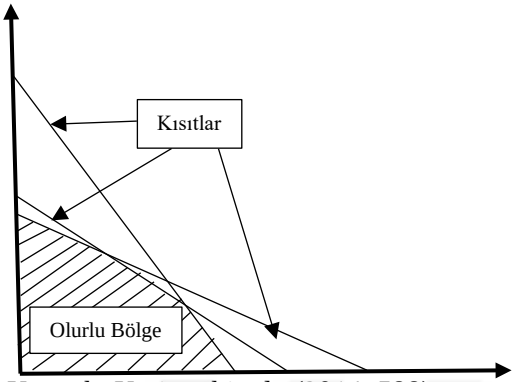
Üretim planlaması sürecinde sınırlı kaynakların verimli bir şekilde kullanılması bir ihtiyaçtır. Bu ihtiyacın en verimli şekilde karşılanması oldukça zor olabilmektedir. İkinci Dünya Savaşı sırasında ortaya atılmış doğrusal programlama yöntemi, alternatif stratejiler arasından en uygun ve verimli stratejinin belli kısıtlar ve koşullar da dikkate alınarak seçilmesini sağlamaktadır (Top ve Yılmaz, 2018: 179).

Doğrusal programlama yöntemi uygulamasında bilinmesi gereken önemli ifadeler bulunmaktadır (Krajewski vd., 2014: 583):

- *Amaç fonksiyonu*, istenen değeri minimum ya da maksimum yapacak ifadeyi tanımlar (Tanyaş ve Baskak, 2018: 165).
- *Karar değişkenleri*, karar verirken kontrol edilebilen değişkenleri ifade eder. Doğrusal programlama içinde karar değişkenlerinin sürekli olduğu varsayılır.
- *Kısıtlar*, karar değişkenlerinin alabileceği değerlerdeki sınırlamalardır. Kısıtlar büyüktür, küçüktür, büyük veya eşittir, küçük veya eşittir ya da eşittir ifadeleri ile tanımlanır.
- *Olurlu bölge*, kısıtlar ile beraber sınırlanan karar değişkenleri değerlerini ifade etmektedir.
- Bu ifadelere ek olarak parametre olarak tanımlanan sabit değerlere, amaç fonksiyonu grafikleştirildiğinde bir doğru ile ifade edilmesi varsayımına ve karar değişkenlerinin negatif olmama varsayımına da dikkat edilmesi gerekmektedir.

Süreç içinde amaç fonksiyonunu istenilen değere göre maksimum ya da minimum yapacak karar değişkenleri bulunur (Kobu, 2017: 287). Değişken ve kısıt sayısına göre grafik çözümü uygulanabilir ya da bilgisayarlı yazılımlar kullanılabilir.

Şekil 6. *Doğrusal Programlama*



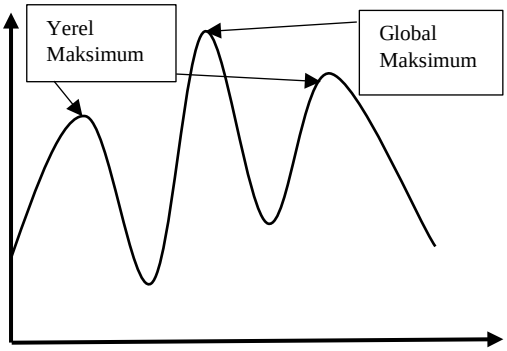
Kaynak: Krajewski vd., (2014: 588).

Gerçek hayatta karşılaşılan problemlerin birçoğu doğrusal formüller ile ifade edilmez. Doğrusal yapı göstermeyen durumlarda kullanılabilecek yöntem ise doğrusal olmayan programlamadır. Doğrusal olmayan programlama, doğrusal programlamaya göre daha karmaşık bir yapıyı içinde barındırır. Doğrusal programlama yönteminde Şekil 6'da da görüleceği üzere doğruların kesişme noktaları nettir ve en iyi çözüm bu noktalar ile bulunur. Doğrusal olmayan programlamada en iyi noktanın bulunması oldukça zordur (Taylor, 2013: 478).

Doğrusal olmayan programlama ise değişkenlerin basit şekilde değil fonksiyon olarak da ifade edilebildiği problemlerin çözümünde kullanılabilir. Amaç açısından doğrusal programa ile aynı olarak değerlendirilebilir. Doğrusal olmayan programlamada yine amaç fonksiyonunu minimum ya da maksimum yapan değerler karar değişkenleri üzerinden kısıtlar da dikkate alınarak belirlenir ve en iyileme yapılır (Öztürk, 2016, 789).

Doğrusal olmayan programlama içinde dikkat edilmesi gereken önemli bir husus bulunmaktadır. Doğrusal programlamada yerel veya global olarak tek bir en iyi çözüm bulunmaktadır. Doğrusal olmayan programlamada ise yerel ve global en iyi noktalar değişkenlik gösterebilir. Grafik üzerinde incelendiğinde bu noktalar daha net şekilde görülebilmektedir (Şekil 7). Durum bu şekilde olduğu için çözüm sonrası bulunan noktanın global en iyi nokta olduğu belirlenmelidir (Öztürk, 2016: 790).

Şekil 7. *Doğrusal Olmayan Programlama*



Kaynak: Öztürk, (2016: 798).

Doğrusal ve doğrusal olmayan programlama yöntemleri karmaşık algoritmalar ile matematiksel formüller içerir ve problemler kağıt üzerinde çözülebilir. Ancak çok karmaşık problemlerde bilgisayar programlarından yararlanmak hem çözüm süresini kısaltmada hem de doğru sonuçlar elde etmede faydalı olmaktadır. Bu programlardan bir tanesi MS Excel programıdır. MS Excel içerisinde yer alan çözücü eklentisi kullanılarak oluşturulan kısıtlar ve parametreler ile birlikte problem formüle edilerek çözüme ulaşılabilir.

6. BENZETİM İLE İLGİLİ LİTERATÜRDEKİ ÇALIŞMALAR

Benzetim yöntemi birçok alanda farklı amaçlarla kullanılabilmektedir. Literatür incelendiğinde kullanım alanlarının çeşitliliği görülebilmektedir. Benzetim yönteminin hangi alanlara uygulandığı, ne amaçla kullanıldığı ve nasıl iyi bir şekilde kullanılabileceğini anlamak için daha önce yapılmış çalışmalar incelenmiştir.

Bartezzaghi vd. (1999) yaptıkları çalışmada düzensiz ve aralıklı talep yapısını incelemişlerdir. 3 farklı tahminleme yönteminin aralıklı talep yapısı ile testlerinin benzetim modeli kullanılarak çözümlendiği çalışmada bu yöntemler karşılaştırılmış ve sonuçlar paylaşılmıştır. Aralıklı talebin 5 farklı durumun oluşması neticesinde meydana geldiği de çalışma içerisinde anlatılmaktadır. Müşteri sayısı, müşteri heterojenliği, müşteri isteklerindeki farklılaşma, siparişlerin meydana gelmesinin frekansı ve müşteri davranışlarındaki korelasyon talebin yapısını bu şekilde etkileyebilmektedir. Bu 5 durumdan hangilerinin talep üzerinde etkili olduğu kullanılacak tahmin tekniğinin başarısını doğrudan etkilemektedir. Araştırma sonucunda da bu durumlar ayrıntılı şekilde açıklanmıştır.

Baldwin vd. (2000) yaptıkları çalışmada üretim sistemlerinin hem küçük ölçekli hem de büyük organizasyonlarda çok pahalı ve karmaşık sistemler olduğuna ve bu sistemlere zaman içerisinde farklı bakış açılarının geldiğine dikkat çekmişlerdir. Bu bağlamda benzetim kullanımının bu sistemleri incelemek açısından kullanıldığına değinilmiş ve piyasada çok farklı benzetim yazılımlarının ortaya çıktığından bahsedilmiştir. Çalışmanın amacı bu yazılımları inceleyerek hem akademik açıdan hem de sektör çalışanlarından anket yöntemi ile toplanan veriler ışığında yazılımların yeni taleplere karşılık verip vermediği ve benzetim yönteminin iyi ve kötü yönlerinin öğrenilmesidir. Araştırma sonucunda benzetim yazılımlarının karmaşık ve standart olmayan problemlerde problem yaşadıkları görülse de katılımcıların genel anlamda benzetim yazılımlarından memnun oldukları görülmüştür.

Yang vd. (2001) çalışmalarında belirsiz koşullar altında kapasite kontrolü konusunda Monte Carlo benzetiminin kullanımı üzerinde durmuşlardır. Araştırmada benzetim yöntemi konusunda literatür taranmış ardından yöntem hakkında bilgiler verilmiştir. Model yapısı, benzetim süreci ve benzetim çıktıları üzerinde hangi analiz yöntemleri kullanılabilir incelenmiştir. Örnek olarak bir şirket seçilmiş ve veriler ışığında Monte Carlo benzetimi kullanılarak kapasite planlaması yapılmıştır. Elde edilen bulgular neticesinde yöntemin kullanılabilir bir yöntem olduğu ve iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Greasley (2003) çalışmasında benzetim yönteminin üretim organizasyonlarında kullanımı ve nasıl daha iyi bir şekilde kullanılabileceği üzerinde durmuştur. Çalışmada Birleşik Krallık'ta yer alan, demiryolu sektörü için üretim yapan bir işletme kullanılmıştır. İşletmenin üretim süreçleri incelenmiş ve bu üretim süreçlerini doğru bir şekilde temsil edecek benzetim modeli oluşturulmuştur. Araştırma sonucunda işletmenin benzetim yöntemini yeterince verimli kullanmadığı görülmüştür.

Rytila ve Spens (2006) yaptıkları çalışmada kan tedarik zincirinin geliştirilmesi ve sınırlı bir kaynak olan kanın daha verimli kullanılmasını amaçlamışlardır. Tedarik zincirini iyileştirmek adına bilgisayarlı benzetim yöntemi kullanılmıştır. Benzetim modeli oluşturulurken sektördeki uzmanlar da işin içine katılıp iş birliği içinde çalışılmıştır. Araştırma sonucunda benzetim yönteminin kullanımı ile tedarik zincirinin verimliliğinin ve sağlık sektöründeki kalitenin arttığı görülmüştür.

Banomyong ve Sopadang (2010) çalışmalarında acil lojistik yanıtlama modeli geliştirme konusunda bir çerçeve sağlamak istemişlerdir. Ancak yalnızca bu çerçevenin yeterli olmayacağı düşünülerek benzetim yöntemi üzerinde de durulmuştur. Araştırma sonucunda Monte Carlo benzetimi kullanılarak geliştirilmiş acil lojistik yanıtlama modellerinin güvenilirliği ve geçerliliğinin artırılabileceği görülmüştür.

Qing ve Chakravarthy (2012) Markovian varış süreci kapsamında müşterilerin varış tiplerini kullanarak çok sunuculu bir sıralama sistemi incelemişlerdir. Markovian süreci içerisinde yer alan Tip 1 ve Tip 2 müşteri türlerine göre sıralama yönetimi konusunda çalışılmıştır. Çalışmanın modeli içinde spektrum içinde yer alan sınırlı kanalların kullanımı üzerinde durulmuştur. Tip 1 müşteriler ücretli ve öncelikli müşteriler iken Tip 2 müşteriler ücretsiz müşterilerdir. Bu durumda Tip 2 eğer spektrumda boş alan varsa sisteme dahil olabilir. Sisteme dahil olsa dahi eğer Tip 1 bir müşteri sisteme girmek isterse Tip 2 müşteri spektrum dışına atılır. Ve sonuçta bu varsayımlar içerisinde bir benzetim oluşturulmuştur.

Suryani vd. (2012) hava kargo taleplerini dikkate alarak terminal kapasitelerini planlama konusunda yaptıkları çalışmada havaalanı kapasitelerini genişletme kararı üzerinde durmuşlardır. Talep tahmininde iyimser ve kötümser senaryolar da dikkate alınarak yapılan benzetim çalışması sonucunda iyimser senaryoda 2018, kötümser senaryoda 2030 yılında kapasite artırımına ihtiyaç duyulacağı bulgusuna ulaşılmıştır.

Chen vd. (2012) ilaç sektöründe piyasaya yeni ilaç sürüleceğinde çok yüksek maliyetler oluştuğuna değinmiş ve bu konuda en iyileme çalışması yapmışlardır. Piyasaya yeni ilaç sürülmesi sürecinde en çok maliyet oluşturan aşamanın klinik deneyler olduğu belirtilmiştir. Bu çalışma içerisinde ise ilaçların farklı bölgelerdeki hastalara iletilmesi sürecindeki tedarik zinciri konu alınmış ve benzetim tabanlı en iyileme modeli kurulmuştur. Araştırma sonucunda önerilen modelin risk yönetimi konusunda, ilaç paketlerinin etkin kullanımında, dizayn problemlerinin esnekçe aşılmasında iyileştirmeler sağladığı görülmüştür.

Nguyen vd. (2014) inşaat konusunda benzetim tabanlı bir en iyileme çalışması yapmışlardır. Çalışmada bina dizayn en iyilemesinde karşılaşılan sorunlara ve engellere değinilmiştir. Ana tartışmalar en iyileme algoritmasının seçimi ve performansı, çok amaçlı en iyileme, belirsizlik durumunda en iyileme gibi konulardır. Bunun yanında en iyileme çalışmaları ve trendleri hakkında literatür taraması da kapsamlı şekilde çalışma

içinde yer almaktadır. Bunlara ek olarak gelecekte çalışılabilecek konulara da ışık tutulmuştur.

Rego ve Mesquita (2015) yedek parça talebinin tahmini ve her bir stok bulunduran birim için hangi envanter politikasının daha iyi sonuçlar verdiğini anlamak amaçlı geniş ölçekli bir benzetim çalışması yapmışlardır. Çalışmada Brezilya'da otomotiv sektöründe faaliyet gösteren stok bulunduran birimlerden elde edilen 6 yıllık talep verileri kullanılmıştır. Çalışma içerisinde çok sayıda yöntem benzetim ile incelenmiştir. Veriler haftalık ve aylık olarak incelenirken tahmin modelleri olarak basit hareketli ortalamalar, Syntetos- Boylan yaklaşımı ve Bootstrapping kullanılmıştır. Bunların yanında 6 farklı talep dağılımı da modeller içerisinde test edilmiştir. Bunların sonucunda 17 kombine politika ortaya çıkarılmış toplam maliyetler üzerinden sonuçlar incelenmiştir. Bu deneysel çalışmanın sonucunda elde edilen bulgular paylaşılmıştır.

Shaabani ve Kamalabadi (2016) çalışmalarında bozulabilen ürünler için envanter rotalaması konusuna odaklanmışlardır. Ürün ömürlerinin sabit olarak kabul edildiği çalışmada çok dönemli çok ürünlü iki aşamalı tedarik zincirli envanter rotalama problemi sunulmuştur. Bu problem içerisinde tek bir üretici ve birden çok perakendeci ile en iyi kargolama stratejilerine ulaşılmak istenmiştir. Kurulan model içerisinde talebin karşılanmaması durumu oluşmayacak şekilde toplam maliyetin minimize edilmesi amaçlanmıştır. Model içinde PBSA algoritması kullanılmış CPLEX çözücüsü gibi farklı programlarla gevşetmeler yapılarak üst ve alt sınırlar belirlenerek en iyi çözümler sunulmuştur. PBSA algoritmasının bu konuda etkin bir şekilde çalıştığı görülmüştür.

Janssen vd. (2018) besinlerin bozulması durumunu marketler üzerinden incelemişlerdir. Araştırmalarında bozulabilen ürünler için envanter yönetimi konusunu çalışmışlardır. Ancak literatürde yer alan diğer çalışmalara ek olarak kurdukları modelde marketlerin kapalı olduğu günleri de hesaba katmışlardır. Ürünlerin marketlerin kapalı olduğu günlerde de bozulma sürecinin devam ettiği bir gerçektir bu yüzden bunu da bir kısıt olarak model içinde değerlendirmişlerdir. Model içerisinde bunun dışında maksimum envanter kapasitesi, hedeflenen hizmet düzeyi gibi kısıtların yanında ürünler için sabit yaşam süresi, pozitif tedarik süresi ve durağan olmayan rassal talep gibi varsayımlar da yer almaktadır. Bahsedilen koşullar çerçevesinde karşılaştırmalı benzetim çalışmaları yapılarak israf edilen besinlerin sayısı ve böylece maliyetleri aşağı çekilmek istenmiştir.

Gruler ve diğerleri (2018) çalışmalarında bayilerin tedarik zinciri yönetimi üzerine odaklanmışlardır. Çalışmada bayilerin maliyetleri azaltmak için envanter yönetimi ve rotalama faaliyetlerine önem verdiklerine değinilmiştir. Talep belirsizliği ve stok tükenmesi durumunun kabul edildiği varsayımları ile birlikte bir benzetim modeli oluşturularak rotalama problemleri çözülmeye çalışılmıştır. Amaçlardan birisi de bu problemi çözerken hesaplama süresini azaltmaktır. Araştırma sonucunda oluşturulan algoritma halihazırda kullanılan algoritmalar ile karşılaştırılmış ve sonuçlar paylaşılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda sunulan algoritmanın literatürdeki diğer algoritmalara nazaran daha hızlı çözüm sunduğu ve daha karmaşık problemler ile başa çıktığına ulaşılmıştır.

Chakravarthy ve Rumyantsev (2020) kuyruk envanter modelleri üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışma içerisinde yalın talepler yerine yığın talepler de incelenmiştir. Çalışmanın bu yönden literatürde özgün bir yeri olacağı da ifade edilmiştir. Markovian süreci kullanılarak oluşturulan yığın talep durumları ile iki farklı model oluşturulmuştur. Modeller içerisinde envanter yenileme politikası olarak minimum, maksimum envanter politikası kabul edilmiştir ve tedarik süreleri rastgele olarak belirlenmiştir. Oluşturulan modellerin ilkinde, müşteri ulaştığında envanter düzeyi sıfıra inerse müşterinin kaybedildiği varsayılırken ikinci modelde ilk modele ek olarak servis tamamlama döneminde de envanter durumu dikkate alınarak müşteri kaybedilebilmektedir. Bu varsayımlar üzerinden çok sunuculu sistemler için ARENA kullanılarak oluşturulan benzetim oluşturulmuştur. Araştırma sonucunda iki model birbirleri ile kıyaslanmıştır.

Drenovac vd. (2020) yaptıkları çalışmada bozulabilen malların depolama yerlerinden toplanıp işleme tesislerine götürülmesi sürecini incelemişlerdir. Bu süreç içerisinde toplama araçlarının çok sayıda sefer yaptığı varsayılmıştır. Bunun yanında zamanla ürünlerin kalitesinin düştüğü de düşünülerek ürün kalitesini maksimize etmek ve toplama araçlarının sayısını azaltmak amaçlı olarak araçların hangi tesisleri, ne zaman ziyaret edecekleri konusunda en iyileme yapılması amaçlanmıştır. Bu çalışma için sezgisel bir benzetim geliştirilmiştir. Araştırma sonucunda oluşturulan yaklaşımın toplama araçlarının görevlendirilmesi konusunda gelişmeler sunduğu görülmüştür.

Gholami vd. (2020) atmosferdeki toz durumu konusunda araştırma yapmışlardır. Çalışma içerisinde İran'ın Kuzistan ilinin Ahvaz bölgesinde beş farklı mekânsal toz

kaynaklarından örnekler alınmıştır. Glue ve Monte Carlo benzetimi kullanılarak yapılan analizler ile mekânsal toz kaynakları haritalandırılmıştır.

Xie vd. (2020) kum, toz fırtınalarında meydana gelen elektromanyetik iletkenlik konusunu Monte Carlo benzetimini kullanarak çalışmışlardır. Benzetim sonucunda çeşitli frekanslarda yüklenmiş parçacıkların ve çoklu serpinti durumlarının etkileri de hesaba katılarak elektromanyetik iletkenlik durumları analiz edilmiştir.

Dufek ve Mickus (2020) nükleer enerji üretiminde yakıttan ne kadar enerji kullanıldığını ölçümlemek amaçlı Monte Carlo benzetimini kullanmışlardır. Ancak çalışmaları içerisinde işlem maliyetini düşürmek için kullanılan değişkenlerin bir kısmının hesaplamaların süresini gereksiz bir şekilde uzattığı düşünülmüş ve bu değişkenlerin kullanımı konusunda değişiklikler yapılarak işlem süresi kısaltılmıştır. Bütün bu işlemler ardından tutarlı sonuçlara ulaşıldığı düşünülen benzetimin son hali sunulmuştur.

Kusumoto vd. (2020) Auger elektronlarının doz tahminlemesi ile ilgili çalışmalarında ve Brall vd. (2020) CERF tesisleri için Monte Carlo benzetimini kullanmışlardır. Bunlara ek olarak Pezel vd. (2020) kardiyoloji konusunda benzetimin kullanımının ve öğreniminin önemi hakkında çalışma yapmışlardır.

Literatür incelendikten sonra benzetim yönteminin çok çeşitli alanlarda kullanıldığı görülmüştür. Bu çalışma kapsamında ele alındığı gibi envanter yönetiminde benzetim yönteminin kullanılması, literatürde de çeşitli çalışmalarda yer almaktadır. Farklı benzetim programları ve farklı kısıtların uygulamalarını içeren yayınlar mevcuttur. Bu çalışmada da Monte Carlo benzetimi, envanter modeli içinde stokastik talep yapısını yansıtabilmek için kullanılmıştır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

BENZETİM TEMELLİ BİR YAKLAŞIM VE DOĞRUSAL OLMAYAN PROGRAMLAMA İLE ENVANTER EN İYİLEME ÖNERİSİ

1. ARAŞTIRMANIN AMACI

Çalışmanın amacı envanter kararlarını vermede benzetim yönteminin kullanılarak karar değişkenlerinin en iyilenmesini sağlamaktır. Bu uygulama sonucunda basit ortalama ile elde edilen maliyetler yardımıyla da kıyaslama yoluna gidilerek hangi yöntemin daha iyi sonuçlar verdiği anlaşılmak istenmiştir. Araştırmanın temel amacı, benzetim ve doğrusal olmayan programlama yöntemlerini kullanarak envanter yönetiminde işletmelerin kullanabileceği alternatif bir yaklaşım geliştirmektir.

2. ARAŞTIRMANIN ÖNEMİ

Envanter yönetimi hemen her işletme için önem arz etmektedir. Envanter yönetimini doğru bir şekilde uygulayamayan işletmeler çoğunlukla uzun vadede çok ciddi sorunlarla karşılaşabilmektedir. Zaman içinde doğru yönetilmeyen envanter, işletme içinde çalışanların verimini azaltabilir, teslim sürelerini uzatabilir ve çok ciddi maliyetler oluşturabilir. Envanter yönetimi, üretim sürecinin tamamını içinde barındırır. Etkin bir envanter yönetimi üretim sürecinin verimliliğini artırır ve işletmenin daha sağlıklı bir üretim sürecine sahip olmasını sağlar. Büyük işletmeler üretim yönetiminde ileri bilgisayar yazılımları ve karekod sistemleri gibi ileri teknoloji ürünler kullanmaktadır. Envanter takiplerini yüksek maliyetli yazılımlar ve dış hizmet satın alımları ile gerçekleştirebilmektedirler. Ancak küçük işletmeler genelde envanter yönetimini deneyimsel çıkarımlar ile sağlarlar.

İnsan beyni yüksek sayıda değişken içeren durumlarda karar almakta zorlanır, yanlış kararlar alabilir. Envanter yönetimi sürecinde de zaman zaman çok sayıda değişkenin hesap edilmesi gerekmektedir. Büyük ölçekli işletmeler otomatikleştirilmiş bilgisayar yazılımları ile envanter durumlarını sürekli kontrol ederken yine bu yazılımlar aracılığıyla envanter kararlarını almaktadırlar. Ancak küçük ölçekli işletmelerde bu gibi yazılımlara aslında çok da ihtiyaç yoktur çünkü bu sistemler oldukça pahalı sistemlerdir. Büyük ölçekte iş yapmayan küçük işletmelerde ise bu gibi yüksek maliyetli bir takip ve karar alma sistemi maliyetleri artırmaktan öteye geçemeyecektir.

Küçük işletmelerin bireysel deneyimler ile yönetildiğini ve ileri bilgisayar yazılımlarının bu işletmeler içerisinde kullanımının maliyetleri çok fazla yükselteceği düşünüldüğünde bu sistemlerden daha basit ve düşük maliyetli ancak insanın doğası gereği oluşacak hatalardan da kaçınmayı sağlayabilecek bir sistem kullanımı uygun olabilir.

Bu çalışma içerisinde makul ödünler vererek envanter kararlarını almaya yarayacak bir sistemin uygulaması yapılmıştır. Bu sistemin küçük işletmelerin bir süre sonra minimum çaba ile envanter kararlarını almasına katkı sağlayacağı beklenmektedir. Maliyet oluşturmadan görece az bir çaba ile envanter maliyetlerinin aşağı çekilmesine, envanter hareketlerinin doğasını anlamayı kolaylaştırmasına yardımcı olacağı düşünülen sistemin küçük işletmeler için uygulanabilir olduğu düşünülmektedir. Bu doğrultuda, bu çalışmanın hem alternatif bir yöntem önerisi sunarak teorik literatüre katkı sağlayacağı; hem de pratikte işletmelerin rahatça uygulayabileceği bir yöntem önererek envanter yönetimini kolaylaştıracağı düşünülmektedir.

3. ARAŞTIRMANIN KISITLARI VE SINIRLILIKLARI

Araştırmanın başında verilerin birincil veri toplanarak elde edilmesi ve bunun üzerinden analizlerin yapılması planlanmıştır. Ancak verilere hazır olarak ulaşılamaması ve toplanması için de gerekli çalışmalar ve görüşmeler yapılmasına rağmen bazı işletmelerin talep yapılarının, bazılarının ise iş modelinin bu çalışmanın uygulanması için uygun ortamı sağlayamadığı görülmüştür. Bu yüzden araştırmada güvenilir kaynaklardan edinilmiş ikincil veriler kullanılmıştır.

Araştırma içerisinde benzetim çalışması ile talep konusunda bir tahminleme yapılmıştır. Çalışılan tahminleme yöntemi tamamen rassallık üzerinden hareket etmektedir. Herhangi bir trend, tahminlemenin aksamaya uğramasına sebep olabilmektedir. Bu yüzden her tür talep verisine uygulanabilir bir yöntem değildir. Veriler seçilirken de trendin olmaması tercih edilmiştir.

Araştırma bünyesinde genel olarak bitmiş ürün envanteri incelenmiş, üretim sürecinde yer alan diğer envanter kalemleri üzerinde durulmamıştır. Bunun da etkisiyle yalnızca bağımsız talep yapısını inceleyen bir çalışma olması araştırmanın sınırlılıklarındandır.

Tedarik süresi verileri, verilerin ve tahmin edilecek sürenin kısıtlarına göre düzenlenmiştir. Farklı tedarik süreleri oluştuğu takdirde bu veriler de sisteme işlenebilir ve yeni sonuçlara ulaşılabilir.

4. ARAŞTIRMANIN METODU

4.1. VERİLERİN TEMİNİ VE İŞLENMESİ

Araştırmada başta gerçek bir işletme üzerinden verilere ulaşılıp bu veriler ile gerekli süreçlerin işletileceği planlanmıştır. Kısıtlı süre içerisinde 6 farklı işletme yöneticisi ve çalışanı ile görüşülmüş ancak hazır verilerin olmaması, verilerin toplanmasındaki güçlükler, işletmelerin talep yapılarının uygulanacak sisteme uygun olmaması, işletmenin iş modeli gereği böyle bir uygulamaya ihtiyaç duyulmaması gibi sebeplerden gerçek bir işletme üzerinden uygulama yapılamayacağına kanaat getirilmiştir. Nihayetinde veriler ikincil şekilde farklı kaynaklardan elde edilmiştir.

Bu doğrultuda, Uluslararası Tahminciler Enstitüsü (International Institute of Forecasters) tarafından bir tahmin yarışması için duyurulan ve araştırmacılar için de izin gerektirmeksizin kullanıma açılmış talep verileri kullanılmıştır. Bu enstitünün yayınladığı "M3-Competition" başlığı altındaki M3C tablosunda yer alan 12 senelik bir veri setinin son 3 senesi kullanılmıştır (Tablo 1). Bunun sebebi ise rassallık üzerine çalışan bir sistemin, trend eğilimine sahip bir veri kullanılarak test edilmek istenmemesidir. Son 3 senede görece daha az trend gözlemlendiği için yalnızca son 3 sene üzerinde uygulama yapılmıştır. Kullanılan veriler endüstri sektöründen elde edilmiş olup 1988-1990 yıllarına aittir.

Tablo 1. *Aylık Talep Verileri*

AY	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
TALEP	4.000	3.560	4.060	3.420	3.520	3.540	3.640	3.450	4.950	3.500	3.730	3.760
AY	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**
TALEP	3.540	3.890	4.180	3.880	3.760	3.760	3.770	4.170	3.440	3.960	3.860	2.850
AY	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**	**32**	**33**	**34**	**35**	**36**
TALEP	5.170	3.580	4.250	3.800	3.820	3.540	3.250	4.280	3.890	4.010	3.520	3.620

Monte Carlo benzetimi ile bir talep tahminlemesi yapıldığından yapılan tahminin nasıl sonuç verdiği değerlendirilmek istenmiştir. Bu konuda da makine öğrenmesi yönteminde kullanılan eğitim ve test seti ayrımı kullanılmıştır. Literatürde eğitim ve test seti belirlenirken çeşitli oranlamalara rastlanmıştır genelde yaklaşık olarak 80-20 oranının kullanıldığı görülmüştür (Phan ve Nguyen, 2020; Chowdhury vd., 2020). Böylece aylık verilerin yer aldığı sistemde ilk 28 ay eğitim seti, son 8 ay test seti olarak değerlendirilmiştir (Tablo 2). Bu ayrım daha sonra belirtilecek kıyaslamalarda kullanılmıştır.

Tablo 2. *Eğitim ve Test Setleri*

EĞİTİM SETİ	**Ay**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
	Talep	4.000	3.560	4.060	3.420	3.520	3.540	3.640	3.450	4.950	3.500	3.730	3.760
	Ay	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**
	Talep	3.540	3.890	4.180	3.880	3.760	3.760	3.770	4.170	3.440	3.960	3.860	2.850
	Ay	**25**	**26**	**27**	**28**								
	Talep	5.170	3.580	4.250	3.800								
TEST SETİ	**Ay**	**29**	**30**	**31**	**32**	**33**	**34**	**35**	**36**				
	Talep	3.820	3.540	3.250	4.280	3.890	4.010	3.520	3.620				

Eğitim ve test setleri belirlendikten sonra eğitim seti içerisinden Monte Carlo benzetiminin çalışma sistemi içerisinde kullanılacak olasılıksal dağılımlı talep tablosu oluşturulmuştur (Tablo 3). Tablo oluşturulurken belirlenecek rastgele sayılar ile talep verisinin seçileceği düşünülmüş, her bir talep miktarı için sayılar olasılık oranları dikkate alınarak kümülatif olarak atanmıştır. Sonuç olarak sıfır ile bir arasındaki sayılar talep verileri arasında pay edilmiştir. Oluşturulan bu olasılıksal dağılım tablosu verilerin yapısı gereği çok çeşitlilik göstermektedir. Bu çeşitlilik benzetim sonucu elde edilecek sonuçlar açısından da çeşitlilik doğurmakta ve bu sebeple de en iyi çözüm bulmada zorlukları beraberinde getirmektedir. Yerel en iyi noktalardan sıyrılıp global en iyi noktaya ulaşmak oldukça zorlayıcı olmuştur.

Tablo 3. *Düzenlenmemiş Olasılıksal Talep Tablosu*

TALEP	OLASILIK	OLASILIK ARALIĞI	
3.420	0,03571	0,00000	0,03571
3.440	0,03571	0,03571	0,07143
3.450	0,03571	0,07143	0,10714
3.500	0,03571	0,10714	0,14286
3.520	0,03571	0,14286	0,17857
3.540	0,10714	0,17857	0,28571
3.560	0,03571	0,28571	0,32143
3.580	0,03571	0,32143	0,35714
3.640	0,03571	0,35714	0,39286
3.730	0,03571	0,39286	0,42857
3.760	0,10714	0,42857	0,53571
3.770	0,03571	0,53571	0,57143
3.800	0,03571	0,57143	0,60714
3.820	0,03571	0,60714	0,64286
3.860	0,03571	0,64286	0,67857
3.880	0,03571	0,67857	0,71429
3.890	0,03571	0,71429	0,75000
3.960	0,03571	0,75000	0,78571
4.000	0,03571	0,78571	0,82143
4.060	0,03571	0,82143	0,85714
4.170	0,03571	0,85714	0,89286
4.180	0,03571	0,89286	0,92857
4.250	0,03571	0,92857	0,96429
4.280	0,03571	0,96429	1,00000

Talep verileri olduğu haliyle tablolaştırılıp bu tablo üzerinden envanter benzetiminin işletilmesi sonucu elde edilen sonuçlar dalgalı bir görüntü çizmiş global en iyi çözüme ulaşılamamıştır. En iyi çözüme ulaşılamama sebebi olarak verilerin çeşitliliği ile sonuçların çok değişkenlik göstermesi görülmüştür.

Tutarlı sonuçlar elde edilmesi ve tahmin sonuçlarının da daha tutarlı olabilmesi adına talep verileri belli sınıflandırmalar yapılarak son haline ulaştırılmıştır. Aralıklı bir sistem oluşturulacağından dolayı birbirlerine yakın değerler ortalamaları ile birlikte tek bir değerde toplanıp olasılıkları bu şekilde hesaplanmıştır (Tablo 4).

Talep verileri içerisinde yer alan ve uç değerler olarak gözlemlenmiş 4 değer talep tablosu olasılıksal dağılım oluşturulmasında hesaba katılmamıştır (Ovla ve Taşdelen,

2012). Maksimum değerler olan 9. ve 25. aylar ile minimum değerler olan 24. ve 31. Aylardaki talep verileri olasılıksal talep tablosunun oluşturulmasında kullanılmayan değerlerdir. Bunun dışındaki talep verileri için birbirine yakın değerler gruplanarak ortalama değerler belirlenmiş ve olasılıksal talep tablosu oluşturulmuştur.

Tablo 4. *Olasılıksal Talep Tablosu*

TALEP	OLASILIK	OLASILIK ARALIĞI	
3.440	0,10714	0,00000	0,10714
3.510	0,07142	0,10714	0,17857
3.540	0,10714	0,17857	0,28571
3.600	0,10714	0,28571	0,39285
3.750	0,17857	0,39285	0,57142
3.850	0,17857	0,57142	0,75000
4.130	0,25000	0,75000	1,00000

Maliyet verileri olarak Taleizadeh'in (2014) ekonomik sipariş miktarının belirlenmesini amaçlayan çalışmasında yer alan veriler kullanılmıştır (Tablo 5). Tedarik süresi verileri sistemin ve verilerin tabiatına uygun şekilde araştırmacı tarafından düzenlenmiştir (Tablo 6).

Tablo 5. *Maliyet Verileri*

BİRİM MALİYET	4
SİPARİŞ MALİYETİ	18
ELDE BULUNDURMA MALİYETİ	1,6
ELDE BULUNMAMA MALİYETİ	10
FİYAT	13

Tablo 6. *Olasılıksal Tedarik Süresi Tablosu*

TEDARİK SÜRESİ	OLASILIK	OLASILIK ARALIĞI	
1	0,85	0,00000	0,85000
2	0,15	0,85000	1,00000

4.2. HAZIRLIK, BENZETİM SÜRECİ VE UYGULAMA

Gerekli ön hazırlıklar yapıldıktan ve veriler elde edilip gerekli işlemlere tabi tutulduktan sonra benzetim için istenen formatta şekillendirilmiştir. Envanter modeli içerisinde yer alan değişkenlerin tablolaştırıldığından emin olduktan sonra benzetim için gerekli komutlar her bir kutucuk için hazırlanmıştır. Benzetimin düzgün çalışıp

çalışmadığı kontrol edilip maliyet verileri de benzetimin içine katılıp dönem sonu kar/zarar tahminlerine ulaşılmıştır.

Benzetimin doğası gereği her çalışmada sonuçlar değişiklik göstereceğinden çok sayıda tekrar edilerek çıkan sonuçların ortalamaları ile daha stabil bir değer elde edilmiştir. Bu değer kullanılarak en iyileme çalışması yapılmıştır (Krajewski vd., 2014: 162-165).

Karar değişkenleri ve kısıtlar belirtilerek doğrusal olmayan programlama MS Excel aracılığıyla tamamlanmıştır. Birçok deneme sonrasında bulunan en iyi çözümlerin başlangıç noktasına göre değiştiği görülmüştür. Bu gözlem neticesinde çoklu başlangıç noktası seçeneği işaretlenerek yapılan çözümlerde belli sonuçlara ulaşılmıştır. Bu sonuçlar da değerlendirildikten sonra daha iyi çözüme ulaşılabileceği düşünülerek MS Excel Çözücü içerisinde yer alan başka bir seçenek olan Açılım seçeneği ile çözüm yapılmıştır. Açılım seçeneği belirtilen süre içerisinde yaptığı denemeler sonrasında denenen değerler arasındaki en iyi çözümü sunar. Açılım çözümü sonrasında elde edilen değerler başlangıç noktası olarak kabul edilmiş Doğrusal Olmayan GRG seçeneği ile çözüm gerçekleştirilerek daha iyi bir sonuç elde edilmesi amaçlanmıştır.

Benzetim içerisinde toplam 18 sütun yer almaktadır. Bu sütunlar sırasıyla envanter benzetimi başlığı altında; ay, teslim alınan sipariş, başlangıç envanteri, rastgele sayı (talep için), talep, bitiş envanteri, yeni seviye, karşılanmayan talep, sipariş kararı, rastgele sayı (tedarik süresi için) ve sipariş geliş dönemi ile birlikte maliyet hesaplama başlığı altında; kazanç, elde bulundurma, elde bulundurmama, sipariş, birim ve dönem sonudur.

Ay sütununda yer alan her bir satır simüle edilen her bir ayı ifade eder. Bu ay içerisinde gerçekleşen olaylar diğer sütunlar altında incelenebilir.

Teslim alınan sipariş sütununda daha önceki dönemlerde sipariş kararı verilmiş ise bu bilgi ışığında tedarik süresi hesaplandıktan sonra belirlenen günlerde ne kadar yeni ürünün teslim alındığını gösterir. Siparişin ulaşıp ulaşmayacağı ise eğersay() komutu ile belirlenir. Komut ile 12. Sütunda yer alan siparişin geliş dönemi sütununda içinde bulunulan dönem kaç kere geçiyorsa sayılır ve belirlenmiş olan sipariş miktarı ile çarpılarak teslim alınan sipariş miktarı belirlenir.

Başlangıç envanteri sütunu önceki günlerden elde bulunan envantere eğer varsa yeni teslim alınan malların eklenmesi ile bulunur. Başlangıç envanteri o dönem içerisindeki talebi karşılayacak toplam envanteri ifade eder.

Talebin belirlenmesi için oluşturulmuş rastgele sayı sütunu bir MS Excel fonksiyonu olan s_sayı_üret() komutu ile oluşturulmuş sayıları gösterir. Bu sayılar 0 ile 1 arasında oluşturulmuş rastgele sayılardır. Oluşturulan bu sayılar hazırlanmış olan olasılıksal dağılımlı talep tablosu içerisinden talep verilerinin çekilmesi ve sistemde işlenmesi için kullanılır. Oluşturulan rastgele sayı ile tablodan talep verisinin çekilmesi için düşeyara() komutu kullanılır. Bu komut ile oluşturulan sayının hangi talep miktarı için belirlendiği bulunur ve benzetim içerisinde gerçekleşen talebe ulaşılır.

Bitiş envanteri başlangıç envanterinden dönemlik talebin çıkarılması ile bulunur. Bu değer envanterin doğası gereği 0'ın altına inemez. Yeni seviye sütunu ise bitiş envanteri ile önceki dönemlerden sipariş edilen mallar daha teslim alınmadıysa bu miktarın toplamı ile bulunur. Bu sütun sipariş verme kararının test edildiği sütundur. Bu sütunun varlığı hala tedarik süresi içerisinde işletmeye ulaşmayı bekleyen siparişlerin unutulmasının önüne geçme açısından oldukça önemlidir. Yalnızca bitiş envanteri ile sipariş kararı vermek işletmenin sonraki dönemlerde fazladan elde bulundurma maliyetine katlanması zorunluluğunu oluşturabilir. Bu iki sütunun birlikte varlığı ilk başta gereksiz gibi görülebilir. Ancak karşılanamayan talebin hesaplanması açısından bitiş envanterinin de farklı bir sütunda izlenmesi faydalıdır. Karşılanamayan talep sütunu da talebin başlangıç envanterinden büyük olduğu durumlarda talepten başlangıç envanter miktarı çıkarılarak hesaplanır.

Sipariş kararı verilirken yeni seviye sütunu incelenir. Yeni seviye sütunu eğer belirlenen tekrar sipariş noktasından düşükse sipariş kararı alınır. Sipariş kararı alındıktan sonra tekrar rastgele sayılar oluşturulup tedarik süresi olasılıksal dağılım tablosu içerisinden gerçekleşecek tedarik süresi seçilir ve son olarak sipariş geliş dönemi sütununda bulunulan dönem üzerine seçilen tedarik süresi eklenerek bulunur.

Benzetim sonrası oluşan durumlar için maliyet hesaplamaları yapılır. Bitiş envanteri üzerinden elde bulundurma maliyeti, sipariş kararı üzerinden sipariş maliyeti, karşılanamayan talep üzerinden elde bulundurmama maliyeti, sipariş miktarı üzerinden ürünlerin maliyeti hesaplanır. Hesaplanan bu maliyetler karşılanan talep üzerinden

hesaplanan kazanç miktarından çıkarılarak dönem sonu kar/zarar durumu oraya konmuş olur.

Benzetim yönteminin yapısı gereği her bir çalıştırmada farklı sonuç ile karşılaşılması mümkündür. Bu yüzden tek bir benzetim çalıştırılmasından elde edilen sonucun karar almada kullanılması pek mantıklı değildir. Karar almak için benzetimin çok sayıda çalıştırılarak ortalama bir değer elde edilmesi gerekmektedir. Elde edilen sonuç tabi ki oluşması beklenen durumu ifade etmez. Ulaşılan değer aynı durum ile defalarca karşılaşılsa oluşması muhtemel sonuçların ortalamasını ifade eder.

Örnek bir benzetim çalışması ve maliyet hesaplaması Tablo 7'de verilmiştir. Benzetimde tekrar sipariş noktası 3.500, sipariş miktarı ise 5.000 olarak kabul edilmiştir. Tablo üzerinde anlatılan adımlar izlenebilmekte ve her dönem için benzetimin nasıl işlediği anlaşılabilmektedir.

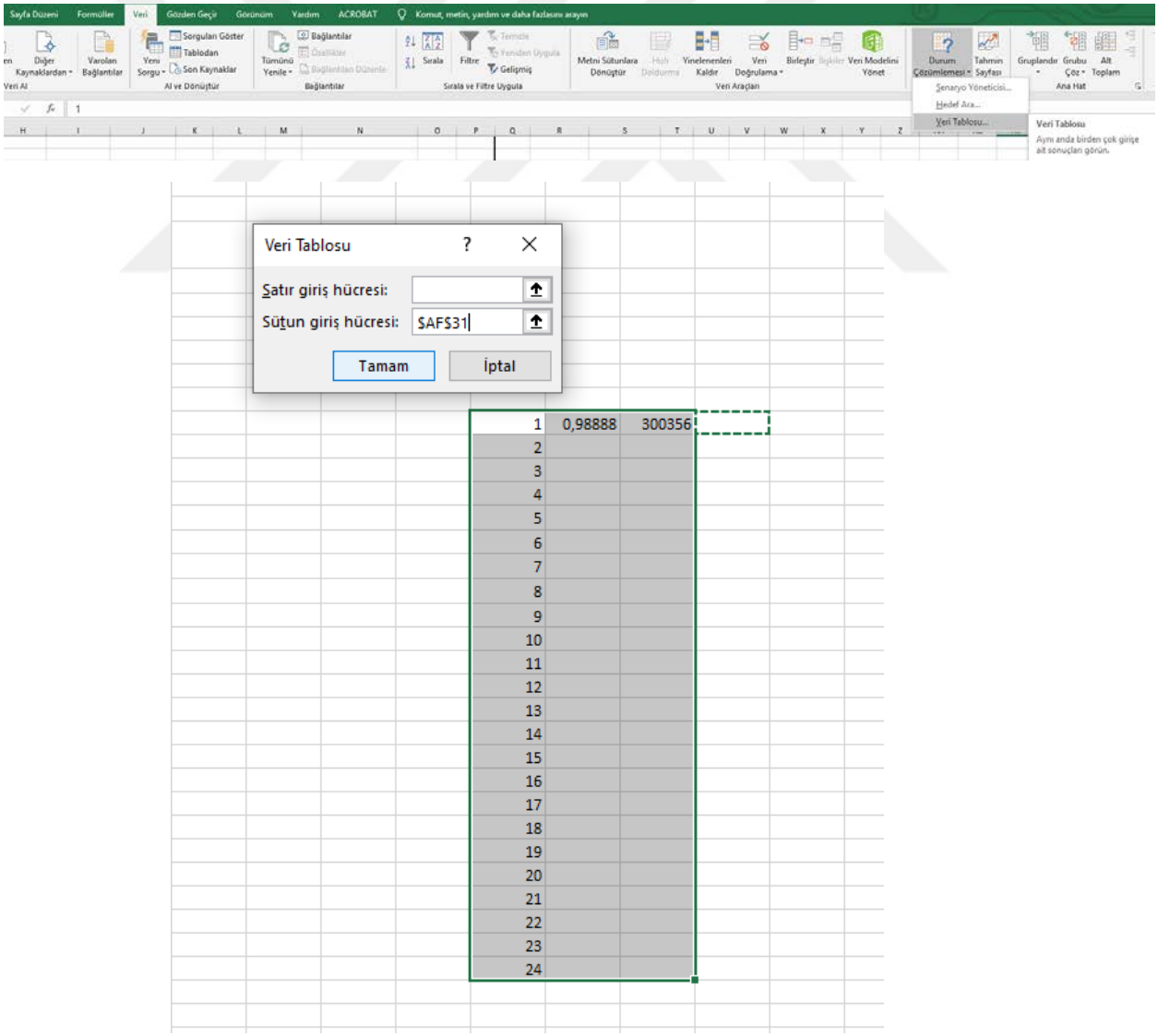
***Tablo 7**. Örnek Simülasyon ve Maliyet Hesapları*

ENVANTER SİMÜLASYONU												MALİYET HESAPLAMA					
AY	**ALINAN**	**BAŞLANGIÇ ENVANTERİ**	**RASTGELE SAYI**	**TALEP**	**BİTİŞ ENVANTERİ**	**YENİ SEVİYE**	**KARŞILANMAYAN TALEP**	**SİPARİŞ KARARI**	**RASTGELE SAYI**	**TEDARİK SÜRESİ**	**GELİŞ DÖNEMİ**	**KAZANÇ**	**ELDE BULUNDURMA**	**ELDE BULUNDURMAMA**	**SİPARİŞ**	**BİRİM**	**DÖNEM SONU**
1		3.700	0,52210	3.750	0	0	50	1	0,22547	1	2	48.100	0	500	18	20.000	27.582
2	5.000	5.000	0,81319	4.130	870	870	0	1	0,24395	1	3	53.690	1.392	0	18	20.000	32.280
3	5.000	5.870	0,45987	3.750	2.120	2.120	0	1	0,85151	2	5	48.750	3.392	0	18	20.000	25.340
4	0	2.120	0,78654	4.130	0	2.990	2.010	1	0,47742	1	5	27.560	0	20.100	18	20.000	-12.558
5	10.000	10.000	0,64608	3.850	6.150	4.140	0	0	0,71023	1		50.050	9.840	0	0	0	40.210
6	0	6.150	0,20231	3.540	2.610	600	0	1	0,38922	1	7	46.020	4.176	0	18	20.000	21.826
7	5.000	7.610	0,29196	3.600	4.010	2.000	0	1	0,10751	1	8	46.800	6.416	0	18	20.000	20.366
8	5.000	9.010	0,75466	4.130	4.880	2.870	0	1	0,80547	1	9	53.690	7.808	0	18	20.000	25.864
9	5.000	9.880	0,10564	3.440	6.440	4.430	0	0	0,12833	1		44.720	10.304	0	0	0	34.416
10	0	6.440	0,14421	3.510	2.930	920	0	1	0,74839	1	11	45.630	4.688	0	18	20.000	20.924
																SON TOPLAM	236.250

**Sipariş Kararı: 1-Sipariş verilir, 0-Sipariş verilmez.*

Bu çalışmada benzetim 50.000 tekrar ile çalıştırılarak sonuçtaki oynaklığın kabul edilebilir düzeye indirildiği düşünülmektedir. Değerdeki oynama 1% civarındadır. Benzetim tekrarları için MS Excel'de yer alan "Veri" sekmesi altında yer alan "Durum Çözümlemesi" seçeneği altındaki "Veri Tablosu" kullanılmıştır (Şekil 7). 50.000 tekrar ulaşırken Veri Tablosu 2 aşamalı olarak kullanılmıştır. İlk aşamada 1000 tekrar yapılmış, ikinci aşamada da 1000 tekrar sonuçları 50 kere tekrarlanarak toplamda 50.000 tekrar için sonuçların ortalamasına ulaşılmıştır. Microsoft (2020)'a göre MS Excel içinde yer alan Veri Tablosu seçeneği bir probleme farklı yanıtlar bulunması amaçlı olarak kullanılabilmektedir. Buna ek olarak Adam (2018) blog yazısında benzetim tekrarları için veri tablosu kullanımı hakkında bilgiler vermiştir. Cintellis (2020) ise Monte Carlo benzetimi tekrarları için veri tablosu kullanımını açıklamıştır.

Şekil 7. *Veri Tablosu*



4.3. EN İYİLEME SÜRECİ

Benzetim çalışmasının tamamlanması, maliyetler ile kar/zarar durumunun hesaplanması ve benzetimin defalarca tekrarlanarak ortalama değerlere ulaşılmasının ardından en iyileme aşamasına geçilmiştir. En iyileme için yine MS Excel programı içerisinde yer alan çözücü eklentisi kullanılmıştır. Simülasyon yöntemi karar verme amaçlı olarak kullanılırken ortalama değerler dikkate alınmaktadır. Bu ortalama değerler dikkate alınsa dahi sonuçlarda oynaklığın devam ettiği görülmüştür. Bu sebeple çözücü farklı değişken değerlerini denerken sonuç doğrusal bir şekilde ilerlememektedir. Bu nedenle en iyileme sürecinde doğrusal olmayan programlama kullanılmıştır.

Doğrusal olmayan programlama kapsamında amaç fonksiyonu ve kısıtlar gibi kavramlar yer almaktadır. Bu uygulama için de bir amaç fonksiyonu yer almaktadır. Sözlü olarak ifade etmek gerekirse amaç fonksiyonu, kar/zarar durumunun maksimize ya da minimize edilmesidir. Aşağıda matematiksel olarak amaç fonksiyonu ifade edilmiştir.

$$Z_{maks} = \sum_{0}^{n} [a_{T_n} - c_{T_n} - s_{T_n} - v_{T_n} - k_{T_n}]$$

a_T: $Toplam\ Kazanç$

c_T: $Elde\ Bulundurma\ Maliyeti$

s_T: $Toplam\ Elde\ Bulunmama\ Maliyeti$

v_T: $Toplam\ Sipariş\ Maliyeti$

k_T: $Toplam\ Satın\ Alma\ Bedeli$

n: $Dönem$

$$a_T = e \times a$$

$$e: eğer(I \geq D) => D$$
$$eğer\ (D > I) => I$$

e: $Karşılanan\ Talep$

a: $Satış\ Fiyatı$

I: $Envanter\ Miktarı$

D: $Talep\ Miktarı$

$$c_T = I \times c$$

$$I: eğer(I > D) => I - D$$
$$eğer\ (D \geq I) => "0"$$

$c: Elde\ Bulundurma\ Maliyeti$

$$s_T = b \times s$$

$$b: eğer(D > I) => D - I$$
$$eğer\ (I \geq D) => "0"$$

$b: Karşılanmayan\ Talep$

$s: Elde\ Bulundurmama\ Maliyeti$

$$v_T = Q_d \times v$$

$$Q_d: eğer(I_{son} \geq TSN) => "0"$$
$$eğer\ (TSN > I_{son}) => "1"$$

$Q_d: Sipariş\ Kararı\ (1: evet, 0: hayır)$

$I_{son}: Dönem\ Sonu\ Envanter\ Düzeyi$

$v: Sipariş\ Maliyeti$

$$k_T = Q \times k$$

$$Q: eğer(Q_d = 1) => SM$$
$$eğer\ (Q_d = 0) => "0"$$

$Q: Sipariş\ Miktarı$

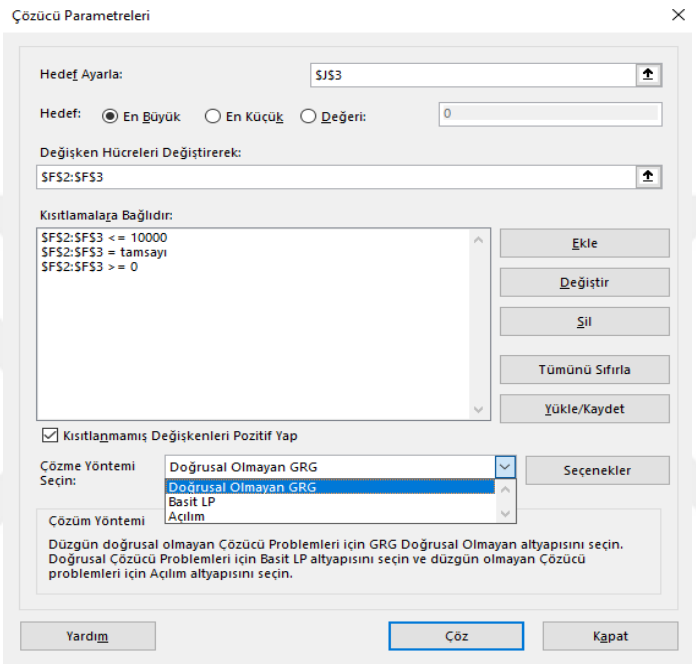
$SM: Belirlenmiş\ Sipariş\ Miktarı$

$k: Birim\ Maliyet$

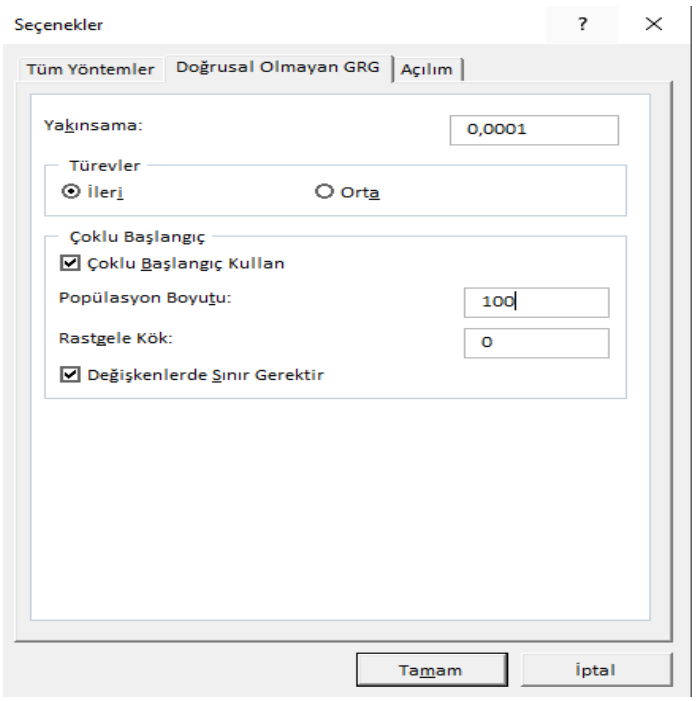
İlk aşamada çözücü eklentisi (Şekil 8) içerisinde yer alan "doğrusal olmayan grg" seçeneği seçilerek seçenekler kısmından çoklu başlangıç noktası seçeneği işaretlenmiş, başlangıç noktası sayısı olarak 100 adet belirlenmiştir (Şekil 9). Doğrusal olmayan programlama doğrusal sonuçlar vermeyen denklemlerin çözümünde kullanılır. Seçenekler arasından çoklu başlangıç noktasının seçilmesindeki amaç ise MS Excel Çözücünün problemi çözme yöntemidir. Çözücü bu problemleri çözerken başlangıç değerinden pozitif ve negatif yönde uzaklaşarak denklemleri farklı değerler için dener. Bir yöne doğru ilerlerken yükselen sonuç değeri düşmeye başlarsa maksimum değeri

bulduğu kararını verir. Bu yüzden dalgalı sonuçlar veren problemlerde elde edilen sonuç başlangıç noktası ile bağlı olarak kalır. Çoklu başlangıç noktası seçeneği işaretlenerek çözücünün farklı başlangıç noktalarından başlayarak gerçek en iyi değere ulaşması sağlanır (Solver.com, 2020). Bu seçeneğin neden sürekli işaretli olmadığının veya seçenek olarak sunulduğunun yanıtı ise çözüm süresindedir. Bu seçenek işaretlendiğinde problemin çözüm süresi dikkate değer şekilde artış göstermektedir.

Şekil 8. *Çözücü Eklentisi*



Şekil 9. *Çoklu Başlangıç Noktası*



En iyileme işlemi tamamlandıktan sonra sipariş miktarı ve tekrar sipariş noktası için belirlenen miktarlar ilgili kutucuklarda yerini almıştır. Bunun yanında çözüm işlemi sonrasında oluşacak hizmet düzeyi miktarı ve gerçekleşmesi muhtemel kar/zarar miktarlarının ortalaması da görülebilmektedir. Sistem içerisinde istendiği takdirde gerçekleşmesi muhtemel sonuçların sapması ile minimum ve maksimum değerler de görülebilmektedir. Bu değerlerin de incelenerek en kötü ve en iyi senaryolarda durumun nasıl gerçekleşeceğinin de görülmesi karar alıcılara planlamalarında yardımcı olacaktır.

5. BULGULAR

Uygulama sonucunda en iyi tekrar sipariş noktası ve sipariş miktarı değerleri elde edilmiştir (Tablo 8). En iyi olduğu düşünülen değerler için elde edilen sonuçlar ise Tablo 9'da görülebilmektedir. Bu değerlerin global en iyi nokta olup olmadığı farklı değerler ile de denenerek kontrol edilmiştir. Sağlamasını yapmak açısından yine MS Excel Çözücü eklentisi içinde yer alan bir diğer yöntem olan Açılım seçeneği kullanılmıştır. Bu çözüm sonrasında daha iyi sonuçların varlığı görülmüştür.

Tablo 8. *Çoklu Başlangıç Noktası ile En İyi Değerler*

TEKRAR SİPARİŞ NOKTASI	4.032
SİPARİŞ MİKTARI	3.817

Tablo 9. *Çoklu Başlangıç Noktası ile En İyi Durum*

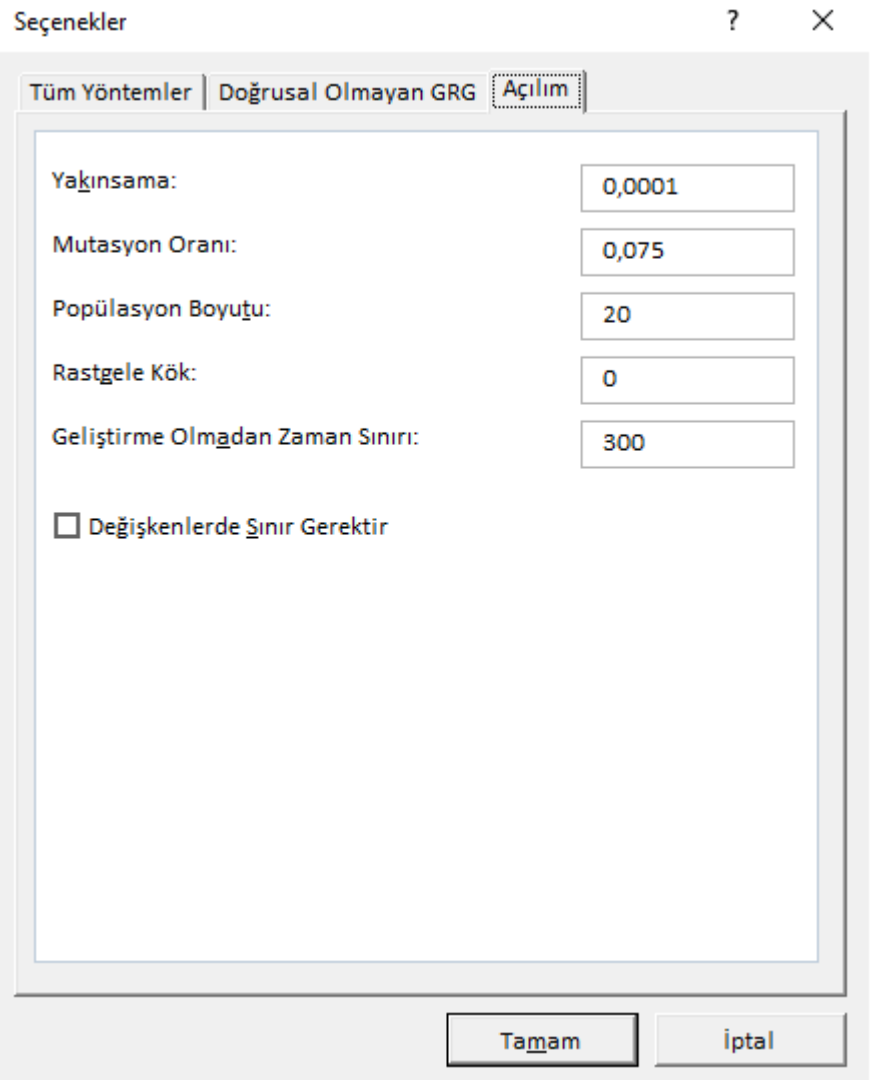
50000 TEKRAR	**HİZMET DÜZEYİ**	**0,920564711**
	KAR/ZARAR	**244.219,0571**

Uygulama aşaması içerisinde hizmet düzeyi de sistemin verdiği çıktılardan biridir. Hizmet düzeyi karşılanmış olan talebin toplam talebe bölümü ile bulunmuştur ve işletmenin karşıladığı talep oranını ifade etmektedir.

Açılım çözümü 100-300 saniye sınırlar belirlenerek çalıştırılmış (Şekil 10) ve başlangıç noktası bu şekilde belirlenmek istenmiştir (Solver.com, 2020). Açılım seçeneği altı kere çalıştırılmıştır. Tablo 10'da yer alan ilk altı değer açılım yöntemi sonuçlarıdır. Son iki değer ise çoklu başlangıç noktası kullanılmadan Doğrusal Olmayan GRG seçeneği ile çözülerek bulunmuştur. Her çözüm için önceki sütunun sonuçları başlangıç noktası olarak belirlenmiştir. Sonuçların çoklu başlangıç noktası seçeneğine göre daha iyi olduğu görülebilmektedir. Hizmet düzeyi 95% değerinde gerçekleşmektedir. Bunun

yanında talep verileri üzerinde yapılan düzenlemelerin sonuçlardaki tutarlılığı artırdığı da gözlemlenebilmektedir (Bkz. Tablo 4).

Şekil 10. *Açılım*

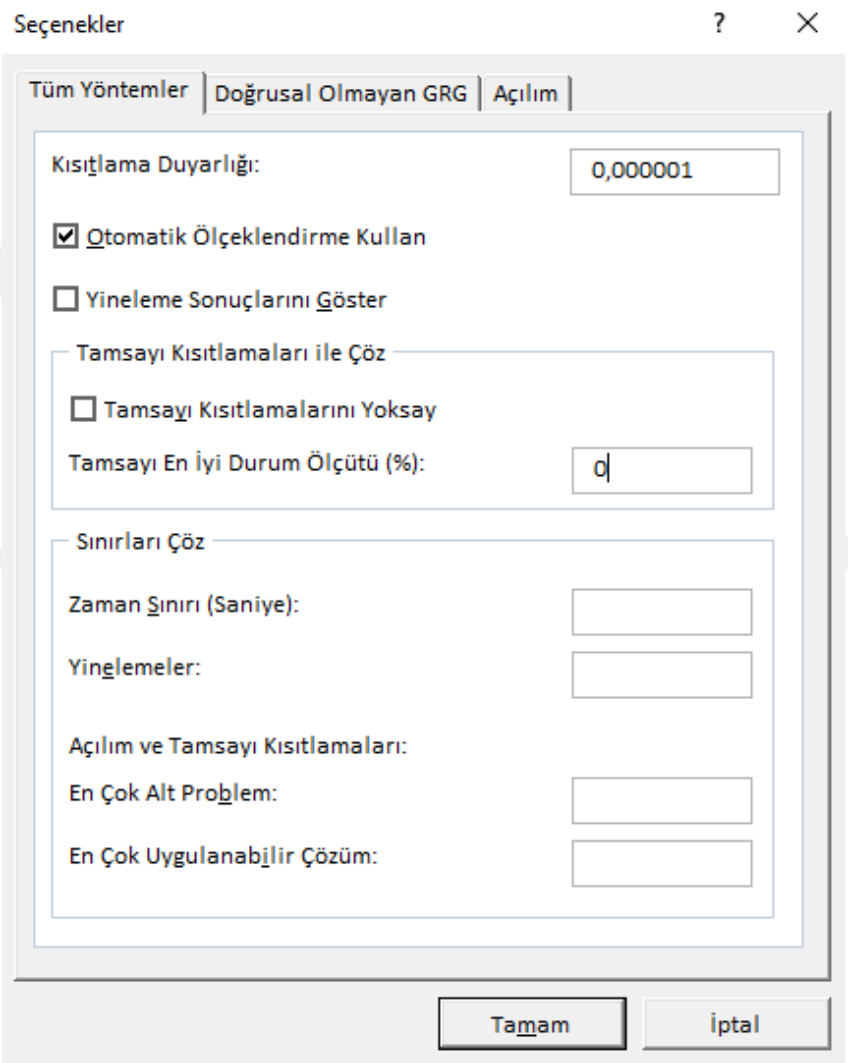


Tablo 10. *Açılım Seçeneği Sonucu Başlangıç Noktası ile En İyi Sonuçlar*

YÖNTEM	**AÇILIM**						**DOĞRUSAL OLMAYAN PROGRAMLAMA**	
Tekrar Sipariş Noktası	3.560	3.607	3.550	3.684	3.654	3.656	3.676	3.676
Sipariş Miktarı	4.912	4.862	4.872	4.803	4.876	4.895	4.863	4.863
Kar/Zarar Durumu	246.348	245.392	247.339	246.774	248.857	248.134	248.339	248.417

Çözümler sırasında çoklu başlangıç seçeneği kullanıldığında çözüm sürelerinin çok fazla uzadığı görülmüştür. Açılım seçeneği ile başlangıç noktasının tespiti ile sonuçlar çok daha kısa sürelerde alınabilmektedir. Bunlara ek olarak uygulanan son Doğrusal Olmayan GRG seçeneklerinde MS Excel'in çözüm raporları sonrası önerisi üzerine daha iyi çözüme ulaşmak adına Tamsayı En İyi Durum Ölçütü "0" olarak belirlenmiştir (Şekil 11).

Şekil 11. *Tamsayı En İyi Durum Ölçütü*



Benzetim kullanımının avantajlarından birisi de gerçekleşmesi muhtemel sonuçların görülebilmesidir. Bu şekilde diğer yöntemlere nazaran daha çok bilgiye sahip olunabilmektedir. Bulunan en iyi değerler sonucunda benzetim tekrarları içerisinde yer bulan minimum ve maksimum değerler Tablo 11'de verilmiştir. Görüldüğü gibi gerçekleşmesi muhtemel sonuçlar arası fark oldukça fazladır. Karar alıcıların bu durumu da göze alarak karar almalarında fayda olduğu düşünülmektedir.

Tablo 11. *Minimum ve Maksimum Kar/Zarar Durumları*

MİNİMUM	**132.117**
MAKSİMUM	**319.375**

Son olarak test seti olarak ayrılmış veriler yöntem kıyası amaçlı kullanılmıştır. Bu kıyas yapılırken uygulanan benzetimde gerçekleşen talepler test seti verilerinden elde edilmiştir. Monte Carlo Benzetimi ve Doğrusal Olmayan Programlama yöntemleri kullanılarak elde edilmiş en iyi değerler ile geçmiş talep verilerinden elde edilen ortalama değerler kıyaslanmıştır. Geçmiş verilerin ortalaması 3.773'tür. Bu değer her dönem gerçekleşmesi beklenen talep tahmini olarak değerlendirildiğinde her dönem tahmin edilen talep kadar sipariş verilmesi ve her dönem sonu elde envanter bulunmadığı ve tekrar sipariş verildiği varsayılması sonucu elde edilen kar/zarar durumu Tablo 12'de verilmiştir. Hizmet düzeyi 80% oranında gerçekleşmiştir.

Tablo 12. *Basit Ortalama Yöntemi Sonuçları*

		Kar/Zarar Durumu
Tekrar Sipariş Noktası	0	138.225
Sipariş Miktarı	3.773	

Monte Carlo Benzetimi ve Doğrusal Olmayan Programlama yöntemleri kullanılarak elde edilen en iyi değerler test setinde yer alan talep verileri gerçekleştiği durumda test edildiğinde elde edilen sonuçlar ise Tablo 13'de verilmiştir. Hizmet düzeyi 95% oranında gerçekleşmiştir.

Tablo 13. *Monte Carlo Benzetimi ve Doğrusal Olmayan Programlama Sonuçları*

		Kar/Zarar Durumu
Tekrar Sipariş Noktası	3.676	185.187
Sipariş Miktarı	4.863	

İlgili tablolar incelendiğinde Monte Carlo Benzetimi ve Doğrusal Olmayan Programlama kullanımı ile kar durumunda iyileşme görülmektedir. Bunun yanında daha yüksek hizmet düzeyi sağlandığı da gözlemlenmiştir. Test seti ile kıyaslandığında uygulamanın tahmininin, gerçekleşen değerden 35% daha fazla olduğu görülmektedir.

Monte Carlo yöntemi ile envanter benzetiminin çalıştırılması, bu benzetime entegre maliyet ve getiri hesaplamaları ve kar maksimizasyonu odaklı doğrusal olmayan programlama yönteminin kullanılması sonucu elde edilen en iyi değerler ve çıktılar Tablo 14'te verilmiştir.

Tablo 14. *Sonuçlar*

Tekrar Sipariş Noktası		3.676
Sipariş Miktarı		4.863
Hizmet Düzeyi		0,95
Kar/Zarar Durumu	**Ortalama**	248.417
	Minimum	132.117
	Maksimum	319.375

TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, işletmelerin envanter yönetiminde kullanabilecekleri bir alternatif olarak, benzetim tabanlı talep tahminine ve doğrusal olmayan programlama ile maliyet en iyilemesine dayalı bir model önerisinde bulunulmuştur.

Uygulama sürecinde kullanılan veriler güvenilir kaynaklardan edinilmiş ikincil verilerdir. Bu veriler yöntemin uygulanma biçimine ve alınacak sonucun doğruluğuna hizmet edecek şekilde düzenlenmiştir. Veriler, Monte Carlo yönteminin kullanıldığı envanter benzetimi içerisinde ve bu benzetim sonuçlarına göre gelir gider hesaplamaları için girdi olarak kullanılmıştır. Benzetim sonucu elde edilen değer Veri Tablosu aracılığı ile çoğaltılarak farklı benzetim sonuçları elde edilmiştir. Ulaşılan bu değerlerin ortalaması alınarak girilen tekrar sipariş noktası ve sipariş miktarı değerleri sonucunda ulaşılması muhtemel kar/zarar durumu olarak ifade edilmiştir. Amaç fonksiyonunda maksimize edilmesi gereken değer de kar/zarar durumudur. En iyileme aşamasında kullanılan yöntemler MS Excel Çözücü eklentisi içinde yer alan Açılım ve Doğrusal Olmayan GRG seçenekleridir. Açılım yöntemi ile başlangıç noktası tespiti yapılmış ve elde edilen değerler ile Doğrusal Olmayan GRG seçeneği çalıştırılmıştır. En iyileme süreci tamamlandıktan sonra tekrar sipariş noktası değeri 3.676, sipariş miktarı değeri 4.863 şeklinde gerçekleşmiştir. Bu değerler tolerans içinde en iyi değerler olarak kabul edilmiştir. Uygulama sonucunda elde edilen kar/zarar durumları da; maksimumda 319.375, ortalamada 248.417 ve minimumda 132.117 şeklindedir. Sonuçta hizmet düzeyi ise %95 seviyesindedir.

Çözümler sırasında elde edilen sonuçlara ulaşılırken bazı varsayımlar kabul edilmiştir. Sonuçlar da bu varsayımlar üzerinden değerlendirilmelidir:

- Benzetimin çalışma sistemi içinde karşılanamayan talebin tamamen kaybolduğu varsayılmıştır.
- Daha tutarlı sonuçlar elde edebilmek için talep verileri için sınıflandırmalar yapılmış ortalama değerler kullanılarak talep verisindeki çeşitlilik azaltılmıştır.
- Tedarik süresi verileri, geçmiş talep verilerinin sayısı ve tahmin edilecek dönem sayısı da dikkate alınarak araştırmacı tarafından belirlenmiştir. Daha yüksek tedarik süreleri olması durumunda sonuçlardaki çeşitlilik yine artarak en iyi çözüme yaklaşma durumunu zora sokmaktadır.

- Benzetim tekrarları için MS Excel Veri Tabloları kullanılmıştır. Tekrarlar sonucu elde edilen ortalamalarda hala belli oynaklıklar görülmektedir. Bu da çözücünün en iyi çözümü bulmasını zorlaştırmaktadır.
- Uygulama sonucunda en iyi sonuçların farklı değişken değerleri için elde edilebildiği görülmüştür. Sonuçta raporlanan en iyi değer elde edilen en yüksek değer üzerinden elde edilmiştir. Farklı çalıştırmalarda yakın değişken değerlerinde daha iyi sonuçlar da elde edilebilir. Uygulama sırasında kar durumunda 1% civarında olan bu değişkenliğin tolere edilebilir olduğu düşünülmüştür.

Araştırmanın ilk aşamalarında gerçek bir işletme ile iletişime geçilerek talep, tedarik süresi ve maliyet verilerinin elde edilmesi hedeflenmiştir. Ancak işletmeler ile yapılan görüşmeler sonucunda verilere ulaşılamamıştır. Yaşanılan bu durumun asıl sebebi işletmelerin karşılanamayan talep verilerinin hesabını yapmamalarıdır. Bunun yanında yapılan görüşmelerde talep yapılarının da uyumluluk göstermediği ve hatta bu sebeple böyle bir uygulamaya ihtiyaç olmadığı da görülmüştür. Çalışmanın yapısı gereği süre sınırı bulunduğundan ve mevcut koşullar içerisinde veriye ulaşmanın zorluğundan kaynaklı olarak ikincil verilerin kullanımı tercih edilmiştir.

İşletmeler farklı kısıtlarla mücadele etmek zorunda kalabilmektedirler. Araştırmada genel bir çözüm sunulmuştur. Model içerisinde miktar indirimleri, karşılanamayan talebin bir kısmının belli bir süre devam etmesi, tedarik sürecinin ekstra bedeller ödenerek acil sipariş verilmesi, belli bir hizmet düzeyinin sağlanması gibi kısıt ve durumlar da değerlendirilebilmektedir. Bu gibi işletmeye özel durumlar modele işlenmemiştir.

Araştırma süresince talep verilerinin işlenme sürecine değinilmiştir. Bu süreç sonunda elde edilen sonuçlar da gözlemlenmiştir. Talep çeşitliliğini azaltmak amaçlı yapılan bu işlemin sonuçta kayda değer farklılıklar göstermediği görülmüştür. Böylece bu yöntemin kullanılabileceği çıkarımında bulunulmuştur.

Benzetim yönteminin kullanımının getirdiği belli avantajlar vardır. Bunlardan birisi de potansiyel sonuçların incelenebilmesidir. Uygulama sonucunda elde edilen potansiyel minimum ve maksimum kar/zarar durumları raporlanmıştır. Bu sonuçlar karar vericilerin ne ile karşı karşıya olduklarını görmeleri açısından faydalıdır. Yöntem içinde en iyi sonuca ulaşmada ortalama değerler baz alındığından gerçekleşecek durum da bu

şekilde beklenebilir. Ancak belirtildiği gibi potansiyel sonuçlar çok çeşitlilik göstermektedir. En iyi sonuç, aynı durum defalarca kere tekrarlansa elde edilecek değerlerin ortalaması üzerinden hesaplanmıştır. Belirlenen karar uygulandığında bu değerin çok altında veya çok üstünde kar/zarar durumu ile karşılaşılabilir. Talep ve tedarik süresi belirsizlikleri söz konusu olduğu için bu değişiklik normal karşılanmaktadır.

En iyileme sürecinde defalarca kez çözümlemeler yapılmış ve sonuçlar incelenmiştir. Bu süreçlerin kayda değer kısımları da uygulama kısmında aktarılmıştır. Doğrusal olmayan programlamanın MS Excel Çözücü ile uygulanması sırasında çeşitli sorunlar yaşanmıştır:

- İlk aşamada çözücünün verdiği sonuçların başlangıç noktasına göre değişiklik gösterdiği görülmüştür. Literatürdeki bilgilerden de sağlaması yapıldığında bulunan bu değerlerin yerel en iyi noktalar olduğu anlaşılmıştır.
- Başlangıç noktasının belirlenmesi sürecinde MS Excel içinde belli çözümler yer almaktadır. Bu gibi durumlar için kullanılmak üzere farklı başlangıç noktalarından başlayarak çözücünün aslında defalarca kez alt çözümler üzerinde çalışması sonucu global en iyi noktanın bulunması yoluna gidilmiştir. Çoklu başlangıç noktası seçeneği kullanılarak bu yöntem uygulanmıştır. Bu yöntem ile çözümün bulunması süreci oldukça uzun sürmektedir. Bu problem için çözüm süreleri değişmekle birlikte 8 saati aştığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlar uygulama bölümünde verilmiştir.
- MS Excel Çözücü içinde yer alan Açılım seçeneği kullanılarak başlangıç noktası belirlendiğinde doğrusal olmayan programlamanın en iyi noktayı bulma konusunda daha rahat çalıştığı gözlemlenmiştir. Açılım yöntemi 3-4 kere uygulandıktan sonra doğrusal olmayan programlama yönteminin uygulanması ile hem çözüm süresinde kayda değer bir düşüş görülmüş hem de daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Sonuçta bahsedilen tüm kısıtlara rağmen, çalışmanın benzetim ve en iyileme yaklaşımlarını kullanarak envanter yönetimine farklı bir bakış açısı getirdiği ve bu nedenle ilgili literatüre katkı sağladığı düşünülmektedir. İşletmeler açısından bakıldığında ise, benzetim ile farklı senaryoları değerlendirebilecekleri ve MS Excel gibi kolay ulaşılabilir bir uygulama üzerinden envanter kararlarını verme amaçlı olarak

tahminleme ve en iyileme yapabilecekleri bir alternatif ve pratik olarak kullanılabilir bir araç sunması dolayısıyla katkıda bulunduğu düşünülmektedir.

Bundan sonra yapılacak çalışmalarda gerçek dünya problemlerinde rastlanan problemlerin ve kısıtların benzetim ve en iyileme sürecine dahil edilerek sonuçlar detaylandırılabilir. Bunun yanında en iyileme için kullanılan değerdeki oynaklık bir şekilde azaltılarak global en iyi nokta daha sağlıklı bir şekilde belirlenebilir. Modelin kapsamı çeşitli şekillerde genişletilerek farklı kısıtlar da eklenerek model geliştirilebilir. Örneğin; karşılanamayan talebin bir kısmının gelecek dönemlerde devam ettiği, miktar indirimlerinin söz konusu olduğu, acil sipariş durumlarının varlığının dahil edildiği, hizmet düzeyi kısıtının yer aldığı, minimum ve maksimum değerlerinde en iyileme sürecine bir şekilde dahil edildiği modeller üzerinde çalışılabilir.

KAYNAKÇA

Adam (2018). How and Why of Running a Simulation in Excel. https://www.spreadsheetweb.com/simulation-in-excel/ (Erişim Tarihi: 07.07.2020).

Aiassi, R., Sajadi, S. M., Hadji-Molana, S. M. & Zamani-Babgohari, A. (2020). Designing a stochastic multi-objective simulation-based optimization model for sales and operations planning in built-to-order environment with uncertain distant outsourcing. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 104, 102103.

Akthari, S., Sowlati, T., Siller-Benitez, D. & Roeser, D. (2019), Impact of inventory management on demand fulfilment, cost and emission of forest-based biomass supply chains using simulation modelling. *Biosystems Engineering*, 178, 184-199.

Ayad, A. (2008). Optimizing inventory and store results in big box retail environment. *International Journal of Retail & Distribution Management*, 36 (3), 180-191.

Azarskov, V. N., Zhiteckii, L. S., Solovchuk, K. Y., Sushchenko, O. A. & Lupoi, R. O. (2017), Inventory Control for a Manufacturing System under Uncertainty: Adaptive Approach. *IFAC PapersOnLine*, 50 (1), 10154-10159.

Baldwin, L. P., Eldabi, T., Hlupic, V. & Irani, Z. (2000). Enhancing simulation software for use in manufacturing. *Logistics Information Management*, 13(5), 263-270.

Banomyong, R. & Sopadang, A. (2010). Using Monte Carlo simulation to refine emergency logistics response models: a case study, *Intenational Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 40(8/9), 709-721.

Bartezzaghi, E., Verganti, R. & Zotteri, G. (1999). A simulation framework for forecasting uncertain lumpy demand. *International Journal of Production Economics*, 59, 499-510.

Baruah, P., Chinnam, R. B., Korostelev, A. & Dalkıran, E. (2016), Optimal soft-order revisions under demand and supply uncertainty and upstream information. *International Journal of Production Economics*, 182, 14-25.

Boctor, F. F. & Bolduc, M. C. (2015), Inventory replenishment planning and staggering. *IFAC-PapersOnLine*,48 (3), 1416-1421.

Brall, T., Dommert, M., Rühm, W., Trinkl, S., Wielunski, M. & Mares, V. (2020), Monte Carlo Simulation of the CERN-EU High Energy Reference Field (CERF) facility, *Radiation Measurements*, 133, 106294.

Bruccoleri, M., Cannella, S. & Porta, G. G. (2014). Inventory record inaccuracy in supply chains: the role of workers' behavior. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 44 (10), 796-819.

Calculate multiple results by using a data table. (n. d.). July 7, 2020, from https://support.microsoft.com/en-us/office/calculate-multiple-results-by-using-a-data-table-e95e2487-6ca6-4413-ad12-77542a5ea50b.

Chakravarthy, S. R. & Rumyantsev, A. (2020). Analytical and simulation studies of queueing-inventoru models with MAP demands in batches and positive phase type services. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 103, 102092.

Chen, Y., Mockus, L., Orcun, S. & Reklaitis, G. V. (2012). Simulation-optimizston approach to clinical trial supply chain management with demand scenario forecast. *Computers and Chemical Engineering*, 40, 82-96.

Chinello, E, Herbert-Hansen, Z. N. L. &Khalid, W. (2020), Assessment of the impact of inventory optimization drivers in a mlti-echelon supply chain: Case of a toy manufacturer. *Computers & Industrial Engineering*, 141, 106232.

Chowdhury, R., Rahman, M. A., Rahman, M. S. & Mahdy, M. R. C. (2020), An approach to predict and forecast the price of constituents and index of cryptocurrency using machine learning. *Physica A*, 551, 124569.

Chuang, C. H. & Zhao, Y. (2019), Demand stimulation in finished-goods inventory management: Empirical evidence from General Motors dealerships. *International Journal of Production Economics*, 208, 208-220.

Dağsuyu, C. (2019). Bulanık ABC-VED Analizi ile Metal Sektöründe Stok Sınıflandırılması, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi,* 24 (3), 211-220.

Drenovac, D., Vidovic, M. & Bjelic, N. (2020). Optimization and simulation approach to optimal svheduling of deteriorating goods colleciton vehicles respecting stpchastic service and transport times. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 103, 102097.

Dufek, J. & Mickus, I. (2020). Optimal time step length and statistics in Monte Carlo burnup simulations. *Annals of Nuclear Energy,* 139, 107244.

Duran, O., Carrasco, A., Afonso, P. S. & Duran, P. A. (2019), Evolutionary Optimization of Spare Parts Inventory Policies: a Life Cycle Costing Perspective. *IFAC PapersOnLine*, 52 (13), 2243-2248.

Excel Data Tables and Monte Carlo Simulations. (n. d.). July 7, 2020, from http://www.cintellis.com/University/MonteCarlo/MonteCarlo.aspx.

Excel Solver – Evolutionary Solving Method Stopping Conditions. (n.d.). July 7, 2020 from https://www.solver.com/excel-solver-evolutionary-solving-method-stopping-conditions.

Excel Solver – Multistart Merhods for Global Optimization. (n. d.). July 7, 2020 from https://www.solver.com/excel-solver-multistart-methods-global-optimization.

Farhat, M., Akbalik, A., Hadj-Alouane, A. B. & Sauer, N. (2019), Lot sizing problem with batch ordering under periodic buyback contract and lost sales. *International Journal of Production Economics*, 208, 500-511.

Fawcett, S. E., Mathew, A. W. & Fawcett, A. M. (2010). Elaborating a dynamic systems theory to understand collaborative inventory successes and failures. *The International Journal of Logistics Management*, 21 (3), 510-537.

Gholami, H., Rahimi, S., Fathabadi, A., Samaneh, H. & Collins, A. L. (2020). Mapping the spatial sources of atmospheric dust using GLUE and Monte Carlo simulation. *Science of the Total Environment,* 723, 138090.

Gosavi, A. (2015). Simulation-Based Optimization (Second Edition). Springer: New York.

Greasley, A. (2003). The case fort he organisational use of simulation. *Journal of Manufacturing Technology Management,* 15 (7), 560-566.

Greene, J. H. (1970), Production and Inventory Control Handbook,. McGraw-Hill Book Company (USA).

Gruler, A., Panadero, J., Armas, J. A. M. & Juan, A. A. (2018), Combining variable neighborhood search with simulation fort he inventory routing problem with stochastic demands and stock-outs. *COmputers & Industrial Engineering,* 123, 278-288.

Haeussler, S., Stampfer, C. & Missbauer, H. (2020), Comparison of two optimization based order release models with fixed and variable lead times. *International Journal of Production Economics*, 227, 107682.

Heizer, J., Render, B., Munson, C. (2016). Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management (20. Baskı). USA: Pearson.

Janssen, L., Sauer, J., Claus, T. & Nehls, U. (2018). Developoment and simulation analysis of a new perishable inventory model with a closing days constraint under non-stationary stochastic demand. *Computers & Industrial Engineering,* 118, 9-22.

Johansen, S. G. (2019), Emergency orders in the periodic-review inventory system with fixed ordering costs and stochastich lead times for normal orders. *International Journal of Production Economics*, 209, 205-214.

Kitaeva, A. V., Stepanova, N. V. & Zukovskaya, A. O. (2017), Pricing and Lot-Sizing for Continuouslu Decaying Items with Stochastic Demand. *IFAC PapersOnLine*, 50 (1), 10160-10165.

Kobu, B. (2017). Üretim Yönetimi (18. Baskı). İstanbul: İnkılap Yayınevi.

Krajewski, L. J., Ritzman, L. P., Malhotra, M. K. (2014). Operations Management: Processes and Supply Chains (9. Baskı). Ankara: Nobel Yayınevi.

Kranenburg, A. A. & Houtum, G. J. (2007), Cost optimization in the (S-1,S) lost sales inventory model with multiple demand classes. *Operations Research Letters*, 35, 493-502.

Kusumoto, T., Matsuya, Y., Baba, K., Ogowara, R., Akselrod, M. S., Harrison, J., Fomenko, V., Kai, T., Ishikawa, M., Hasegawa,S. & Kodaira, S. (2020). Verification of döşe estimation of Auger electrons emitted from Cu-64 using a combination of FNTD measurements and Monte Carlo simulations, *Radiation Measurements*, 132, 106256.

Lang, J. C. (2009). Production and Inventory Mangement with Substitutions. Germany: Springer.

Larsen, C. (2019), A heuristic joint replenishment policy fort he case of heterogeneity among items. *International Journal of Production Economics*, 209, 164-171.

Li, Z. & Hai, J. (2019), Inventory management for one warehouse multi-retailer systems with carbon emission costs. *Computers & Industrial Engineering*, 130, 565-574.

Liker, J. K. (2004). The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer. Madison, WI: CWL Publishing Enterprises.

Marand, A. J., Li, H. & Thorstenson, A. (2019), Joint inventory control and pricing in a service-inventory system. *International Journal of Production Economics*, 209, 78-91.

Muchaendepi, W., Mbohwa, C., Hamandishe, T. & Kanyepe, J. (2019), Inventory Management and Performance of SMEs in the Manufacturing Sector of Harare. *Procedia Manufacturing*, 33, 454-461.

Muller, M. (2003). Essentials of Inventory Management. New York, USA: AMACOM.

Mustaffa, N. H. & Potter, A. (2009), Healthcare supply chain management in Malaysia: a case study. *Supply Chain Management: An International Journal*, 14/3, 234-243.

Nguyen, A. T., Reiter, S. & Rigo, P. (2014). A review on simulation-based optimization methods applied to building performance analysis. *Applied Energy*, 113, 1043-1058.

Nieberg, S. M., Leopold, N. & Uhlig, T. (2020). Natural Computing for Simulation-Based Optimizastion and Beyond, Springer: Switzerland.

O'Neill, B. & Sanni, S. (2018), Profit optimisation for deterministic inventory systems with linear cost. *Computers & Industrial Engineering*, 122, 303-317.

Ovla H. D. ve Taşdelen B. (2012), Aykırı Değer Yönetimi. *Mersin Üniv. Sağlık Bilim Derg.*, 5(3), 1-8.

Özer, g. ve Yücel, R. (2000). Stok Yönetiminde Kullanılan Ekonomik Sipariş Miktarı (EMS) ve JIT Modellerinin Toplam Maliyet Bakımından Karşılaştırmalı Analizi, *Verimililik Dergisi*, 4, 125-144.

Öztürk, A. (2016). Yöneylem Araştırması (16. Baskı). Bursa: Ekin Yayınevi.

Palanisamy, M. & Ranganathan, R. (2016). Prioritized ABC-FSN Analysis of Inventory Management in Private and Hospital Pharmacy Followed By Questionnaire, *International Research Journal of Pharmacy*, 7 (12), 104-113.

Phan, T. T. H. & Nguyen, X. H. (2020). Combining statisticak machine learning models with ARIMA for water level forecasting: The case of Red river. *Advances in Water Resources*, 142, 103656.

Plaza, M., David, I. & Shirazi, F. (2018), Management of inventory under market fluctuations the case of a Canadian high tech company. *International Journal of Production Economics*. 205, 215-227.

Pezel, T., Coisne, A., Picard, F. & Gueret,P. (2020). How simulation teaching is revolutionizing our relationship with cardiology. *Archives of Cardiovascular Disease,* 113, 297-302.

Qing, H. & Chakravarthy, S. R. (2012), Analytical and simulation modeling of a multi-server queue with Markovian arrivals and priority services. *Simulation Modelling Practice and Theory*. *2*, 12-26.

Rego, J. R. & Mesquita, M. A. (2015). Demand forecasting and inventory control: A simulation study on automative spare parts. *International Journal of Production Economics*, 161, 1-16.

Rytila, J. S. & Spens, K. M. (2006). Using simulation to increase efficiency in blood supply chains, *Management Research News*, 29 (12), 801-819.

Saha, E. & Ray, P. K. (2019), Modelling and analysis of inventory management systems in healthcare: A review and reflecitons. ry management systems in healthcare: A review and reflecitons. *Computers & Industrial Engineering*, 137, 106051.

Shaabani, H. & Kamalabadi, I. S. (2016). An efficient population-based simulated annealing algorithm fort he multi-product multi-retailer perishable inventory routing problem. *Computers & Industrial Engineering*, 99, 189-201.

Singh, D. & Verma, A. (2018), Inventory Management in Supply Chain. *Materials Today: Proceedings*, 5, 3867-6872.

Stanger, S. H.W., Wilding, R., Yates, N. & Cotton, S. (2012). What drives perishable inventory management performance? Lessons learnt from the UK blood supply chain. *Supply Chain Management: An International Journal*, 17/2, 107-123.

Suryani, E., Chou, S. Y. & Chen, C. H. (2012). Dynamic simulation model of air cargo demand forecast and terminal capacity planning. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 128, 27-41.

Taleizadeh, A. A. (2014). An economic order quantity model for deteriorating item in a purchasing system with multiple prepayments. *Applied Mathematical Modeling*, 38, 5357-5366.

Tanyaş, M. Ve Baskak, M. (2019). Üretim Planlama ve Kontrol (3. Baskı). İrfan Yayıncılık: İstanbul.

Taylor, B. W. (2013). Introduction to Management Science (Eleventh Edition). Pearson.

Top, A., Yılmaz, E. (2018). Üretim Yönetimi (4. Baskı). İstanbul: İdeal Kültür Yayıncılık.

Vrat, P. (2014). Materials Management: An Integrated Systems Approach. Delhi: Springer.

Vries, J. D. (2020), Identifying inventory Project management conflicts: Results of an empirical study. *International Journal of Production Economics*, 107620.

Wallin, C., Rungtusanatham, M. J. & Rabinovich, E. (2006). What is the "right" inventory management approach for a purchased item?. *International Journal of Operations & Production Management*,26 (1), 50-68.

Xie, L., Zhong, H., Du, Z. & Zhou, J. (2020). Monte Carlo simulation of elctromagnetic wave transmittance in charced sand/dust storms. *Journal of Quqntitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 241, 106744.

Yang, H., Haddad, K. & Chow, C. W. (2001). Capacity Planning Using Monte Carlo Simulation: An Illustrative Application of Commonly Available PC Software, *Managerial Finance*, 27 (5), 33-54.

Yang, Y., Chi, H., Zhou, W., Fan, T. & Piramuthu, S. (2020), Deterioration control decision support for perishable inventory management. Decision Support Systems.

Yu, J. C. P. (2019),Optimizing a two-warehouse system under shortage backordering, tradecredit, and decreasing rental conditions. *International Journal of Production Economics*, 209, 147-155.

ÖZGEÇMİŞ

Yavuz KARAZEYBEK, 1991 yılında İstanbul ili Üsküdar ilçesinde dünyaya gelmiştir. İlköğretimini Afyon Atatürk İlköğretim Okulu'nda tamamladıktan sonra Afyon Milli Piyango Anadolu Lisesi'nde ortaöğretimine devam etmiştir. 2009 yılında Bursa Uludağ Üniversitesi Veteriner Fakültesi'nde lisans eğitimine devam ederken 2013 yılında bu eğitimi terk etmiş aynı yıl Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi'nde İngilizce İşletme eğitimine başlamıştır. Lisans eğitimine devam ederken Kalite Yönetim Sistemleri, Beden Dili, Zaman ve Stres Yönetimi, Liderlik gibi konularda seminer ve sertifika programlarına katılmıştır. 2016 yılında Merkez Bankası Denizli şubesinde banka tanıtım programına katılmıştır. 2017 yılında lisans eğitimini başarı ile tamamlayıp aynı yıl Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Üretim Yönetimi ve Pazarlama Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimine başlamıştır. 2018 yılında Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi İngilizce İşletme bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başlamıştır.