



Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler Bilim Dalı

**STOKASTİK TALEP VE GERİ DÖNÜŞLÜ EKONOMİK PARTİ
BÜYÜKLÜĞÜ PROBLEMİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA**

Ceren DİRİK

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2017

STOKASTİK TALEP VE GERİ DÖNÜŞLÜ EKONOMİK PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ
PROBLEMİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

Ceren DİRİK

Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

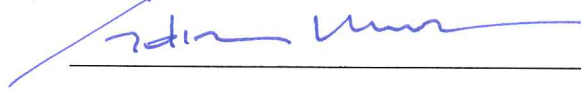
Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2017

KABUL VE ONAY

DİRİK, Ceren tarafından hazırlanan "Stokastik Talep ve Geri Dönüflü Ekonomik Parti Büyüklüğü Problemi Üzerine Bir Çalışma" başlıklı bu çalışma, 31 Mayıs 2017 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Aydın ULUCAN (Başkan)



Yrd. Doç. Dr. Kazım Barış ATICI (Danışman)



Yrd. Doç. Dr. Ayşegül ALTIN KAYHAN



Yrd. Doç. Dr. Bülent ÇEKİÇ



Yrd. Doç. Dr. Hüseyin TUNÇ

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylım.

Prof. Dr. Sibel BOZBEYOĞLU

Enstitü Müdürü

BİLDİRİM

Hazırladığım tezin/raporun tamamen kendi çalışmam olduğunu ve her alıntıya kaynak gösterdiğimi taahhüt eder, tezimin/raporumun kâğıt ve elektronik kopyalarının Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü arşivlerinde aşağıda belirttiğim koşullarda saklanmasına izin verdiğimi onaylarım:

- Tezimin/Raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir.
- Tezim/Raporum sadece Hacettepe Üniversitesi yerleşkelerinden erişime açılabilir.
- Tezimin/Raporumun **3 yıl** süreyle erişime açılmasını istemiyorum. Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir.

31 Mayıs 2017



Ceren DİRİK

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

- **Tezimin/Raporumun tamamı dünya çapında erişime açılabilir ve bir kısmı veya tamamının fotokopisi alınabilir.** (Bu seçenekle teziniz arama motorlarında indekslenebilecek, daha sonra tezinizin erişim statüsünün değiştirilmesini talep etmeniz ve kütüphane bu talebinizi yerine getirirse bile, teziniz arama motorlarının önbelleklerinde kalmaya devam edebilecektir)
- **Tezimin/Raporumun 31/05/2020 tarihine kadar erişime açılmasını ve fotokopi alınmasını (İç Kapak, Özet, İçindekiler ve Kaynakça hariç) istemiyorum.** (Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir, kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı veya tamamının fotokopisi alınabilir)
- **Tezimin/Raporumun tarihine kadar erişime açılmasını istemiyorum ancak kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı veya tamamının fotokopisinin alınmasını onaylıyorum.**
- **Serbest Seçenek/Yazarın Seçimi**

31/05/2017



Ceren DİRİK

ETİK BEYAN

Bu çalışmadaki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, yararlandığım kaynaklara bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu, tezimin kaynak gösterilen durumlar dışında zgn olduğunu, Yrd. Doç. Dr. Kazım Barış Atıcı danışmanlığında tarafımdan üretildiğini ve Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Yazım Yönergesine göre yazıldığını beyan ederim.



Ceren DİRİK



Sevgili Anneme ve Babama...

TEŞEKKÜR

Akademik yaşantımın yol haritasını belirleyen, ihtiyacım olan tüm bilgi ve donanımı bana kazandıran, beni her daim doğru kaynaklara yönlendiren ve pes etmemenin ne kadar önemli olduğunu öğreten saygıdeğer hocam Yrd. Doç. Dr. Onur Alper Kılıç'a çok teşekkür ederim.

Değerli bilgilerini benimle paylaşan, kıymetli zamanını ayırarak sabırla tüm sorularımı yanıtlayan, karşılaştığım sıkıntılarda desteğini asla esirgemeyen, üzerimde tarif edilemeyecek büyüklükte emeği olan ve yaşantım boyunca örnek alacağım sevgili hocam Yrd. Doç. Dr. Hüseyin Tunç'a sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca başım her sıkıştığında benimle birlikte koşuran, görüşleriyle bana rehberlik eden, bana duyduğu güveni her zaman hissettiren ve geldiğim noktada büyük katkıları olan danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Kazım Barış Atıcı'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Sayın Prof. Dr. Aydın Ulucan'a, Yrd. Doç. Dr. Ayşegül Altın Kayhan'a ve Yrd. Doç. Dr. Bülent Çekiç'e tez çalışmama yapmış oldukları değerli yorum ve katkılarından dolayı çok teşekkür ederim.

İhtiyacım olan her konuda desteğini asla esirgemeyen, benim için hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan, hayatım boyunca her daim beni anlayan, dinleyen, üzüntümü ve mutluluğumu paylaşan, bu dünyada eşi ve benzeri olmadığına inandığım canım aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım. İsmi buraya sığdıramadığım ancak üzerimde emeği olan tüm hocalarıma ve her daim yanımda olmaya gayret eden bütün arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak, 3501-114M389 nolu proje kapsamında araştırma çalışmalarımın destekçisi olan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)'na çok teşekkür ederim.

ÖZET

DİRİK, Ceren. *Stokastik Talep ve Geri Dönüslü Ekonomik Parti Büyüklüğü Problemi Üzerine Bir Çalışma*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2017.

Ekonomik, çevresel ve yasal zorunluluklar sonucunda ürünleri yeniden kullanma ve yeniden üretim kavramları hem endüstride hem de akademik alanda önemli bir boyut kazanmıştır. Yeniden üretilen ürünlerin, geleneksel üretim ile üretilen ürünlerle özdeş olması yeniden üretimi diğer ürün geri kazanım türlerinden ayırmaktadır. Birçok işletme üretim ve yeniden üretim faaliyetlerini birlikte yürütmekte ve bu durum üretim ve envanter kontrolünde birtakım zorlukların ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

Yeniden üretim sistemlerinde karşılaşılan en önemli problemlerden biri klasik Ekonomik Parti Büyüklüğü Problemi (EPBP)'nin yeniden üretim sistemlerine uyarlanmasıdır. Yeniden üretim sistemlerinde arz ve talebin dengelenmesi açısından büyük önem taşıyan Geri Dönüslü Ekonomik Parti Büyüklüğü Problemi (GD-EPBP)'nin NP-zor karmaşıklık sınıfına dahil olduğu bilinmektedir. Diğer bir ifade ile problemin optimal çözümünün hesapsal verimliliği yüksek bir algoritma ile elde edilmesi mümkün değildir. Bunun yanı sıra, hem talep hem de geri dönen ürün miktarlarının deterministik yapıda olduğunun varsayılması, GD-EPBP'nin gerçek hayat koşullarındaki uygulanabilirliğini kısıtlamaktadır. Bu nedenle bu tez çalışmasında problem, talebin ve geri dönüşlerin stokastik ve durağan olmayan bir yapıda olduğu varsayımı ile ele alınmış ve literatürde yaygın olarak bilinen Silver-Meal (SM) sezgisel yeniden üretim sistemlerine uyarlanarak problemin çözümü için hesapsal açıdan verimli sezgisel bir algoritma geliştirilmiştir. Sonlu planlama ufkuna sahip tek bir ürün için ne zaman ve ne kadar üretim ve/veya yeniden üretim yapılacağına karar vererek; elde bulundurma, elde bulundurmama ve kurulum maliyetlerinden oluşan toplam beklenen maliyeti minimize edecek olan envanter planını belirlemek amaçlanmıştır. Son olarak, algoritmanın performansı üzerinde etkili olabilecek çeşitli faktörlerin hesaba katıldığı geniş bir test seti üretilmiş ve algoritmanın işlemsel etkinliği ile ilgili bulgulara ulaşılmıştır.

Anahtar Sözcükler

Yeniden Üretim, Stokastik Envanter Kontrolü, Sezgisel Algoritmalar, Karma Tamsayılı Programlama.

ABSTRACT

DİRİK, Ceren. *A Study on the Economic Lot Sizing Problem with Stochastic Demands and Returns*, Master's Thesis, Ankara, 2017.

Due to economic, environmental and legal obligations, the concepts of product reuse and remanufacturing have gained an important dimension both in industry and academia. The fact that remanufactured products are identical to those produced by conventional manufacturing distinguishes remanufacturing from other types of product recovery. Many businesses perform manufacturing and remanufacturing activities together, which causes some difficulties in production and inventory control.

One of the most important problems encountered in remanufacturing systems is the adaptation of the classical economic lot sizing problem (ELSP) to the remanufacturing systems. It is known that the economic lot sizing problem with returns (ELSPR), which has a great importance in terms of balancing supply and demand in remanufacturing systems, falls within the class of NP-hard complexity. In other words, it is not possible to obtain the optimal solution of the problem with a computationally efficient algorithm. Furthermore, assuming that both demand and return amounts are deterministic, the applicability of ELSPR to real life conditions is limited. For this reason, the problem in this thesis is addressed by the assumption that the demand and return amounts are stochastic and non-stationary and a computationally efficient heuristic algorithm has been developed for the solution of the problem by adapting the well-known Silver-Meal (SM) heuristic to the remanufacturing systems. It is aimed to determine the inventory plan that will minimize the total expected cost of holding, penalty and set-up costs by deciding when and how much manufacturing and/or remanufacturing will be made for a single product with a finite planning horizon. Finally, a large set of test has been produced in which the various factors that could affect the performance of the algorithm accounted for and the findings of the algorithm's operational effectiveness have been reached.

Keywords

Remanufacturing, Stochastic Inventory Control, Heuristic Algorithms, Mixed Integer Programming.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
BİLDİRİM	ii
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI	iii
ETİK BEYANI	iv
TEŞEKKÜR	vi
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
İÇİNDEKİLER	ix
TABLolar DİZİNİ	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
GİRİŞ	1
1. BÖLÜM: ÜRETİM SİSTEMLERİNDE ENVANTER KONTROLÜ	3
1.1. ENVANTER KAVRAMI VE ENVANTER BULUNDURMA NEDENLERİ ...	4
1.2. ENVANTERLERİN SINIFLANDIRILMASI	6
1.2.1. Üretim Sürecindeki Yerlerine Göre Sınıflandırma	6
1.2.2. Fonksiyonlarına Göre Sınıflandırma	6
1.2.3. Stok Kalemlerinin Değerine Göre Sınıflandırma	8
1.3. ENVANTER KARARLARINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER	10
1.3.1. Talebin Yapısı	10
1.3.2. Envanter Maliyetleri	11
1.3.2.1. Elde Bulundurma Maliyeti	12

1.3.2.2. Elde Bulundurmama Maliyeti	12
1.3.2.3. Sipariş/Kurulum Maliyeti	13
1.3.3. Sistemin Yapısı	14
1.3.4. Tedarik Süresi	14
1.3.5. Stok Gözden Geçirme Sistemi	15
1.3.6. Planlama Ufku	15
1.3.7. Ürün Sayısı ve Ürüne Ait Özellikler	16
1.3.8. Kapasite	16
1.3.9. Servis Düzeyi	17
2. BÖLÜM: YENİDEN ÜRETİM SİSTEMLERİNDE ENVANTER KONTROLÜ.....	18
2.1. ANAHTAR ÇALIŞMALAR	21
2.2. LİTERATÜR TARAMASI	25
2.1.1. Deterministik Yaklaşımlar	26
2.1.2. Stokastik Yaklaşımlar	28
3. BÖLÜM: STOKASTİK TALEP VE GERİ DÖNÜŞLÜ EKONOMİK PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ PROBLEMİ	34
3.1. PROBLEMİN TANIMI	34
3.1.1. Genel Notasyon	36
3.1.2. Sezgisel Algoritma için Notasyon	36
3.2. SİLVER-MEAL SEZGİSEL ALGORİTMASININ STOKASTİK TALEP VE GERİ DÖNÜŞLÜ EKONOMİK PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ PROBLEMİNE UYARLANMASI	38

3.2.1. Opsiyon 1: “Sadece Üret”	39
3.2.1.1. Opsiyon 1 için Beklenen Maliyet Fonksiyonunun Geliştirilmesi.....	40
3.2.1.2. Opsiyon 1 için Optimal Değerin Belirlenmesi	44
3.2.2. Opsiyon 2: “Sadece Yeniden Üret”	47
3.2.2.1. Opsiyon 2 için Beklenen Maliyet Fonksiyonunun Geliştirilmesi.....	48
3.2.2.2. Opsiyon 2 için Optimal Değerin Belirlenmesi	52
3.2.3. Opsiyon 3: “Önce Yeniden Üret, Sonra Üret”	56
3.2.4. Opsiyon 4: “Sipariş Verme”	59
3.2.5. Tanımlayıcı Örnek	61
3.3. GERİ DÖNÜŞLÜ EKONOMİK PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ PROBLEMİNİN KARMA TAMSAYILI PROGRAMLAMA MODELİ	63
3.4. NÜMERİK ÇALIŞMA	66
3.4.1. Geliştirilen Algoritmanın İşlemsel Etkinliği	70
4. BÖLÜM: SONUÇ	75
KAYNAKÇA	76
EKLER	83
EK 1. Tez Çalışması Orijinallik Raporu	83
EK 2. Tez Çalışması Etik Kurul İzin Muafiyeti Formu	84

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. Tanımlayıcı Örnekte Kullanılan Parametre Değerleri

Tablo 2. Tanımlayıcı Örnek için Periyot Başına Beklenen Maliyet Tablosu

Tablo 3. Nümerik Çalışma için Üretilen Beklenen Talep Miktarları

Tablo 4. Nümerik Çalışma için Üretilen Beklenen Dönen Ürün Miktarları

Tablo 5. Nümerik Çalışma Özet Tablosu

Tablo 6. Baz Senaryo Tablosu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. ABC Analizi Envanter Sınıflandırma Grafiği

Şekil 2. Ürün Geri Kazanım Türleri

Şekil 3. Geri Dönüştü Envanter Sistemi



GİRİŞ

Tüketim hızının giderek artması ile doğal kaynaklar hızla tükenmekte ve ürünlerin kullanımı sonucunda oluşan atıklar çevreye büyük zararlar vermektedir. Çevrenin korunması amacıyla yapılan yasal düzenlemeler ve artan sosyal baskılar üreticileri ürünlerini ve üretim süreçlerini yeniden tasarlamaya zorlamış ve bunun sonucunda yeniden üretim kavramı büyük bir önem kazanmıştır. Teknolojik gelişmeler sayesinde yeniden üretimin uygun maliyetli bir sürece dönüşmesi ve yeniden üretim yapan işletmelerin çevre dostu imajıyla daha fazla müşteri çekme avantajına sahip olmaları, kullanılmış ürünlerin yeniden üretilmesini teşvik eden diğer nedenler arasında sayılabilir (Van Der Laan ve diğerleri, 1999). Tüketiciden üreticiye dönen ürünlerin geri kazanımı olarak tanımlanan yeniden üretim, enerji tüketimini, karbon emisyon oranını ve hammadde kullanımını azaltmakta, arz ve talebi dengeleyerek işletmelerin karlılığını arttırmakta, emek yoğun faaliyetler gerektirmesi sonucunda yeni iş imkanları yaratmakta ve dönen ürünleri yeni üretilen ürünlerle özdeş bir hale getirmesi nedeniyle diğer ürün geri kazanım türlerinden ayrılmaktadır. Yeniden üretim özellikle otomotiv, havacılık, tıbbi cihaz, iletişim ve elektronik sektörleri için büyük bir öneme sahiptir (D'Adamo ve Rosa, 2016).

Birçok işletme üretim ve yeniden üretim faaliyetlerini birlikte yürüttüğünden, bu faaliyetlerin eş zamanlı olarak koordine edilmesi gerekir. Ancak yeniden üretim sistemleri birçok açıdan geleneksel üretim sistemlerinden farklıdır. Müşterilerin ürünleri ne zaman iade edeceğinin bilinmemesi, ürünlerin hangi kalite düzeyinde üreticilere geri döneceği ile ilgili belirsizlikler, müşterilerden dönen ürünlerin işletmeye akışını sağlayacak olan tersine lojistik sistemine duyulan ihtiyaç ve dönen ürünlerin yeniden üretilebilecek şekilde dizayn edilmesi gibi konular üretim ve yeniden üretim sistemleri arasındaki farklılıklara örnek olarak gösterilebilir (Junior ve Filho, 2012). Bu farklılıklar nedeniyle yeniden üretim sistemlerinde geleneksel envanter kontrol yöntemlerinin uygulanabilirliği oldukça kısıtlıdır ve bu tip sistemler için etkin envanter kontrol yöntemlerinin geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir.

Bu tez çalışması yeniden üretim sistemlerinde, üretim ve yeniden üretim faaliyetlerinin envanter kontrolü kapsamında koordine edilmesi problemini konu almaktadır. Bu bağlamda yeniden üretim sistemlerinde arz ve talebin dengelenmesi açısından en önemli problemlerden olan geri dönüşlü ekonomik parti büyüklüğü problemi (GD-EPBP) ele alınmış ve en çok bilinen sezgisel algoritmalarından biri olan Silver-Meal (SM) sezgiselinin talep ve geri dönen ürün miktarlarının stokastik ve durağan olmayan bir yapıda olduğu varsayımı altında yeniden üretim sistemlerine uyarlanması ile ilgili literatürde bulunan boşluğun doldurulması hedeflenmiştir.

Bu çalışma dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, üretim sistemlerinde envanter kontrolünün özellikleri ve envanter kararlarını etkileyen faktörler ile ilgili genel bilgi verilecektir.

İkinci bölümde, öncelikle yeniden üretim kavramı ve yeniden üretimin önemi açıklanacak, ardından bu tez çalışmasının temelini oluşturan anahtar çalışmalar incelenecektir. Yeniden üretim sistemlerinde envanter kontrol problemleri üzerine yapılmış diğer çalışmaların deterministik ve stokastik yaklaşımlar olmak üzere ikiye ayrılarak detaylı bir şekilde ele alındığı genel bir literatür taraması ile ikinci bölüm sonlandırılacaktır.

Üçüncü bölümde, ilk olarak problemin tanımı yapılacak ve hemen ardından talep ve dönen ürün miktarlarının stokastik ve durağan olmayan bir yapıda olduğu varsayımı altında ele alınan GD-EPBP'nin çözümü için hesapsal açıdan verimli sezgisel bir algoritma ortaya konulacaktır. Algoritmanın çalışma prensibini göstermek amacıyla verilen tanımlayıcı bir örnek incelendikten sonra, algoritmanın performansı ile ilgili bulgulara ulaşmak için yararlanılacak olan deterministik problemin karma tamsayılı programlama modeline yer verilecektir. Son olarak, geliştirilen algoritmanın işlemsel etkinliği ile ilgili elde edilen bulgular tartışılacaktır.

Dördüncü bölümde ise, bu tez çalışmasının genel olarak değerlendirildiği ve ileride yapılacak çalışmalara yönelik önerilerin yer aldığı sonuç kısmı bulunmaktadır.

1. BÖLÜM

ÜRETİM SİSTEMLERİNDE ENVANTER KONTROLÜ

Envanter sistemleri, hammaddenin tedarik edilmesi ile başlayan ve satışa hazır mamullerin tüketiciye teslim edilmesine kadar süren toplam mamul akışının ve bu akışı etkileyen birçok faktörün etkin bir şekilde kontrol edilmesi ile ilgilidir (Hax ve Candea, 1984). Envanter problemlerinin karmaşıklığı, bu faktörlere ve envanter sistemlerinin sahip olduğu özelliklere bağlı olarak önemli ölçüde değişiklik gösterebilir. Örneğin, bazı envanter problemleri basit mantıksal çıkarımlar yapılarak çözülebilirken, envanter sisteminin karmaşık olduğu durumlarda ortaya çıkan bazı problemler ise gelişmiş matematiksel araçların kullanımını gerektirebilir (Beyer ve diğerleri, 2010). İşletmelerin perakende satış, toptan satış ve dağıtım, üretim ve montaj sistemlerinden hangisine dahil olduğuna bağlı olarak karşılaştıkları envanter problemlerini genel hatlarıyla tasvir etmek mümkündür. Perakende satış sistemlerinden, üretim sistemlerine doğru gidildikçe envanter problemlerinin karmaşıklığı da artmaktadır (Tersine, 1988). Ancak envanter sistemlerinin karmaşıklığı ve envanter problemlerinin büyüklüğünden bağımsız olarak, hemen hemen bütün işletmelerin envanter kontrol kararları iki temel soruyla bağlantılıdır;

- Ne zaman sipariş verilmeli?
- Ne kadar sipariş verilmeli?

Yöneticilerin bu sorulara cevap verilirken karşılaştığı temel ödünleşim, envanterin işletmeye sağladığı avantajlar ile ortaya çıkardığı maliyetler arasındadır ve etkin bir envanter kontrolü için envanter bulundurma avantaj ve dezavantajların dengelenmesi büyük bir önem arz etmektedir.

Bu bölümde envanter kavramı, üretim sistemleri özelinde ele alınacak ve sonraki bölümlere temel oluşturması bakımından envanter kontrolünün genel özellikleri ve envanter kararlarını etkileyen faktörler hakkında bilgi verilecektir. Çalışma boyunca envanter ve stok kavramları eş anlamlı olarak kullanılmıştır.

1.1. ENVANTER KAVRAMI VE ENVANTER BULUNDURMA NEDENLERİ

Tersine (1988) envanteri, müşteri talebini karşılamak için satılmayı ya da mal/hizmet üretimini desteklemek için kullanılmayı bekleyen atıl veya henüz tamamlanmamış durumdaki materyal olarak tanımlarken; Demir (1986)'e göre envanter, işletmelerin gelecekteki gereksinimlerini karşılarlarken herhangi bir aksaklıkla karşılaşmamaları için elde bulundurdukları mal stoğudur.

Genel olarak işletmeler arz ve talep arasındaki dengesizlikler nedeniyle envanter bulundurmaktadır. Bu dengesizlikler birçok teknik, ekonomik, sosyal ve çevresel dinamiğin sonucunda ortaya çıkabilir (Muckstadt ve Sapra, 2010). Ancak işletmeleri, arz ve talebin dengelenmesi dışında envanter bulundurmaya yönlendiren başka nedenler de vardır. Tüm envanter kalemlerini sifıra indirgeyerek üretim sürecinde devamlılığı sağlamanın neredeyse imkânsız olduğunu ifade eden Nahmias (2009), envanter bulundurma nedenlerini yedi başlık altında incelemiştir;

- *Ölçek Ekonomiler:* Satın alınan veya üretilen envanter miktarından bağımsız olarak ortaya çıkan sabit maliyet, yüksek miktarlarda ancak daha seyrek sıklıklarla sipariş verilmesi sonucunda önemli ölçüde azaltılabilir. Bu durum işletmelerin sabit maliyeti çok sayıda birim üzerinden amorti etmesi anlamına gelmektedir.
- *Belirsizlik:* Özellikle talepte yaşanan belirsizlikler işletmelerin envanter bulundurmasında oldukça kritik bir etkiye sahiptir. Talebin zamanında karşılanmaması işletmelerin hem müşteri hem de itibar kaybetmesine neden olabilir. Bu noktada envanter, talepteki belirsizliklere karşı tampon görevi görmüş olur. Talep öngörülebilir olsa dahi tedarik sürelerinde, hammadde fiyatlarında veya arzda yaşanan belirsizlikler, üretim akışının veya satışların sürdürülebilmesi için envanter bulundurulmasını gerektirmektedir.
- *Spekülasyon:* İşletmeler çeşitli nedenlerden dolayı oluşabilecek fiyat dalgalanmalarından yararlanmak amacı ile stok bulundurmaya isteyebilir. Örneğin, fiyatının artacağı bilinen veya tahmin edilen hammaddeler

mevcut fiyat üzerinden yüksek miktarlarda sipariş edilerek, gelecekte kullanılmak üzere stoklanabilir.

- *Nakliye:* Özellikle nakliye sürelerinin uzun olduğu durumlar için veya nakliye esnasında yaşanabilecek olumsuzluklara karşı envanter bulundurmak oldukça önemlidir.
- *Lojistik:* Satın alma, üretim veya dağıtım sırasında ortaya çıkan kısıtlamalar sistemi envanter bulundurmaya zorlayabilmektedir. Örneğin, bazı hammaddelerin, yarı mamullerin veya satışa hazır mamullerin minimum ve/veya maksimum miktarlarda satın alınmasını gerektiren durumlar söz konusu olabilir.
- *Üretimde Düzenlilik:* Envanter, talepteki bazı periyodik veya mevsimsel dalgalanmalara stoksuz kalma tehlikesine düşmeden cevap verilmesine yardımcı olur. Ayrıca çeşitli nedenlerle arzda meydana gelebilecek gecikmelerin de önüne geçilmesini sağlar. Envanter bulundurarak üretimde sağlanan böylesine bir düzenlilik sayesinde, üretim hacmi veya iş gücü ile ilgili yapılacak değişiklikler nedeniyle ortaya çıkması muhtemel aksaklıklar ve maliyetler engellenmiş olur.
- *Envanter Kontrol Maliyeti:* Envanter seviyesinin yüksek olduğu sistemler, envanter seviyesinin düşük tutulduğu sistemlere kıyasla daha az kontrol gerektirir. Özellikle satış, kar veya stok yatırımı açısından parasal değeri düşük olan mamuller için detaylı bir kontrol mekanizması kullanmak yerine, söz konusu mamulleri yüksek miktarlarda stoklayarak daha ekonomik bir envanter kontrolü sağlanabilir.

Ancak envanter bulundurmanın olumlu yönlerinin yanı sıra, olumsuz yönleri de bulunmaktadır. Envanter yatırımları işletmelerin toplam sermaye yatırımının önemli bir bölümünü oluşturduğundan, yüksek miktarlarda envanter bulundurmak işletmelerin nakit akışını olumsuz yönde etkileyebilir. Ayrıca envanter düzeyinin yüksek olması, depolama, taşıma, bozulma ve eskime riski maliyetlerinin artması sonucunu da doğurur. Bu nedenle envanter bulundurmanın olumlu ve olumsuz yönlerinin uygun bir envanter düzeyi elde edilecek şekilde dengelenmesi işletmeler için oldukça kritik bir öneme sahiptir (Gençyılmaz, 1988).

1.2. ENVANTERLERİN SINIFLANDIRILMASI

Yöneticilere sağlıklı bir bilgi akışı sağlamak, karar almayı kolaylaştırmak ve etkili bir envanter kontrolü gerçekleştirmek için envanterlerin bazı ortak özelliklerine göre sınıflandırılması gerekmektedir. Bu amaçla envanterler üretim sürecindeki yerlerine göre, fonksiyonlarına göre ve stok kalemlerinin değerine göre sınıflandırılabilirler.

1.2.1. Üretim Sürecindeki Yerlerine Göre Sınıflandırma

Envanterleri üretim sürecindeki yerlerine göre dört ana başlık altında toplamak mümkündür: (i) hammadde, (ii) yarı mamul, (iii) işletme malzemeleri ve (iv) satışa hazır mamul. *Hammadde envanteri*, üretim veya işleme faaliyeti için gerekli olan, satın alınmış fakat henüz işlenmemiş envanter olarak tanımlanmaktadır. *Yarı mamul envanteri* ise işlenmeyi bekleyen veya işlenmiş ancak tamamlanmamış hammadde veya bileşenleri ifade etmektedir. Yarı mamul envanter seviyesi genellikle üretim sisteminin verimliliğinin bir ölçütü olarak kullanılmakta ve bu envanter düzeyinin en aza indirilmesi hedeflenmektedir (Nahmias, 2009). *İşletme malzemeleri envanteri*, sistemin bakımı, onarımı, makinelerin çalıştırılması ve süreçlerin üretken tutulması için sistemde bulunan ve nihai ürüne dahil olmayan stok kalemlerini ifade etmektedir (Heizer ve Render, 2008). *Satışa hazır mamul envanteri* ise satış veya dağıtım için bekleyen bitmiş ürünlerdir.

Stok kalemlerinin söz konusu dört kategoriden herhangi birine ait olması, incelenen envanter sisteminin özelliklerine göre değişiklik gösterebilir. Örneğin, bir sistemin çıktısı olan mamuller başka bir sistemin girdisi olabilmektedir.

1.2.2. Fonksiyonlarına Göre Sınıflandırma

Yöneticilerin envanter kontrolünde kapsamlı bir perspektife sahip olabilmesi, optimal envanter düzeyinin belirlenebilmesi ve böylece stok maliyetlerinin azaltılabilmesi için envanterlerin fonksiyonlarına göre değerlendirilmesi büyük bir

önem arz etmektedir. Silver ve diğerleri (1998), envanterleri kontrol ve yönetilebilirlik açısından altı fonksiyonel kategori altında toplamışlardır;

- *Çevrim Stoğu:* Parti büyüklüğü stoğu olarak da adlandırılmaktadır ve partiler halinde sipariş verilmesi sonucu oluşan ortalama envanter düzeyini ifade etmektedir. İşletmeler üretim, dağıtım ve satın alma süreçlerinde ölçek ekonomisinin avantajlarından ve miktar indirimlerinden faydalanabilmek için veya sistemdeki teknolojik kısıtlamalar nedeniyle çevrim stoğu kullanmak isteyebilirler.
- *Tıkanıklık Stoğu:* İşletmelerin bilinçli olarak oluşturdukları bir stok değildir. Genellikle birden fazla mamulün aynı üretim ekipmanını paylaştığı durumlarda, söz konusu üretim ekipmanının kapasitesinin yeterli olmaması nedeniyle ortaya çıkmaktadır.
- *Emniyet Stoğu:* Arz ve talepteki belirsizliklere karşı elde bulundurulan envanter miktarını temsil etmektedir. Talep ve tedarik sürelerinin kesin olarak bilindiği sistemlerde ise emniyet stoğuna ihtiyaç duyulmaz.
- *Beklenti Stoğu:* Yılın belirli dönemlerinde artan satış hacmini karşılamak üzere önceden oluşturulmuş stoktur. Talebin yüksek olacağı dönemlerde üretim kapasitesi talebi karşılamaya yetmeyebilir. Bu sebeple işletmeler, talebin düşük olduğu dönemlerde beklenti stoğu oluştururlar. Beklenti stoğu, özellikle periyodik veya mevsimsel olarak öngörülebilir değişkenliklere karşı koymak için kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra makine ve teçhizatla meydana gelen arızalar, işçi grevleri, doğal afetler, savaş veya ekonomik kriz gibi olağan dışı durumlar için de beklenti stoğu oluşturulmaktadır.
- *Taşıma Stoğu:* Malzeme akış sistemi içerisinde bir noktadan diğerine taşınan envanterlerdir. Bu stoklar tedarikçiden işletmeye, bir iş istasyonundan diğerine veya işletmeden dağıtım merkezine geçiş sürecince olabilirler.
- *Ayrışma Stoğu:* Çok kademeli envanter sistemlerindeki kademeler arasında veya çok iş istasyonlu bir üretim işletmesindeki iş istasyonları arasında oluşturulan stoklardır. Ayrışma stoğunun kullanılması ile birbirine

bağlı olan birimlerin karar verme süreçleri ayrıştırılarak, her birimin belirli bir miktarda bağımsızlık elde etmesi sağlanır. Ayrıca herhangi bir birimde çıkacak bir problemin tüm sistemi etkilemesinin de önüne geçilmiş olur.

1.2.3. Stok Kalemlerinin Değerine Göre Sınıflandırma

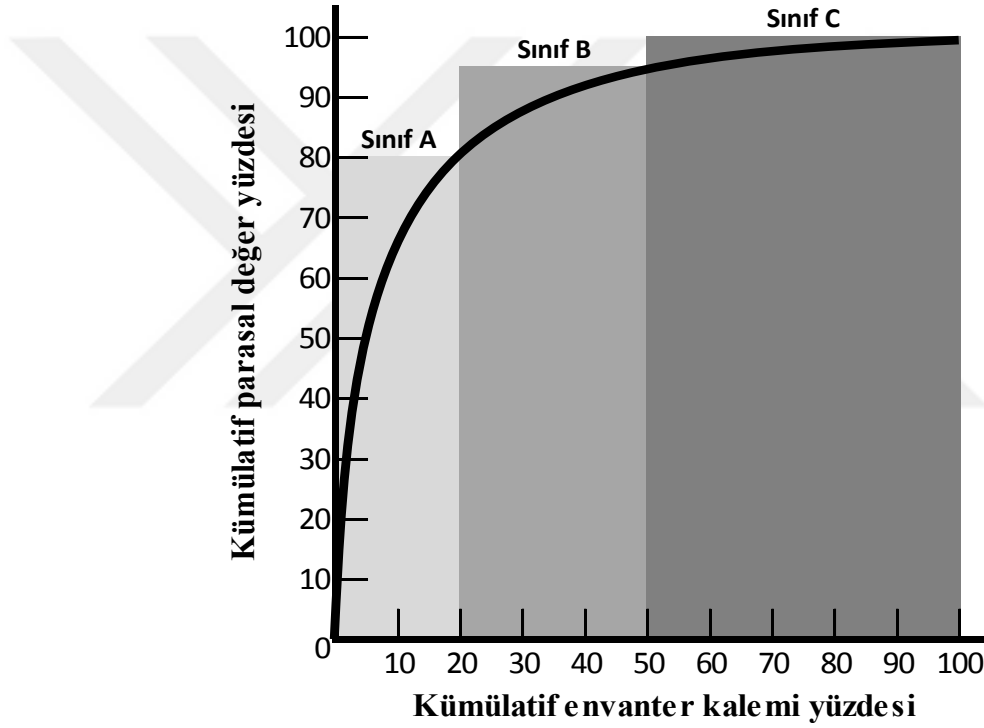
Stok kalemlerinin değerine göre sınıflandırma, çok sayıda envanter kaleminin bulunduğu sistemlerde genellikle her envanter kaleminin aynı önem derecesine sahip olmadığı prensibine dayanmaktadır. Bu nedenle envanterdeki tüm mamullerin tek bir kontrol mekanizmasına tabii olması ekonomik bir yaklaşım olmayacaktır. Verimli bir envanter kontrolü için, yöneticiler, satış, kar veya stok yatırımı açısından parasal değeri yüksek olan mamullere odaklanmalı ve daha titiz bir şekilde kontrol edilmesi gereken bu mamulleri, diğer envanter kalemlerinden ayırt etmelidir (Tersine, 1988). Bu amaçla, envanteri stok kalemlerinin değerine göre sınıflara ayıran *ABC analizi* yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.

ABC analizi, Pareto prensibine dayanmaktadır. 19. yüzyılda servet dağılımı üzerinde çalışmış olan İtalyan ekonomist Vilfredo Pareto, servetin büyük bir bölümünün, nüfusun küçük bir bölümünün elinde olduğunu tespit etmiştir. Önemli azınlık ile önemsiz çoğunluk arasındaki ilişkiyi inceleyen bu prensip, envanter kontrol problemlerinde de kullanılmaktadır. Buna göre envanter sistemindeki toplam parasal değerlerin büyük bir bölümünün, envanter kalemlerinin küçük bir bölümü ile sağlandığını söylemek mümkündür (Nahmias, 2009).

ABC analizi envanter kalemlerini önem derecesine göre üç gruba ayırmaktadır: (i) A sınıfında yer alan ve en yüksek önem derecesine sahip olan envanter kalemleri, (ii) B sınıfında yer alan ve orta derecede önemli olan envanter kalemleri, (iii) C sınıfında yer alan ve en az öneme sahip olan envanter kalemleri. Şekil 1’de görüldüğü üzere A sınıfındaki envanter kalemleri, toplam envanterin %20’sini oluşturmakta ve tüm parasal değerlerin %80’ini yani çok büyük bir kısmını temsil etmektedir. Bu nedenle A sınıftaki mamullerin daha sıkı, detaylı ve düzenli bir şekilde kontrol edilmesi ve daha iyi koşullarda depolanması gerekmektedir.

İkinci sırada yer alan B sınıfındaki envanter kalemleri, eldeki envanterin %30'una karşılık gelmesine rağmen, toplam parasal değerini sadece %15'ini oluşturmaktadır. Son olarak tüm parasal değerini %5'ini temsil eden, buna karşılık toplam envanterin %50'sini oluşturan C sınıfındaki envanter kalemleri yer almaktadır. Genellikle, C sınıfındaki mamullerin elde bulundurma maliyeti düşüktür. Bu nedenle söz konusu mamuller yüksek miktarlarda stoklanarak, envanter kontrol işlemleri basit tutulmalıdır (Krajewski ve diğerleri, 2007).

Şekil 1. ABC Analizi Envanter Sınıflandırma Grafiği



Kaynak: Krajewski ve diğerleri (2007, s. 469)

İşletmeler, ABC analizini sistemlerinin özelliklerine göre adapte edebilmektedir. Örneğin, bazı işletmeler envanter kalemlerini üçten fazla sınıfa ayırma ihtiyacı duyabilir (Tersine, 1988). Ancak analize başlamadan önce sınıflandırmayı etkileyebilecek hususların belirlenmesi oldukça önemlidir. Mamullerin raf ömrü, depolama alanı veya tedarik süresinin uzunluğu gibi faktörlerin göz önünde bulundurulması, sınıflandırmayı büyük ölçüde değiştirebilir.

1.3. ENVANTER KARARLARINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Envanter kontrol kararları, iç ve dış kaynaklı olabilecek birçok faktörden etkilenmektedir. Örneğin, envanterde tutulan mamuller, maliyet, ağırlık, hacim, renk veya fiziksel şekil bakımından farklılık gösterebilir, zamanla bozulabilir, çalınabilir, eskiebilir veya modası geçebilir. Bazı stok kalemlerinin özel depolama koşullarında muhafaza edilmesi gerekirken, bazıları diğer ürünler ile temas edebilecek şekilde envanterde tutulabilir. Tüketicilerin bir kısmı belirli ürünlerin stoğa girmesini beklemeyi tercih ederken, bir kısmı taleplerinin anında karşılanmasını isteyebilir. Bir siparişin teslim edilmesi saatler, haftalar veya aylar alabilir (Silver ve diğerleri, 1998). Satın alma yöneticisi, ölçek ekonomisinin avantajlarından ve miktar indirimlerinden faydalanmak için büyük partiler halinde sipariş vermek isterken, üretim yöneticisi tedarik sürelerinin belirsiz veya uzun olmasından dolayı geniş bir hammadde envanterine sahip olmayı tercih edebilir. Buna karşılık pazarlama yöneticisi, talepteki dalgalanmalar nedeniyle satışa hazır mamul envanter düzeyini yüksek tutmak isteyebilir (Axsater, 2006). Bunlar gibi sayılabilecek nedenlerden ötürü envanter sistemlerinin pek çok yönden farklılık gösterdiğini söylemek mümkündür. Dolayısıyla üretim planlaması ve envanter kontrolünde karar verme, temelde bir dizi faktörle baş etmek anlamına gelmektedir. Bu başlık altında incelenecek olan söz konusu faktörler envanter sisteminin özelliklerinden veya envanter sistemi için yapılan varsayımlarından oluşmaktadır.

1.3.1. Talebin Yapısı

Talebin yapısı ile ilgili yapılan varsayımlar genellikle envanter problemlerinin karmaşıklığı üzerindeki en etkili faktördür. Literatürde talebin yapısı genel olarak deterministik veya stokastik olmasına göre sınıflandırılmıştır. Talebin kesin olarak bilindiği sistemler *deterministik* sistemler olarak nitelendirilir. *Stokastik* sistemlerde ise talep, olasılık dağılımı bilinen rassal bir değişkendir. Deterministik sistemlerde talebin zaman içinde değiştiği durumlarda *dinamik talep*, değişmediği durumlarda *sabit talep* yapısı; stokastik sistemlerde ise talep ve/veya talebin

dağılım parametreleri zaman içinde değişiyorsa *durağan olmayan talep*, değişmiyorsa *durağan talep* yapısı söz konusudur. En basit envanter problemleri talebin sabit olduğu varsayımına dayanmaktadır.

Deterministik talep varsayımı gerçekçi olmayan bir varsayım olarak görülse de işletmelerin gerçekten deterministik taleple karşı karşıya olduğu durumlar söz konusu olabilmektedir. Örneğin, bir işletme her periyotta aynı miktarda ürünü teslim etmek üzere uzun vadeli bir sözleşme imzalamış olabilir (Axsater, 2006). Ancak gerçek hayattaki birçok durum için talep stokastiktir.

Talep ayrıca bağımlı ve bağımsız olmak üzere iki kategori altında incelenebilir. *Bağımsız talep*, bir mamulün talebi ile diğer bir mamulün talebi arasında herhangi bir ilişki bulunmadığı anlamına gelmekte ve genellikle işletmelerin kontrolü dışındaki piyasa koşullarından etkilenmektedir. *Bağımlı talep* ise, bir mamulün talebinin başka bir mamul ile doğrudan ilgili olması veya başka bir mamule olan talebin sonucunda ortaya çıkması durumunu ifade etmektedir (Tersine, 1988). Örneğin, buzdolabına olan talep ile televizyona olan talep birbirinden bağımsızdır. Çünkü söz konusu ürünlerin talebi piyasadaki talepten etkilenmektedir. Oysa, buzdolabının mekanik parçalarına veya aksesuarlarına olan talep, doğrudan buzdolabına olan talebe bağlıdır. Bu nedenle, satışa hazır mamullere ve işletme malzemelerine olan talep bağımsız talep, hammadde ve yarı mamullere olan talep ise bağımlı talep olarak nitelendirilmektedir (Muller, 2003).

1.3.2. Envanter Maliyetleri

İşletmeler birbirlerinden farklı envanter sistemlerine sahip olmalarına rağmen, neredeyse bütün envanter maliyetlerini üç temel başlık altında toplamak mümkündür. Bunlar, elde bulundurma maliyeti, elde bulundurmama maliyeti ve sipariş/kurulum maliyetidir. Olumlu ve olumsuz yönde değişen bu maliyetler arasında bir denge kurulması envanter kontrolünün temelini oluşturmaktadır (Kobu, 2013).

1.3.2.1. Elde Bulundurma Maliyeti

Elde bulundurma maliyeti, zaman içindeki herhangi bir noktada eldeki envanter miktarı ile orantılı olan tüm maliyetlerin toplamıdır. *Stok bulundurma maliyeti* olarak da adlandırılır. Birim başına elde bulundurma maliyeti çeşitli maliyet unsurlarından oluşmaktadır (Nahmias, 2009);

- Mamulleri depolamak için fiziksel alan sağlama maliyeti,
- Özel depolama gereksinimlerinden doğan maliyetler,
- Taşıma ve sayım maliyetleri,
- Mamullerin kırılması, bozulması, yıpranması, teknolojik bakımdan eskimesi, çalınması veya kaybolması nedeniyle ortaya çıkan risk maliyetleri,
- Sigorta giderleri ve vergiler,
- Sermayenin fırsat maliyeti.

Elde bulundurma maliyetinin en önemli unsuru muhasebe kayıtlarında yer almayan fırsat maliyetidir. Sermayenin fırsat maliyeti, eldeki fon ile envantere yatırım yapılması nedeniyle yararlanılamayacak olan bir sonraki en iyi yatırımın getirisi (Silver ve diğerleri, 1998).

1.3.2.2. Elde Bulundurmama Maliyeti

Elde bulundurmama maliyeti, *stoksuz kalma maliyeti veya ceza maliyeti* olarak da adlandırılmaktadır. Bir müşteri bir mamul talep ettiğinde ve bu talep zamanında karşılanmadığında ortaya çıkan maliyettir. Talebi karşılamak için envanter sisteminde yeterli mamul kalmadığı zaman iki farklı durum ortaya çıkabilir. Müşteri, talebinin daha sonraki bir tarihte karşılanmasını kabul eder ise *gecikmeli teslimat*, etmez ise *kayıp satış* durumu söz konusu olacaktır (Winston ve Goldberg, 2004). Elde bulundurmama maliyeti, gecikmeli teslimatın söz konusu olduğu durumlarda, genel olarak, teslimatın hızlandırılması için ekipmanlarda ve/veya üretim hattında yapılan değişikliklerden ve siparişlerin bölünmesinden kaynaklanan masraflardan meydana gelmektedir. Bu masraflara

fazla mesai, acil sevkiyat ve dışardan mamul satın alınarak müşteri talebinin karşılanması masrafları gibi başka maliyet kalemlerinin de eklenmesi mümkün olabilir. Kayıp satış durumunda ise satıştan elde edilecek karın kaybedilmesi söz konusudur. Farklı uygulamalara sahip olmalarına rağmen, iki durum da işletme itibarının kaybedilmesi maliyetini içermektedir ve bu maliyet unsurunu doğru bir şekilde tahmin etmek gerçek hayat uygulamaları için oldukça zordur (Nahmias, 2009).

Gecikme sürelerinin dikkate alınmadığı sistemlerde talebin karşılanmadığı her durum için birim başına elde bulundurmama maliyetine katlanılacaktır. Gecikme sürelerinin uzun olduğu envanter sistemlerinde ise, toplam stoklu kalma maliyetinin bu süreleri de göz önünde bulunduracak şekilde hesaplanması gerekir.

1.3.2.3. Sipariş/Kurulum Maliyeti

Sipariş/kurulum maliyetini oluşturan maliyet unsurları, verilen siparişin üretim yoluyla karşılanması veya satın alma yoluyla tedarik edilmesine göre farklılık göstermektedir. Siparişin üretim yoluyla karşılanması durumunda, mamullerin üretim alanına taşınması ve üretim için gerekli ekipmanların kurulumu, temizlenmesi, bakım ve onarımının yapılması gibi faaliyetler gerçekleştirilirken; siparişin satın alma yoluyla tedarik edilmesi durumunda ise tedarikçi firmanın seçimi, sipariş edilecek ürün ile ilgili formların hazırlanması, bilgilerin gönderilmesi, faturalama, nakliye, sayım işlemleri ve sipariş edilen mamullerin kabul muayenesinin yapılması gibi faaliyetler gerçekleştirilir (Gençyılmaz, 1988). Söz konusu iki durum için ortaya çıkan maliyet unsurları farklı olsa da sipariş/kurulum maliyeti, en genel şekli ile, sabit maliyet ve değişken maliyet olmak üzere iki grupta toplanabilir. *Sabit maliyet*, satın alınan veya üretilen envanter boyutuna göre değişmeyen ancak her sipariş verildiğinde ödenmesi gereken maliyetlerden oluşur. Bu maliyetler siparişin miktarından bağımsız olarak; sabit idari maliyetler, tüm evrak ve defter tutma masrafları, kırtasiye giderleri, üretim hattının hazırlanması için kalıp, takım, aparat değiştirme işlemleri sonucunda ortaya çıkan maliyetler ve siparişi ulaştırma veya teslim alma ile

alakalı olan işgücü maliyetleri olabilir (Chopra ve Meindl, 2013). *Değişken maliyet* ise, satın alınan veya üretilen envanter boyutuna göre değişmektedir. Genel olarak, satın alınacak veya üretilecek ürün miktarının artması, ölçek ekonomisinin etkisinden dolayı sipariş/kurulum maliyetini azaltmaktadır.

1.3.3. Sistemin Yapısı

Literatürde, sadece bir stoklama noktasının bulunduğu *tek kademeli envanter sistemleri* yaygın olarak kullanılmaktadır. Öte yandan, gerçek hayat uygulamalarında en çok karşılaşılan ve birden fazla stok noktasının bulunduğu sistemler *çok kademeli envanter sistemleri* olarak adlandırılır.

İşletmelerin birçoğu birden fazla tedarik, üretim ve dağıtım noktasının bulunduğu bir envanter sistemine sahiptir. Benzer şekilde, çok iş istasyonlu bir üretim işletmesinde hammadde, yarı mamul ve satışa hazır mamul envanterleri birbirine bağlıdır ve bu sistemlerde stok kalemleri arasındaki bağlantıyı dikkate alacak envanter kontrol yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir (Axsater, 2006). Söz konusu bu çok kademeli veya çok iş istasyonlu sistemlerde, bütün sistemin kontrolünü sağlayabilecek envanter kontrol politikalarının oluşturulması ve toplam mamul akışının optimize edilmesi ise oldukça karmaşık ve zordur (Gençyılmaz, 1988).

1.3.4. Tedarik Süresi

Tedarik süresi, bir stok kalemi için satın alma siparişinin verildiği andan, siparişin teslim alındığı ana kadar geçen veya ilgili stok kaleminin üretimi için gerekli olan süre olarak yorumlanır. Envanter kontrol problemlerindeki en yaygın varsayım, tedarik süresinin sabit olmasıdır. Bu sürenin stokastik bir değişken olduğu varsayıldığında ise problem daha karmaşık bir hal alacaktır (Graves ve diğerleri, 1993). Ayrıca, emniyet stoğu doğrudan tedarik süresinin uzunluğuyla ilişkilidir. Dolayısıyla tedarik süresinin uzunluğu belirsiz olduğunda, emniyet stoğuna duyulan ihtiyaç da artacaktır (Muckstadt ve Sapro, 2010).

1.3.5. Stok Gözden Geçirme Sistemi

Envanter kontrolü için iki farklı stok gözden geçirme yaklaşımı bulunmaktadır. *Sürekli gözden geçirme* sisteminde, envanter seviyesi her zaman bilinebilmektedir. Diğer yaklaşım ise envanter seviyesinin ancak belirli zaman noktalarında değerlendirildiği *periyodik gözden geçirme* sistemidir.

Hem sürekli hem de periyodik gözden geçirme sistemlerinin bazı avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Örneğin, tedarikçi firma haftanın sadece belirli günlerinde sipariş kabul ediyorsa veya bir işletme sadece belirli günler üretim yapıyorsa, envanter düzeylerinin sürekli gözden geçirilmesinin hiçbir anlamı olmayacaktır. Öte yandan, sürekli gözden geçirilen sistemlerde emniyet stoğuna duyulan ihtiyacın, periyodik olarak gözden geçirilen sistemlere kıyasla daha az olacağı açıktır. Bu nedenle gözden geçirme maliyetleri düşük ise daha düşük bir envanter seviyesi sağlayacağından, sürekli gözden geçirme yaklaşımının; gözden geçirme maliyetleri yüksek ise periyodik gözden geçirme yaklaşımının kullanılması tercih edilebilir (Hax ve Candea, 1983). Envanter seviyesinin sürekli gözden geçirildiği sistemlere kasadaki işlemlerin direk envanter veri tabanına bağlı olduğu süper marketler ve birden fazla mağazaya sahip olan perakende satış firmaları; periyodik gözden geçirilen sistemlerine ise eldeki stok seviyesini belirlemek için her hafta veya ay sonu fiziksel depo sayımı yapan ve envanter seviyelerinin düşük olduğu küçük marketler örnek olarak gösterilebilir.

1.3.6. Planlama Ufku

Envanter kontrol planının kapsadığı toplam zaman dilimini ifade eden planlama ufku, sonlu veya sonsuz bir yapıya sahip olabilir. Genellikle envanter kalemlerinin özellikleri planlama ufkunun kapsayacağı sürenin belirlenmesinde etkili olmaktadır (Sharma, 2006). Ancak planlama ufkunun gereğinden kısa veya uzun olması envanter kontrolünde birtakım problemlerin ortaya çıkmasına neden olabilir. Planlama ufkunun uzun olduğu, özellikle bir yıldan fazla bir süreci kapsadığı durumlar için maliyetin zaman değerinin de dikkate alınması gereklidir (Johnson ve Montgomery, 1974). Ayrıca, planlama ufku uzadıkça gelecekteki

talep tahminlerinin hatalı olması da muhtemeldir. Öte yandan, planlama ufku çok kısaysa envanter kontrol planında belirlenen satın alma veya üretim miktarları planlama ufkunun ötesindeki talebi karşılamak için yeterli olmayacaktır. Bu nedenle planlama ufkunun seçimi üretim ve envanter kontrol planının yararlılığının belirlemede oldukça önemli bir rol oynamaktadır (Nahmias, 2009).

1.3.7. Ürün Sayısı ve Ürüne Ait Özellikler

Klasik envanter kontrol modelleri genellikle tek bir ürün ile ilgilenmektedir. Çok ürünlü envanter kontrol modellerinde ise problemin karmaşıklığı, tek ürünlü modellere göre daha fazladır. Ayrıca çok ürünlü envanter problemlerinde ürünlerin birbirinden bağımsız olduğu veya birbiriyle ilişkili olduğu şeklinde varsayımlar da yapılmaktadır.

Envanter kontrol politikaları oluşturulurken göz önünde bulundurulması gereken bir diğer faktör ise stoklanan ürünün özellikleri ile alakalıdır. Ürünler fiziksel özelliklerine göre farklılık gösterebilir. Bunun yanı sıra, ürünün modasının geçmesi veya değer kaybetmesi de önemli bir konudur. Bu durum genellikle ürün yaşam eğrisinin kısa olduğu teknoloji ürünleri için geçerlidir. Ayrıca, envantere bulunan birçok ürünün zaman içinde değişim göstermesi de mümkündür. Örneğin, gıda ürünleri gibi raf ömrü kısa olan envanter kalemlerinin dikkatli bir şekilde kontrol edilmesi gerekmektedir. İkame ürünlerin bulunduğu sistemlerde ise talep tahmini yapmak oldukça güçtür (Muckstadt ve Sapra, 2010).

1.3.8. Kapasite

Belirli bir süre içerisinde arzulanan mamullerin hepsini üretmek, satın almak veya stoklamak mümkün olmadığında envanter kontrol problemine kapasite kısıtı da eklenmiş olur. Depo hacminin yeterli olmaması, maksimum/minimum miktarlarda satın alma veya üretim yapma zorunluluğu ve stoklara bağlanacak sermaye miktarının belirli olması gibi kısıtların bulunduğu envanter modelleri kapasite kısıtlı modeller olarak adlandırılmaktadır (Hadley ve Whitin, 1963). Klasik

envanter kontrol modellerinde genellikle kapasite kısıtlamaları göz ardı edilmektedir.

1.3.9. Servis Düzeyi

Daha öncede belirtildiği üzere, elde bulundurmama maliyeti müşteri talebinin karşılanmamasından dolayı işletmenin itibar kaybetmesi gibi maddi olmayan bazı maliyet unsurlarını da kapsamaktadır. Söz konusu maddi olmayan unsurlar, elde bulundurmama maliyeti için doğru bir tahmin yapılmasını zorlaştırabilir. Genellikle böyle durumlar için elde bulundurmama maliyeti yerine servis düzeyi kısıtı kullanılmaktadır.

Servis düzeyi, müşteri talebinin karşılanma olasılığını ifade eder. Servis düzeyinin %100 olması, müşteri talebinin her zaman karşılandığı anlamını taşımaktadır. Ancak birçok işletme ve piyasadaki birçok ürün için müşteri talebinin her zaman karşılanması oldukça zordur. Bu nedenle işletmeler servis düzeyini belirlerken daha makul değerler seçmektedir (Tersine, 1988).

2. BÖLÜM

YENİDEN ÜRETİM SİSTEMLERİNDE ENVANTER KONTROLÜ

Üretim, insanlık tarihi boyunca büyük bir servet kaynağı olmasına rağmen dünyanın sınırlı kaynaklarını tüketmiş ve ürünlerin kullanımı sonrasında oluşan atıklar çevreye büyük zararlar vermiştir. Son yıllarda artan yasal düzenlemeler ve sosyal baskılar ise üreticileri kurumsal imajlarını korumaları için çevresel konularda daha duyarlı olmaya zorlamıştır. Ayrıca küresel rekabet ortamı, sürekli değişen müşteri talepleri ve hızla azalan doğal kaynaklar daha düşük maliyetle daha kaliteli ürünler üretmeyi gerektirmiş ve bunun sonucunda da üreticiler, ürettikleri ürünleri geri alma ve yeniden üretme stratejilerini kullanmaya başlamışlardır. Bu durum ürünlerin üreticiden tüketiciye doğru ilerlediği ileri bir akışın yanı sıra, tüketiciden üreticiye doğru ilerlediği geri bir akışın da ortaya çıkmasına sebep olmuştur.

Yeniden üretim, genellikle, sökme, temizleme, test etme, parça değiştirme, tamir etme ve yeniden montaj işlemlerinden oluşur ve kullanılmış ürünlerin bu işlemlerin bir kısmından veya tamamından geçirilmesinin ardından yeni üretilen ürünlerle özdeş bir hale gelmesini sağlar. Buradaki özdeş kavramı, yeniden üretimi diğer ürün geri kazanım türlerinden ayırmaktadır (Teunter ve diğerleri, 2006).

Thierry ve diğerleri (1995), ürün geri kazanım türleri arasındaki farkları incelemiştir. Tamir, ürün yenileştirme, yeniden üretim, üründen parça alma ve geri dönüşüm olmak üzere beş ürün geri kazanım türünün bulunduğu bir tedarik zinciri Şekil 2'de gösterilmektedir. Söz konusu geri kazanım türlerinden tamir, ürün yenileştirme ve yeniden üretim opsiyonları dönen ürünü teknoloji ve kalite açısından iyileştiren opsiyonlardır. Bu üç opsiyon arasındaki temel fark ise ürünün iyileştirilme derecesinden kaynaklanmaktadır. Tamir etme opsiyonundaki amaç dönen ürünün çalışır hale getirilmesini sağlamak olduğundan, bu opsiyon sınırlı miktarda söküm ve yeniden montaj işlemi gerektirir. Ürün yenileştirme opsiyonunda ise eski parçalar teknolojik açıdan üstün olanlarla değiştirilir. Bu

Kodak firması, tek kullanımlık kameraları için başlattığı yeniden üretim programı ile dünya çapında %60 civarında ürün geri dönüşü sağlamıştır. Firma, yeniden ürettiği parçaların kullanıldığı tek kullanımlık kameralar ile bu parçaların hiç kullanılmadığı yani geleneksel üretimle üretilmiş kameralar arasındaki ayırımın müşteriler tarafından yapılamadığını belirtmiştir. Başka bir örnek olarak Xerox firması, kullanılmış yazıcı kartuşları için yapılan testler sonucunda yeniden üretilen ürünlerin, geleneksel üretim ile üretilen ürünlerle aynı performansa sahip olduğunu gözlemlediğini belirtmiş ve yeniden kullanım programları sayesinde milyonlarca kilogramlık çöp alanının ortaya çıkmasının engellendiğini de raporlamıştır (Guide ve Van Wassenhove, 2002)

Üretim ve yeniden üretim özdeş ürünler üretilmesini sağlayan iki alternatif kaynak olduğundan ve eşzamanlı olarak kontrol edilmeleri gerektiğinden bu sistemler özellikle üretim ve envanter kontrolünde yeni zorlukların ortaya çıkmasına neden olmuştur (Teunter ve diğerleri, 2006). Bu tip sistemler için geleneksel envanter kontrol yöntemlerinin uygulanabilirliği ise oldukça kısıtlıdır (Van Der Laan ve diğerleri, 1999). Bu nedenle yeniden üretim sistemleri için etkin envanter kontrol yöntemlerinin geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir.

Yeniden üretim sistemlerinde karşılaşılan en önemli problemlerden biri, klasik bir envanter problemi olan Ekonomik Parti Büyüklüğü Problemi (EPBP)'nin yeniden üretim sistemlerine uyarlanmasıdır. EPBP, en temel hali ile, sonlu bir planlama ufku boyunca dinamik ve deterministik talebe sahip olan tek bir ürün için sabit kurulum maliyeti ve elde bulundurma maliyetinden oluşan toplam maliyeti minimize edecek üretim ve envanter politikasının oluşturulmasını hedefler. EPBP, yeniden üretim sistemlerine uyarlandığında ise dönen ürünlerin de talep gibi dinamik ve deterministik bir yapıya sahip olduğu varsayılmaktadır. Ayrıca, yeniden üretim için sabit kurulum maliyeti ve dönen ürünler için elde bulundurma maliyetinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Söz konusu problem, bu tez çalışması kapsamında, benzer problemler için kullanılan jargonu takiben Geri Dönüşlü Ekonomik Parti Büyüklüğü Problemi (GD-EPBP) olarak adlandırılmıştır. Dönen ürün ve geri dönüş kavramları çalışma boyunca eş anlamlı olarak kullanılmıştır.

GD-EPBP, NP-zor karmaşıklık seviyesinde bir problemdir (Helmrich ve diğerleri, 2014). Bu nedenle problemin optimal çözümünün polinom zamanlı bir algoritma ile elde edilemeyeceği açıktır. Bunun yanı sıra, GD-EPBP’de hem talep hem de dönen ürün miktarının deterministik olduğunun yani planlama ufkunun başında kesin olarak bilindiğinin varsayılması, söz konusu problem için önemli bir kısıt teşkil etmektedir. Bu varsayımın gerçek hayat uygulamalarının birçoğu için geçerli olmayacağı açıktır. Bu nedenle belirsizliğin GD-EPBP’ye dahil edilmesi gerekir ve böylece talep ve dönen ürün miktarlarının stokastik olduğu varsayılmış olur.

GD-EPBP’yi hem deterministik hem de stokastik talep ve dönen ürün varsayımı altında ele alan çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalar ve yeniden üretim sistemlerinde envanter kontrol problemleri üzerine yapılmış diğer çalışmalar literatür taraması başlığı altında incelenecektir. Öte yandan bu tez çalışmasında GD-EPBP, talep ve geri dönüşlerin stokastik olduğu varsayımı altında ele alınmıştır. Problemin çözümü için bir sonraki bölümde geliştirilecek olan hesapsal açıdan verimli sezgisel algoritmanın temeli literatürde bulunan bazı anahtar çalışmalara dayanmaktadır. Bu nedenle genel bir literatür taraması verilmeden önce söz konusu anahtar çalışmalar ayrıntılı bir şekilde ele alınacaktır.

2.1. ANAHTAR ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen sezgisel algoritma, literatürde yaygın olarak bilinen Silver-Meal (SM) sezgiselinin stokastik ve durağan olmayan talep ve dönen ürün varsayımı altında yeniden üretim sistemlerine uyarlanması sonucunda ortaya çıkmıştır ve temel olarak literatürdeki üç çalışmaya dayanmaktadır. Bu çalışmaların ortak noktası SM sezgisel algoritmasıdır.

Anahtar çalışmaların ilki SM sezgiselinin önerildiği çalışmadır. SM sezgiseli, Edward Silver ve Harlan Meal (1973) tarafından geliştirilmiş bir algoritmadır ve periyot başına en düşük maliyet temeline dayanmaktadır. Söz konusu algoritma, diğer birçok parti büyüklüğü sezgiseli gibi sıralı bir yöntemdir. Bu sezgiselin ortaya çıkışı EPBP’nin optimal çözümünü elde etmek için kullanılan dinamik

programlama algoritmasının hesaplama karmaşıklığına dayanmaktadır. Dinamik programlama algoritması, sipariş kararı verirken uzak periyotların da talep bilgisine ihtiyaç duyduğundan ve tüm periyotlar için maliyet hesaplaması gerektirdiğinden, hesaplama hızı düşmektedir. Buna karşın daha az potansiyel hesaplama gerektiren SM sezgiseli, sipariş kararı verirken sadece gelecekteki birkaç dönemin bilgisine ihtiyaç duymaktadır (Silver, 1979). EPBP'nin çözümü için geliştirilen SM sezgiseli, basitliği ve sezgisel çekiciliği ile oldukça ilgi görmüştür (Silver ve Miltenburg, 1984). Yapılan testler sonucunda birçok durum için SM sezgiselin optimal çözüme olan uzaklığının %1'den az olduğu ve birçok kez de optimal çözümü verdiği belirlenmiştir (Silver ve diğerleri, 1998).

SM algoritması, N ile gösterilen sonlu bir planlama ufkunu zaman pencerelerine bölmeyi amaçlamaktadır. Zaman penceresi, k periyodunda başlayıp T periyodunda biten zaman aralığını ifade eder ve planlama ufkundaki her bir periyot sadece bir zaman penceresine atanabilir. Söz konusu zaman penceresi yapısında üretim siparişi sadece k periyodunda yani zaman penceresinin başında verilir. Diğer bir deyişle, zaman penceresi boyunca gerçekleşen talep k periyodunda verilen üretim siparişi ile karşılanır. Algoritma, ilk periyottan başlayarak, planlama ufkundaki son periyodu da içine alacak bir zaman penceresi oluşturana kadar tekrarlı bir şekilde çalışmaktadır. Nahmias (2009), algoritmayı aşağıdaki gibi özetlemiştir;

- d_n n . dönemdeki talep miktarı, $n = 1, \dots, N$
- K sabit kurulum maliyeti
- h periyot başına bir birim ürün elde bulundurma maliyeti
- Q sipariş miktarı

$C(k, T)$, k periyodunda verilen sipariş ile T periyodunun sonuna kadarki talebin karşılanması sonucunda katlanılan periyot başına maliyet olarak tanımlanmak üzere aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$C(k, T) = \frac{(\text{Sabit kurulum maliyeti}) + (\text{Toplam elde bulundurma maliyeti})}{T - k + 1} \quad (1)$$

Buna göre, eğer sadece 1. periyottaki talebi karşılamak için sipariş verilirse, elde bulundurma maliyeti ortaya çıkmayacaktır. İlgili maliyet, yalnızca sabit sipariş maliyetidir;

$$C(1,1) = K$$

Eğer 1. periyotta verilen sipariş hem 1. hem de 2. periyottaki talebi karşılayacaksa, bu durum 2. periyodun talebine karşılık gelen miktarda ürünün bir dönem stokta tutulmasını gerektirir;

$$C(1,2) = (K + hd_2)/2$$

Eğer 1. periyotta verilen sipariş hem 1. hem 2. hem de 3. periyottaki talebi karşılayacaksa, bu durum 2. periyodun talebine karşılık gelen miktarda ürünün bir dönem, 3. periyodun talebine karşılık gelen miktarda ürünün ise iki dönem stokta tutulmasını gerektirir;

$$C(1,3) = (K + hd_2 + 2hd_3)/3$$

O halde, periyot başına maliyet fonksiyonu (2) no'lu eşitlikteki gibi yazılabilir.

$$C(k,T) = \frac{(K + hd_2 + 2hd_3 + \dots + (T - k)hd_T)}{T - k + 1} \quad (2)$$

$C(k,T) < C(k,T + 1)$ koşulu sağlandığı yani periyot başına maliyetin en düşük olduğu noktada, sipariş miktarı $Q = d_1 + d_2 + \dots + d_T$ olacak şekilde belirlenir ve k periyodu $k = T + 1$ şeklinde güncellenerek, tüm planlama ufkunu kapsayacak üretim planlaması oluşturulana kadar algoritma çalıştırılır.

İkinci sıradaki anahtar çalışma Teunter ve diğerleri (2006)'ne aittir. Bu çalışma hem EPBP'nin hem de SM sezgiselinin yeniden üretim sistemlerine uyarlandığı ve SM sezgiselinin bu sistemlerdeki performansı hakkında geniş bilgi veren oldukça kapsamlı bir çalışmadır. Bu çalışmada EPBP, iki farklı kurulum maliyet planı için modellenmiştir. Söz konusu planlardan ilki üretim ve yeniden üretimin aynı üretim hattında gerçekleştiği ve aynı kaynakları kullandığı ortak kurulum

maliyet yapısıdır. Diğeri ise üretim ve yeniden üretim için farklı üretim hatlarının kullanıldığı ayırık kurulum maliyet yapısıdır. Çalışmada her iki yapının da optimal üretim planını hesaplamak için karma tamsayılı programlama tabanlı matematiksel modelleri ortaya konulmuştur. Bu çalışmadaki ayırık kurulum maliyet yapısı, EPBP'nin yeniden üretim sistemlerine uyarlanmasıdır. Diğeri bir ifade ile GD-EPBP'nin karşılığıdır. Yazarlar, ayırık kurulum maliyet yapısı için problemi NP-zor olarak kabul etmiş ve bu problemin etkin bir şekilde çözülebilmesi için sezgisel bir yöntemle duyulan ihtiyacın büyük önem taşıdığını belirtmiştir. Bu nedenle literatürde yaygın olarak bilinen polinom zamanlı sezgisel algoritmalarından SM, En Düşük Birim Maliyet ve Parçalı Dönem Dengeleme sezgiselleri ürün dönüşlerini de kapsayacak şekilde ayırık kurulum maliyet planına adapte edilmiş ve kapsamlı sayısal analizler yapılarak söz konusu sezgisellerin karma tamsayılı programlama modeli ile performansları kıyaslanmıştır. Nümerik çalışma sonucunda, optimal çözüme olan yüzdesel uzaklığının %8,3 olduğu belirlenen SM sezgisel algoritması diğeri sezgisel algoritmalara göre daha iyi sonuç vermiştir. Yazarlar, ayırık kurulum maliyet yapısı için uyarlanan sezgisel yöntemin geliştirilebileceğini ifade edilerek daha fazla araştırma için kapıları açmıştır. Söz konusu çalışmada, SM algoritması ayırık kurulum maliyeti yapısına adapte edilirken iki farklı opsiyon göz önünde bulundurulmuştur:

- Opsiyon 1: Sadece üretim siparişi ver,
- Opsiyon 2: Önce yeniden üretim siparişi ver, gerekirse üretim siparişi ver.

Bu opsiyonları kullanarak, bir önceki sayfada SM sezgiseli için yapıldığı gibi maliyet fonksiyonları hesaplanmakta ve zaman penceresi uzunluğu belirlenmektedir.

Anahtar çalışmaların sonuncusu ise Askin (1981)'e aittir. Askin (1981), üretim ve envanter sistemlerinde genel olarak talebin stokastik yapıda olduğunu ve stokastik ve durağan olmayan talep varsayımı altında EPBP'nin optimal çözümünün ancak kapsamlı hesaplamalarla elde edilebileceğini belirtmiştir. Söz konusu hesaplama karmaşıklığı nedeniyle problemin çözümü için sezgisel

yaklaşımları kullanmanın daha uygun olduğunu ifade eden yazar, SM sezgiselini stokastik ve durağan olmayan talep varsayımı altında ve sipariş yükseltme seviyesi politikası ile birlikte kullanarak alternatif bir sezgisel algoritma ortaya koymuştur. Bu algorithmada beklenen maliyetin hesaplanabilmesi için planlama ufku boyunca her periyoda ilişkin talep miktarının beklenen değerinin ve varyansının bilindiği varsayılmıştır.

Bu başlık altında incelenen üç anahtar çalışmadan Askin (1981) ve Teunter ve diğerleri (2006), SM sezgiselini uyarlamaları konusunda ortakdır. Ancak Askin (1981), SM sezgiselini stokastik talep varsayımı altında üretim sistemleri için uyarlarken, Teunter ve diğerleri (2006) ise deterministik talep ve dönen ürün varsayımı altında yeniden üretim sistemlerine uyarlamıştır. Literatürde SM sezgiselinin talep ve dönen ürün miktarlarının stokastik ve durağan olmayan bir yapıda olduğu varsayımı altında yeniden üretim sistemlerine uyarlanması ile ilgili olan bir boşluk bulunmaktadır. Bu boşluğun yukarıda incelenen anahtar çalışmaların temeline dayandırılarak bu tez çalışması kapsamında doldurulması hedeflenmektedir.

2.2. LİTERATÜR TARAMASI

2000'li yılların başından beri yeniden üretim ve ürün geri kazanımına ilişkin bilimsel literatür hızlı bir şekilde artmaktadır. Konu üzerine yapılmış literatür taraması çalışmalarından, tersine lojistik modelleri hakkında kapsamlı bir tartışma Fleischmann ve diğerleri (1997)'ne aittir. Gungor ve Gupta (1999) ise çevreye duyarlı üretim ve ürün geri kazanımı üzerine yapılan çalışmaların mümkün olduğunca hepsini ele almış ve söz konusu çalışmaları tartışmalarına göre kategorize etmiştir. Guide (2000), yeniden üretimin çeşitli endüstrilerde yapılan uygulamalarını derlemiş ve üretim planlama ve kontrol faaliyetlerinde önemli değişiklikler gerektiren yedi komplike özelliğini tartışmıştır. Ayrıca, söz konusu özelliklerin her biri için var olan araştırma fırsatlarını da incelemiştir.

Yeniden üretim sistemlerinde envanter kontrolü alanında gerçekleştirilen çalışmalar temel olarak, ürün akışlarının yalnızca üreticiden tüketiciye doğru

ilerlediği üretim sistemlerini ele alan klasik envanter problemlerinin, tüketiciden üreticiye dönen ürünleri ve yeniden üretimi de dikkate alacak şekilde yeniden uyarlanmasına odaklanmaktadır. Söz konusu problemlerin deterministik veya stokastik varsayım altında ele alınması büyük önem teşkil ettiğinden, literatürdeki çalışmalar iki başlık altında incelenebilir. Bu doğrultuda önce talep ve dönen ürünlerin kesin olarak bilindiğini varsayan deterministik çalışmalara, ardından talep ve dönen ürünlerin rassal yapıda olduğunu varsayan stokastik çalışmalara yer verilecektir.

2.2.1. Deterministik Yaklaşımlar

Deterministik çerçevede yapılan çalışmalar genel olarak EPBP'nin yeniden üretim sistemlerine uyarlanması üzerine yoğunlaşmıştır. Söz konusu çalışmaların özeti aşağıda sunulmaktadır.

Richter ve Sombrutzki (2000), problemi talebi karşılamaya yetecek büyüklükte dönen ürünün bulunduğu özel bir durum için ele almıştır. Diğer bir ifadeyle tüm talebin yalnızca dönen ürünleri yeniden üretmekle karşılanabileceği varsayılmış ve dolayısıyla üretim opsiyonu dikkate alınmamıştır. Yazarlar, geliştirdikleri algoritma ile problemin söz konusu özel durum için polinom zamanda çözülebildiğini göstermişlerdir. Problemin özel bir durumunun ele alındığı bu çalışmada, problemin genel halini çözmek için muhtemelen basit bir algoritmanın olmadığı ve söz konusu problemin yeni bilimsel çalışmalar için önemli bir hedef teşkil ettiği ifade edilmiştir. Bu çalışma Richter ve Weber (2001) tarafından üretim ve yeniden üretim değişken maliyetlerinin modele dahil edilmesi ve üretim opsiyonunun da dikkate alınmasıyla genişletilmiştir. Ancak sonuçlar planlama ufkunun başındaki dönen ürün miktarının en azından planlama ufkundaki toplam talep kadar olduğu durumlar için türetilmiştir. Diğer bir ifadeyle, bu çalışmada üretim opsiyonu sadece dönen ürünleri elde bulundurma maliyetinin çok yüksek olduğu durumlarda uygulanacak bir opsiyon olarak değerlendirilmiştir.

Golany ve diğerleri (2001), dönen ürün miktarı üzerinde herhangi bir kısıtlama yapmadan ve dönen ürünleri elden çıkarma opsiyonunu da modele dahil ederek

problemi incelemiştir. Buna göre, her periyotta dönen ürünlerin ne yapılacağına dair üç opsiyon bulunmaktadır: (i) dönen ürünlerin elden çıkarılması, (ii) dönen ürünlerin gelecekte kullanılabilme ihtimaline karşı envanterde tutulması ve (iii) dönen ürünlerin yeniden üretilmesi. Yazarlar, problemi ağ akış problemi şeklinde formüle etmiş ve genel konkav maliyetler için problemin NP-zor olduğunu ispatlamıştır. Problemin doğrusal maliyetli özel bir durumu için ise polinom zamanlı bir algoritma geliştirilmiştir. Bu çalışma Yang ve diğerleri (2005) tarafından yeniden ele alınmış ve bu kez problemin genel hali için de polinom zamanlı bir algoritma ortaya konulmuştur.

Problemi dönen ürünlerin elden çıkarılması opsiyonu ile ele alan bir başka çalışma ise Beltran ve Krass (2002)'a aittir. Ancak bu çalışmada dönen ürünlerin hiçbir işleme tabii tutulmadan direk kullanılabilir ürün envanterine aktarıldığı varsayıldığından, yeniden üretim opsiyonu dikkate alınmamıştır.

Pineyro ve Viera (2009), problemi üretim, yeniden üretim ve elden çıkarma opsiyonlarına ilişkin alt problemlere ayırıp, bu alt problemlerin her birini ayrı ayrı çözen politikalar önermiştir. Pan ve diğerleri (2009) ise anahtar çalışmalar başlığı altında incelenen Teunter ve diğerleri (2006)'nin çalışmasını ürünleri elden çıkarma opsiyonunu da göz önünde bulundurarak genişletmiştir. Yazarlar bu çalışmada ayrıca üretim, yeniden üretim ve elden çıkarma opsiyonlarının kapasiteleri üzerine kısıtlamalar koymuştur.

Schulz (2011), Teunter ve diğerleri (2006)'nin ayrık kurulum maliyet yapısı için SM sezgiselini iki opsiyon göz önünde bulundurarak uyarlamasından dolayı bu uyarlamayı SM_2 sezgiseli olarak tanımlanmıştır. Yazar, SM_2 sezgiseline iki opsiyon daha ekleyerek, dört opsiyondan oluşan bu genelleştirilmiş SM sezgiselini ise SM_4 olarak adlandırmıştır. Yapılan nümerik çalışma sonucunda SM_2 için %7,5 olarak hesaplanan optimal çözüme olan yüzdesel uzaklığın, SM_4 ile %6,1'e indirildiği tespit edilmiştir. Çalışmada, ayrıca, SM_4 sezgiseline eklenen iyileştirmelerle sezgiselin performansı önemli ölçüde artırılarak, optimal çözüme olan yüzdesel uzaklık yarı yarıya azaltılmıştır.

Helmrich ve diğ erleri (2014), Teunter ve diğ erleri (2006)'nin ayrık kurulum maliyet planı için problemi NP-zor varsaymasından yola çıkarak ayrık kurulum maliyet planının NP-zor olduğunu ispatlamıştır. Ayrıca, Teunter ve diğ erleri (2006) tarafından geliştirilen karma tamsayılı programlama modellerine odaklanarak, bu modellerde bulunan "Büyük M" kısıtlarının doğrusal programlama gevşeme zamanlarına kötü etki edeceğini ve bunun sonucunda da çözüm sürelerinin uzayacağını belirtmiştir. Bu nedenle söz konusu karma tamsayılı programlama modellerini iyileştirmek için bir dizi alternatif karma tamsayılı programlama modeli geliştirmiştir. Baki ve diğ erleri (2014), ayrık kurulum maliyet yapısı için literatürde var olan karma tamsayılı programlama modeline karşılık daha dar sınırlar üretebilen yeni bir karma tamsayılı programlama modeli geliştirmiş ve geliştirilen bu model için sezgisel çözüm algoritmasını da ortaya koymuştur.

X. Li ve diğ erleri (2014), ayrık kurulum maliyet planı için problemin NP-zor olmasından dolayı optimal sonuca yakın sonuçlar üreten üst-sezgisel algoritmaları kullanmıştır. Bu çalışmada söz konusu problem için "tabu arama" tabanlı bir çözüm algoritması geliştirilmiştir. Problemin çözümünde üst-sezgisel yaklaşımları kullanan diğ er çalışmalar Sifaleras ve diğ erleri (2014) ve Parsopoulos ve diğ erleri (2015)'ne aittir. Sifaleras ve diğ erleri (2014), daha önce literatürde söz konusu problemin çözümü için uygulanmamış olan Değişken Komşu Arama yöntemini uygularken, Parsopoulos ve diğ erleri (2015) ise Diferansiyel Gelişim Algoritması'nı kullanmıştır.

Yukarda detaylı bir şekilde incelenmiş olan ve EPBP'yi yeniden üretim sistemlerinde ele alan deterministik çalışmaların temel eksikliği yeniden üretim sistemlerinde karşılaşılan en büyük zorluklardan biri olan talep ve geri dönüş miktarlarındaki belirsizliği göz ardı etmeleridir.

2.2.2. Stokastik Yaklaşımlar

Yeniden üretim sistemlerindeki planlama ve kontrol faaliyetleri, geleneksel üretim sistemlerindeki planlama ve kontrol faaliyetlerden büyük ölçüde farklılık göstermektedir. C. Li ve diğ erleri (2009), bu farklılığın neden kaynaklandığını

ifade edebilmek için üretim sistemini girdi ve çıktıdan oluşan bir süreç olarak ele almıştır. Yazarlar hem yeniden üretim hem de geleneksel üretim sistemleri için talebin belirsiz olduğunu ve bu iki sistem arasındaki asıl farkın sistem girdilerinden kaynaklandığını belirtmiştir. Buna göre geleneksel üretim sisteminin girdileri tedarik süresi ve ne kadar ürün üretilceğinin belirlenmesi iken, yeniden üretim sisteminin girdileri tamamen belirsizdir. Bu belirsizlik ürün iadelerinden kaynaklanan belirsizlikler, dönen ürün ve talep oranlarını arasındaki dengesizlikler ve ürünlerin hangi kalite düzeyinde döneceğinin bilinmemesi gibi nedenlerden kaynaklanmaktadır. Bu doğrultuda, yeniden üretim sistemlerindeki envanter kontrol problemleri için geliştirilen matematiksel yöntemlerde stokastik talep ve geri dönüşlerin göz önünde bulundurulması, bu yöntemlerin gerçek hayattaki uygulanabilirliği açısından oldukça önemlidir.

Yeniden üretim sistemlerindeki stokastik envanter kontrol problemleri üzerine literatürde yer alan birçok çalışma bulunmaktadır. Aşağıda bu çalışmaların bir özeti sunulmuştur.

Simpson (1978), stokastik talep ve dönen ürün varsayımı altında, basit yapıda bir envanter politikası ile, sabit kurulum maliyetinin dikkate alınmadığı bir sistemin optimal olarak kontrol edilebileceğini göstermiştir. Inderfurth (1997) ise üretim ve yeniden üretim tedarik sürelerini de modele dahil ederek, tedarik sürelerinin eşit olduğu durumda Simpson (1978)'un geliştirdiği politikanın hala optimal olduğunu göstermiştir. Ancak tedarik sürelerinin farklı olması durumunda modelin boyutunun büyümesinden dolayı, basit politika yapılarının engellendiğini ifade etmiştir.

Van Der Laan ve diğerleri (1999)'ne ait olan başka bir çalışma ise, büyük bir fotokopi makinesi üreticisi için gerçekleştirdikleri bir danışmanlık projesi ile başlamıştır. Yazarlar, hibrit sistemlerde dönen ürünlerin mümkün olan en kısa sürede yeniden üretildiği itme stratejisini ve dönen ürünlerin uygun olan en geç sürede yeniden üretildiği çekme stratejisini analiz edebilmek için bir metodoloji sunmuştur. Yapmış oldukları nümerik çalışmada önce geleneksel üretim sistemleri ile yeniden üretimin mümkün olduğu sistemleri, ardından da itme ve çekme sistemlerini birbirleriyle kıyaslanmışlardır. Toktay ve diğerleri (2000) ise

yeniden üretim sistemlerindeki stokastik envanter kontrol problemini Kodak firmasının tek kullanımlık fotoğraf makinesi çerçevesinde ele almıştır. Bu çalışmada, tek kullanımlık fotoğraf makinesi tedarik zinciri altı düğümden oluşan kapalı bir kuyruk ağı şeklinde modellenmiş ancak problemin optimal çözümünün son derece zor ve karmaşık olmasından dolayı sezgisel bir prosedür geliştirilmiştir.

Stokastik talep ve dönen ürün varsayımı altında envanter kontrolünü ele alan bir diğer çalışma ise Kiesmüller ve Scherer (2003)'e aittir. Yazarlar bu çalışmada, üretim ve yeniden üretim tedarik sürelerinin eşit ve deterministik bir yapıda olduğunu varsaymış ve problemi iki şekilde modellemiştir. İlk model dönen ürünlerin envantere tutulmasının mümkün olmadığı ve dolayısıyla dönen ürünler için sadece yeniden üretim ve elden çıkarma opsiyonlarının olduğu modeldir. Diğer bir ifade ile birinci model için sadece kullanılabilir ürün envanteri söz konusudur. İkinci modelde ise dönen ürün envanteri de sisteme dahil edilmiştir. Bu çalışmada, iki modelin de optimal kontrol politikasının tam olarak hesaplanması için gerekli formüller türetilmiş, ayrıca stokastik talep ve dönen ürün varsayımı altında problemin çözümü zaman alıcı olduğundan, biri dinamik programlama problemindeki değer fonksiyonuna diğeri ise deterministik modele dayanan iki kestirim politikası geliştirilmiştir.

Kiesmüller (2003), problemi ayrıca üretim ve yeniden üretim tedarik sürelerinin farklı olduğu bir durumda da incelemiştir. Böyle bir sistemin doğrusal maliyet modeli için optimal kontrol politikası bilinmediğinden, literatürde kullanılmış olan sezgisellere ek olarak yeni bir yöntem geliştirmiştir. Yazar, söz konusu yöntemde üretim ve yeniden üretim kararlarını bir envanter pozisyonuna dayandırmak yerine, farklı tedarik süreleri ilişkileri için farklı şekillerde tanımlanmış iki envanter pozisyonuna dayandırmıştır. Diğer bir ifade ile bu yaklaşımın kilit noktası, üretim ve yeniden üretim sipariş kararlarında kullanılan bilgilerdir. Çalışmada, yeniden üretim tedarik süresinin üretim tedarik süresinden uzun olduğu ve üretim tedarik süresinin yeniden üretim tedarik süresinden uzun olduğu iki durum analiz edilmiştir. Yazar, geliştirdiği yöntemin özellikle tedarik sürelerinin birbirinden

oldukça farklı olduğu durumlarda dikkat çekici iyileştirmelere yol açtığını ifade etmiştir.

Mahadevan ve diğerleri (2003), poisson sürecine göre dönen ürün akışı olan ve helikopterlerde kullanılan yük kancalarının yeniden üretimini yapan bir işletmeyi incelemiştir. Yazarlar, problemin çözümü için geleneksel envanter modellerine dayalı üç adet sezgisel yöntem geliştirmiştir. Ayrıca optimal çözüm için yaklaşık alt ve üst sınırlar da elde edilmiştir. Üretim ve yeniden üretim sistemlerinin hem ortak hem de ayrık olarak modellendiği bu çalışmada, ayrık modellemeye sahip sezgiselin daha iyi performans gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Problemi farklı bir boyuttan ele alan başka bir çalışma ise Vlachos ve Dekker (2003)'e aittir. E-ticaret veya posta yolu ile yapılan satışlarda müşterinin ürünü iade etme hakkına sahip olmasından dolayı fazla miktarda ürünün geri döndüğü ifade edilen bu çalışmada, tek dönemlik sipariş kararları için gazeteci çocuk problemi uyarlanmıştır. Bu uyarlamada dönen ürünleri yeniden kullanma veya kullanmama durumları çeşitli opsiyonlar altında incelenmiştir.

Van Der Laan ve Teunter (2006), yeniden üretim faaliyetinin üretim faaliyetinden daha düşük maliyetli olduğu bir sistemi kontrol etmek için (s, Q) geleneksel envanter politikasının belirli uzantılarını kullanmıştır. Bu çalışmada maliyet minimizasyon hedefi altında optimal politika parametrelerinin kestirimini yapmak için basit formüller sunulmuştur. C. Li ve diğerleri (2009) ise sadece yeniden üretimin söz konusu olduğu bir sistemin kendi ülkelerindeki üretim ve envanter kontrol sistemine daha uygun olduğunu ifade etmiş ve bu sistem için stokastik dinamik programlama tabanlı bir model oluşturmuştur.

Ahiska ve King (2010a), yeniden üretim sistemini Markov karar süreçlerini kullanılarak modellemiş ve çeşitli maliyet yapılandırmaları ve farklı tedarik sürelerinin dikkate alındığı ampirik bir çalışma yapmıştır. Böylece maliyet parametrelerindeki değişikliklerin politika yapısı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Benedito ve Corominas (2013) ise talep ve dönen ürünlerin bağımlı değişkenler olduğunu varsaymış ve en uygun üretim politikasını elde etmek için Markov karar

problemi oluşturulmuştur. Ayrıca optimal sonuca yakın sonuç veren bir model ortaya konularak optimal politika ile performansları kıyaslanmıştır.

Ürünlerin hangi kalite düzeyinde üreticiye döneceğinin bilinmemesi yeniden üretim sistemlerinde karşılaşılan en önemli belirsizliklerden biri olduğundan, Panagiotidou ve diğerleri (2017), dönen ürünlerin yeniden üretilebilirliği hakkında bilgi sahibi olmanın envanter kontrol kararlarında belirleyici bir rol oynayacağını ifade ederek, dönen ürünlerin kalitelerine göre sınıflandırıldığı bir sistemi ele almıştır.

Stokastik yaklaşım başlığa altında buraya kadar incelenen çalışmalarda önerilen yöntemler, (i) talep ve dönen ürün miktarlarının planlama ufku boyunca stokastik ancak durağan bir yapıda olduğunun varsayılmasından ve/veya (ii) üretim ve yeniden üretim kurulum maliyetlerinin envanter kontrol problemlerine dahil edilmemesinden ötürü gerçek hayat uygulamalarındaki birçok ürün ve işletmenin envanter planlaması için uygun olmayacaktır. Hızla değişen müşteri tercihleri ve teknolojik gelişmeler nedeniyle ürün yaşam ömrü kısaldığından, talebin durağan olduğunun varsayılması dönemsellik ve mevsimselliklerin dikkate alınmaması anlamına gelmektedir. Diğer taraftan, üretim ve yeniden üretimin farklı üretim hatlarında gerçekleştirildiği ve söz konusu faaliyetlerin masraflı olduğu sistemlerde sabit kurulum maliyetlerinin envanter kontrol kararlarını etkileyeceği ve envanter kontrol problemlerine dahil edilmesi gerektiği açıktır. Bütün bu nedenlerden dolayı bu tez çalışması kapsamında talep ve dönen ürünlerin stokastik ve durağan olmayan bir yapıda olduğu varsayılmış ve üretim ve yeniden üretim sabit kurulum maliyetleri de bir sonraki bölümde ele alınacak envanter kontrol problemine dahil edilmiştir.

Literatürde sabit kurulum maliyetlerini de envanter kontrol problemine dahil ederek ve problemi stokastik ve durağan olmayan talep ve dönen ürün varsayımı ile ele alan çalışmalar oldukça azdır. Bu çalışmalardan biri Ahiska ve King (2010b)'e aittir. Yazarlar, söz konusu problemi talep ve dönen ürünlerin, ürün yaşam eğrisinin bir aşamasından diğerine geçtikçe farklı bir dağılıma sahip olduğu varsayımı ile ele almaktadır. Bu çalışmada problem, her biri ürün yaşam eğrisinin bir aşamasına karşılık gelen birkaç durağan probleme yaklaştırılmış ve

eğrinin her aşaması için sezgisel bir politika uyarlanmıştır. Bu yaklaşım pratik olmakla birlikte, ürün yaşam eğrisinin aşamalarının nispeten geniş olduğu, diğer bir ifade ile planlama ufkunun uzun bir süreci kapsadığı durumlarda çalışabilir.

Söz konusu problemi inceleyen başka bir çalışma ise Hilger ve diğerleri (2016)'ne aittir. Bu çalışmada problem, beklenen stoksuz kalma miktarının beklenen talep miktarının belirli bir oranını geçemeyeceğini garanti eden bir servis düzeyi kısıtı ile ele alınmaktadır. Yazarlar, problemi tüm sipariş kararlarını planlama ufkunun başında verilecek şekilde modellemişlerdir. Bu nedenle bu çalışmada ortaya konulan yaklaşım zaman içinde gerçekleşen talep ve ürün dönüşlerine tepki gösteremeyecek niteliktedir.

Son olarak Kilic, Tunc ve Tarim (ön makale), GD-EPBP'yi talep ve dönen ürün miktarlarının stokastik ve durağan olmayan bir yapıda olduğu varsayımı altında ve servis düzeyi kısıtlamaları ile ele almıştır. Yazarlar bu çalışmada problemin çözümü için iki sezgisel politika önermiş ve önerilen bu politikaların parametrelerini hesaplayabilmek için kesinlik eşdeğeri karma tamsayılı programlama modeli geliştirmiştir.

3. BÖLÜM

STOKASTİK TALEP VE GERİ DÖNÜŞLÜ EKONOMİK PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ PROBLEMİ

Bu bölümde, talep ve dönen ürün miktarlarının stokastik olduğu ve dönen ürünlerin yeniden üretilebildiği sistemler için ekonomik parti büyüklüğü problemi ele alınacaktır. Bunun için öncelikle problemin tanımına yer verilecek, ardından problemin çözümü için hesapsal açıdan verimli sezgisel bir algoritma ortaya konulacaktır. Problemin optimal çözümüne makul sürelerde ulaşmak zor olduğundan, önerilen algoritmanın performansı ile ilgili bulgulara ulaşmak amacıyla deterministik problemin karma tamsayılı programlama modelinden yararlanılacaktır. Bu amaçla deterministik problemin karma tamsayılı programlama modeli, stokastik yaklaşım için sezgisel bir yöntem olarak kullanılmıştır. Son olarak, önerilen algoritmanın işlemsel etkinliği ile ilgili elde edilen bulgular tartışılarak bölüm sonlandırılacaktır.

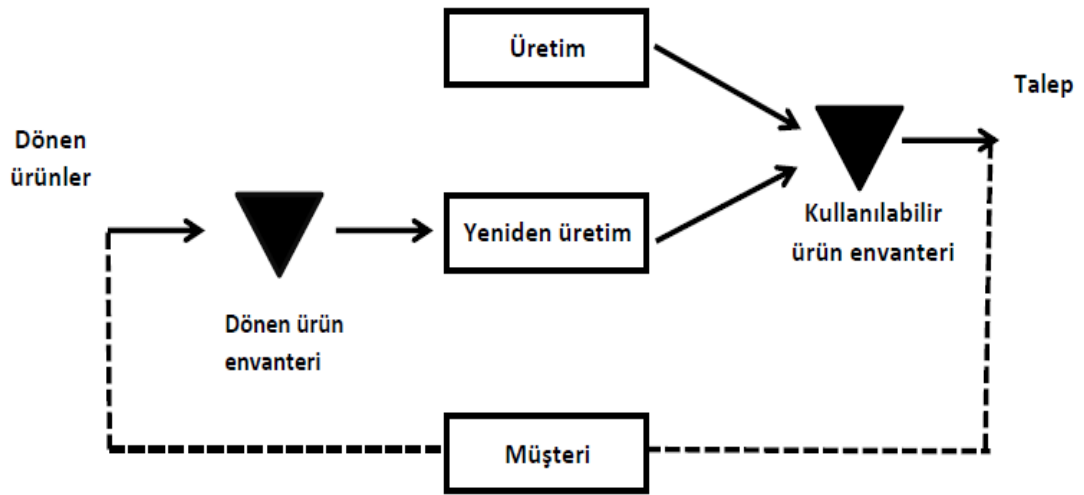
3.1. PROBLEMİN TANIMI

Problemde N periyoda sahip sonlu bir planlama ufku boyunca tek bir ürün üretimi yapan bir işletme ele alınmıştır. İşletmenin amacı ne zaman ve ne kadar üretim ve yeniden üretim yapılacağına karar vererek, planlama ufku boyunca oluşacak toplam maliyetlerin beklenen değerini minimize edecek envanter politikasını belirlemektir. Maliyet kalemleri; üretim ve yeniden üretim için sabit kurulum maliyetleri, kullanılabilir ürünler ve dönen ürünler için elde bulundurma maliyetleri ve elde bulundurmama maliyetinden oluşmaktadır.

İşletme, her müşterisine bozulması veya daha fazla kullanılamayacak hale gelmesi durumunda ürünü iade etme imkânı vermektedir. Müşterilerden dönen bu ürünler yeniden üretilerek, yeni üretilen ürünlerle özdeş bir hale getirilir ve yeni ürünlerle aynı kalite standartlarına sahip olur. Böylece bu sistemde talep hem yeni ürünler üreterek hem de müşterilerden dönen ürünleri yeniden üreterek

karşılatabilmektedir. Talep ve dönen ürün miktarı rassal değişkenlerinin normal dağılıma uyduğu, her bir periyottaki değerlerinin birbirinden bağımsız olduğu ve bu değişkenlerin her periyoda ait ortalamalarının ve varyanslarının bilindiği varsayılmaktadır. Ayrıca üretim ve yeniden üretim siparişleri farklı üretim hatları ve/veya kurulum faaliyetleri gerektirdiğinden, ayrık kurulum maliyeti yapısı kabul edilmiştir. Dönen ürünlerin yeniden üretilbildiği söz konusu sistemin taslağı Şekil 3'te gösterilmektedir.

Şekil 3. Geri Dönüşlü Envanter Sistemi



Kaynak: Teunter ve diğerleri (2006, s. 4382)

Buna göre $n = 1, \dots, N$ olmak üzere, planlama ufkunun n . periyodundaki olaylar dizisinin şu şekilde gerçekleştiği varsayılmaktadır. İlk olarak müşteriler tarafından işletmeye iade edilen ürünler sisteme girmekte ve dönen ürün envanterine aktarılmaktadır. Ardından ilgili siparişin sabit kurulum maliyetine katlanılarak üretim ve/veya yeniden üretim siparişleri verilmekte ve bu siparişler ile elde edilen kullanılabilir ürünler, kullanılabilir ürün envanterine aktarılmaktadır. n . periyot boyunca gerçekleşen talebin, periyodun başındaki kullanılabilir ürün envanter düzeyinden az olması durumunda birim kullanılabilir ürün elde bulundurma maliyetine h^s katlanılarak, n . periyodun sonundaki kullanılabilir ürün envanter

miktarı bir sonraki periyoda taşınacaktır. Bu durumun tam tersinin gerçekleşmesi yani n . periyot boyunca gerçekleşen talebin, periyodun başındaki kullanılabilir ürün envanter düzeyinden fazla olması durumunda ise stoksuz kalma maliyeti π ortaya çıkacak ve karşılanmayan talep gecikmeli olarak teslim edilecektir. n . periyodun sonundaki dönen ürün envanteri ise birim dönen ürün elde bulundurma maliyetine h^r katlanılarak bir sonraki periyoda taşınacaktır. Elde bulundurma maliyetleri ile ilgili olarak, yeniden üretimin dönen ürünlere değer kattığı bilindiğinden, kullanılabilir ürünleri elde bulundurma maliyetinin en azından dönen ürünleri elde bulundurma maliyeti kadar olması ($h^s \geq h^r$) varsayımı yapılmıştır.

Değişken maliyet probleme dahil edilmemiştir. Öte yandan, karmaşıklığı azaltmak adına kullanılabilir ürün ve dönen ürün giriş envanterleri ile sipariş tedarik süreleri sıfır olarak kabul edilmiştir.

3.1.1. Genel Notasyon

N	Planlama ufku
n	Planlama ufkundaki periyotların indeksi, $n = 1, \dots, N$
K^r	Yeniden üretim kurulum maliyeti
K^m	Üretim kurulum maliyeti
h^r	Periyot başına bir birim dönen ürün elde bulundurma maliyeti
h^s	Periyot başına bir birim kullanılabilir ürün elde bulundurma maliyeti
π	Periyot başına bir birim stoksuz kalma maliyeti

3.1.2. Sezgisel Algoritma için Notasyon

(k, T)	k periyodunda başlayıp T periyodunda biten zaman penceresi
----------	--

\bar{D}_n	n . periyottaki beklenen talep miktarı
\bar{R}_n	n . periyottaki beklenen dönen ürün miktarı
σ_n^D	n . periyottaki talep miktarının standart sapması
σ_n^R	n . periyottaki dönen ürün miktarının standart sapması
D_n	n . periyottaki rassal talep miktarı $\sim N(\bar{D}_n, (\sigma_n^D)^2)$
R_n	n . periyottaki rassal dönen ürün miktarı $\sim N(\bar{R}_n, (\sigma_n^R)^2)$
$\bar{D}_{(k,n)}$	k ile n periyotları arasındaki toplam beklenen talep miktarı
$\bar{R}_{(k,n)}$	k ile n periyotları arasındaki toplam beklenen dönen ürün miktarı
$D_{(k,n)}$	k ile n periyotları arasındaki toplam rassal talep miktarı $\sim N(\bar{D}_{(k,n)}, \sigma^2_{(k,n)})$
$R_{(k,n)}$	k ile n periyotları arasındaki toplam rassal dönen ürün miktarı $\sim N(\bar{R}_{(k,n)}, \sigma^2_{(k,n)})$
I_n^r	n . periyodun sonundaki rassal dönen ürün envanter düzeyi
I_n^s	n . periyodun sonundaki rassal kullanılabilir ürün envanter düzeyi
$f_x(\cdot)$	x rassal değişkeninin olasılık yoğunluk fonksiyonu
$F_x(\cdot)$	x rassal değişkeninin birikimli olasılık dağılım fonksiyonu
u	Sipariş yükseltme düzeyi
w	Sipariş indirme düzeyi
$E[C^1(u, k, T)]$	Opsiyon 1'in beklenen maliyet fonksiyonu
$E[C^2(w, k, T)]$	Opsiyon 2'nin beklenen maliyet fonksiyonu

$E[C^3(u, k, T)]$	Opsiyon 3'ün beklenen maliyet fonksiyonu
$E[C^4(k)]$	Opsiyon 4'ün beklenen maliyet fonksiyonu
$G(.)$	Standart kayıp fonksiyonu
$\varphi(.)$	Standart normal yoğunluk fonksiyonu

3.2. SİLVER-MEAL SEZGİSEL ALGORİTMASININ STOKASTİK TALEP VE GERİ DÖNÜŞLÜ EKONOMİK PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ PROBLEMİNE UYARLANMASI

Bu başlık altında, talebin ve dönen ürünlerin stokastik olduğu ve dönen ürünlerin yeniden üretilebildiği envanter sisteminde üretim planlaması yapmak üzere hesapsal açıdan verimli sezgisel bir algoritma ortaya konulacaktır. Talep hem yeni ürünler üreterek hem de müşterilerden dönen ürünleri yeniden üreterek karşılanabildiğinden ve talep ile dönen ürün miktarları rassal değişkenler olduğundan, ikinci bölümde incelenen orijinal SM algoritması söz konusu probleme uyarlanmıştır. Bu bölümde detaylı bir şekilde anlatılacak olan bu uyarlama sonucunda yukarıda varsayımları verilen sistem için maliyet verimli envanter politikası oluşturulacaktır. Geliştirilen sezgisel algoritma karar verilmesi gereken her bir periyot için aşağıda verilen üretim opsiyonlarının analizi üzerine kurulmuştur:

- Opsiyon 1: Sadece üret,
- Opsiyon 2: Sadece yeniden üret,
- Opsiyon 3: Önce yeniden üret, sonra üret,
- Opsiyon 4: Sipariş verme.

Buna göre algoritma, N ile gösterilen sonlu bir planlama ufkunu her periyot sadece bir zaman penceresine atanacak şekilde ayrık zaman pencerelerine bölmeyi amaçlamaktadır. Zaman penceresi, ikinci bölümde SM sezgiselini incelerken tanımlandığı gibi k periyodunda başlayıp T periyodunda biten zaman aralığını ifade etmektedir. Zaman penceresi boyunca gerçekleşen talep, k

periyodunda verilen üretim ve/veya yeniden üretim siparişi ile karşılanır. Algoritma tekrarlı bir yapıya sahiptir ve ilk periyottan başlayarak planlama ufkunun sonunu da içine alan bir zaman penceresi oluşturana kadar çalışmaktadır. Bunun yanı sıra, geliştirilen algoritma tıpkı SM sezgiselindeki gibi sürekli ileri giden ve geçmişte verdiği kararları geri dönüp değiştirmeyen bir yapıdadır.

Başlangıç periyodu verilen bir zaman penceresi için üretim planı şu şekilde belirlenmektedir. Verilen başlangıç periyodu k için, T ile gösterilen zaman penceresinin son periyodu öncelikle $T = k$ olarak belirlenir ve (k, T) zaman penceresi için her opsiyonun beklenen maliyet değerleri hesaplanır, daha sonra da zaman penceresindeki periyot sayısına bölünerek her opsiyon için periyot başına beklenen maliyet elde edilir. Ardından ilgili zaman penceresinin periyot başına en düşük beklenen maliyete sahip opsiyonu seçilir. Periyot başına en düşük beklenen maliyet azaldığı sürece zaman penceresi genişletilir ($T = T + 1$) ve en düşük olduğu noktada bu maliyete karşılık gelen opsiyonun uygulanmasına karar verilir. Bu noktada, verilen başlangıç periyodu k için, kullanılması gereken zaman penceresi (k, T) ve karşılık gelen üretim planı belirlenmiş olmaktadır. Bundan sonra k periyodu $k = T + 1$ olacak şekilde güncellenerek, bütün planlama ufkunu kapsayacak üretim planlaması oluşturulana kadar algoritma çalıştırılır. Böylece N periyoda sahip bir planlama ufku için oluşturulan üretim politikasının toplam beklenen maliyeti elde edilmiş olur. Aşağıda, geliştirilen sezgisel algoritma çerçevesinde kullanılan her bir opsiyonun analizi ayrıntılı olarak verilmiştir.

3.2.1. Opsiyon 1: “Sadece Üret”

Bu opsiyon uygulandığında, (k, T) zaman penceresindeki beklenen talebi karşılayabilmek için k periyodunun başlangıcında bir üretim siparişi verilir ve böylece kullanılabilir ürün envanter düzeyi belirli bir seviyeye (u) yükseltilir. Bu seviye sahip olmak istenilen hedef envanter düzeyini temsil eder ve “sipariş yükseltme düzeyi” olarak adlandırılabilir. Dolayısıyla sadece üret opsiyonunda,

verilen bir zaman penceresi (k, T) için, beklenen maliyet fonksiyonunu minimize edecek olan u değerini bulmak amaçlanmaktadır.

3.2.1.1. Opsiyon 1 için Beklenen Maliyet Fonksiyonunun Geliştirilmesi

Opsiyon 1 için temel zorluk, rassal değişken olan ve esasen geçmiş dönemlerde uygulanan üretim kararı ile belirlenen zaman penceresine giriş geri dönen envanter düzeyi ve buna ilişkin zaman penceresi boyunca oluşacak beklenen maliyetin hesaplanmasıdır. Bu bağlamda Opsiyon 1'in (k, T) zaman penceresi için beklenen maliyet fonksiyonu, dönen ürünleri elde bulundurma maliyetinin beklenen değerini hesaba katabilmek adına iki basamaklı bir yapı kullanılarak yazılabilir ve her basamak için aşağıda belirtilmiş bilgilere ihtiyaç duyulur.

- 1. Basamak: Zaman penceresinin başlangıç periyodu k ($k \leq N$) ve bu periyotta verilen üretim siparişi ile kullanılabilir ürün envanter düzeyinin yükseltildiği seviye u ,
- 2. Basamak: k periyodundan önceki en yakın yeniden üretim siparişinin verildiği periyot i ($i \leq k$) ve bu yeniden üretim siparişi ile dönen ürün envanter düzeyinin indirildiği seviye v .

i periyodunda verilen yeniden üretim siparişinden sonra zaman penceresinin başlangıç periyoduna kadar yeniden üretim siparişi verilmediği ve tanım gereği zaman penceresi boyunca da verilmeyeceği için dönen ürünler $i + 1$ periyodundan itibaren dönen ürün envanterinde birikecektir. O halde, $n \in \{k, k + 1, \dots, T\}$ olmak üzere n . periyodun sonundaki dönen ürün envanter düzeyi $I_n^r = v + R_{(i+1,n)}$ şeklinde ifade edilebilir. Bu ifade dönen ürün envanter düzeyinin dağılım bilgisinin elde edilmesi açısından önemlidir. Diğer taraftan, n . periyodun sonundaki kullanılabilir ürün envanter düzeyi ise $I_n^s = u - D_{(k,n)}$ şeklinde gösterilebilir. Eğer $u \geq D_{(k,n)}$ ise gelecek periyotlara pozitif bir envanter taşınacak, $D_{(k,n)} \geq u$ ise de stoksuz kalma durumu ile karşılaşılacaktır. Bu durumların matematiksel büyüklükleri $\max\{u - D_{(k,n)}, 0\}$ ve $\max\{D_{(k,n)} - u, 0\}$ ile ifade edilebilir.

(k, T) zaman penceresi için (3) no'lu eşitlikte verilmiş olan sadece üret opsiyonunun beklenen maliyet fonksiyonu, $E[C^1(u, k, T)]$ şeklinde tanımlanır ve aşağıdaki maliyetlerden oluşur:

(Üretim kurulum maliyeti)

+ (kullanılabilir ürünleri elde bulundurma maliyetinin beklenen değeri)

+ (stoksuz kalma maliyetinin beklenen değeri)

+ (dönen ürünleri elde bulundurma maliyetinin beklenen değeri)

$$E[C^1(u, k, T)] = K^m + \sum_{n=k}^T \left[h^s \int_{-\infty}^{\infty} \max(u - x, 0) f_{D(k,n)}(x) dx + \pi \int_{-\infty}^{\infty} \max(x - u, 0) f_{D(k,n)}(x) dx + h^r \int_{-\infty}^{\infty} (v + y) f_{R(i+1,n)}(y) dy \right] \quad (3)$$

(3) no'lu eşitlikte gösterim kolaylığı sağlaması açısından $D_{(k,n)}$ rassal değişkeni için integral değişkeni x ve $R_{(i+1,n)}$ rassal değişkeni için integral değişkeni y kullanılmıştır. Talebin negatif olmayacağı bilindiğine göre, x 'in u 'dan büyük bir değer alması durumunda $\max\{u - x, 0\}$ ifadesi sıfıra eşit olacaktır. x 'in u 'dan küçük bir değer alması durumunda ise $\max\{x - u, 0\}$ ifadesi sıfıra eşit olacaktır. O halde x değişkeninin herhangi bir değeri için bu iki ifadeden birinin sıfır olacağı kesindir.

Öte yandan, dönen ürün miktarının negatif olmayacağı bilindiğine göre y , $i + 1$ ile n periyotları arasındaki toplam dönen ürün miktarının beklenen değeri şeklinde ifade edilir. Bu nedenle (3) no'lu eşitlikte verilmiş olan $E[C^1(u, k, T)]$ fonksiyonunu, integral sınırlarının düzenlenmesinin ardından aşağıdaki gibi ifade etmek mümkündür.

$$\begin{aligned}
E[C^1(u, k, T)] &= K^m \\
&+ \sum_{n=k}^T \left[h^s \int_0^u (u-x) f_{D_{(k,n)}}(x) dx \right. \\
&\left. + \pi \int_u^{\infty} (x-u) f_{D_{(k,n)}}(x) dx + h^r (v + \bar{R}_{(i+1,n)}) \right] \quad (4)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
E[C^1(u, k, T)] &= K^m \\
&+ \sum_{n=k}^T [h^s E(\max(u-x, 0)) + \pi E(\max(x-u, 0)) + h^r (v + \bar{R}_{(i+1,n)})] \quad (5)
\end{aligned}$$

$E[u-x] = E[\max(u-x, 0)] - E[\max(x-u, 0)]^1$ olmak üzere Opsiyon 1'in beklenen maliyet fonksiyonu (6) no'lu eşitlikteki gibi yazılır.

$$\begin{aligned}
&= K^m + \sum_{n=k}^T [h^s (E(u-x) + E(\max(x-u, 0))) + \pi E(\max(x-u, 0)) \\
&\quad + h^r (v + \bar{R}_{(i+1,n)})] \\
&= K^m + \sum_{n=k}^T [h^s E(u-x) + (h^s + \pi) E(\max(x-u, 0)) + h^r (v + \bar{R}_{(i+1,n)})] \\
&= K^m + \sum_{n=k}^T \left[h^s (u - \bar{D}_{(k,n)}) + (h^s + \pi) \int_u^{\infty} (x-u) f_{D_{(k,n)}}(x) dx \right. \\
&\quad \left. + h^r (v + \bar{R}_{(i+1,n)}) \right] \quad (6)
\end{aligned}$$

$D_{(k,n)} \sim N(\bar{D}_{(k,n)}, \sigma^2_{(k,n)})$ olmak üzere $D_{(k,n)}$ rassal değişkeninin varyansı (7) no'lu eşitlik ile hesaplanacaktır.

¹ X rassal bir değişken olmak üzere, $X^+ = \max\{0, X\}$ ve $X^- = \max\{0, -X\}$ olarak tanımlanırsa, $E[X^+]$ ve $E[X^-]$ 'den en az biri sonlu olduğu sürece X 'in beklenen değeri $E[X] = E[X^+] - E[X^-]$ şeklinde ifade edilebilir.

$$\sigma^2_{(k,n)} = \sum_{t=k}^n (\sigma_t^D)^2 \quad (7)$$

(6) no'lu eşitlikte integral içerisindeki terim, $D_{(k,n)}$ rassal değişkeninin standart kayıp fonksiyonunun u noktasında aldığı değerdir. Rassal değişken olan talebin normal dağıldığı varsayıldığından, sadece üret opsiyonundaki beklenen stoksuz kalma miktarı standart kayıp fonksiyonundan yararlanılarak (8) no'lu eşitlik yardımı ile hesaplanır.

$$\int_u^{\infty} (x - u) f_{D_{(k,n)}}(x) dx = \sigma_{(k,n)} G(z_n) \quad (8)$$

Yukarıdaki eşitlikteki $G(z_n)$ fonksiyonu standart normal dağılımın kayıp fonksiyonunu temsil etmektedir ve (10) no'lu eşitlikte verilen formülasyon ile hesaplanmaktadır. Bu formülasyondaki z_n matematiksel ifadesi, Opsiyon 1'in n . periyottaki standartlaştırılmış değişkenini ifade eder ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$z_n = \frac{u - \bar{D}_{(k,n)}}{\sigma_{(k,n)}} \quad (9)$$

Standart normal dağılımın kayıp fonksiyonu da standart normal dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu $\varphi(z_n)$ kullanılarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\varphi(z_n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp(-0.5(z_n)^2)$$

$$G(z_n) = \varphi(z_n) - z_n(1 - \Phi(z_n)) \quad (10)$$

Böylece sadece üret opsiyonu için beklenen maliyet fonksiyonu (11) no'lu eşitlikteki gibi yazılmış olur.

$$E[C^1(u, k, T)] = K^m + \sum_{n=k}^T [h^s(u - \bar{D}_{(k,n)}) + (h^s + \pi)\sigma_{(k,n)}G(z_n) + h^r(v + \bar{R}_{(i+1,n)})] \quad (11)$$

Periyot başına beklenen maliyeti bulmak için ise (11) no'lu eşitliğin (k, T) zaman penceresindeki periyot sayısına yani $T - k + 1$ ifadesine bölünmesi gerekmektedir:

$$\begin{aligned} & \frac{E[C^1(u, k, T)]}{T - k + 1} \\ &= \frac{K^m + \sum_{n=k}^T [h^s(u - \bar{D}_{(k,n)}) + (h^s + \pi)\sigma_{(k,n)}G(z_n) + h^r(v + \bar{R}_{(i+1,n)})]}{T - k + 1} \end{aligned} \quad (12)$$

3.2.1.2. Opsiyon 1 için Optimal Değerin Belirlenmesi

Opsiyon 1'in beklenen maliyet fonksiyonu, spesifik bir (k, T) çifti için tek bilinmeyenli bir fonksiyondur. Bu fonksiyondaki u karar değişkeninin optimal düzeyi belirlenmek istenmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta v ifadesinin daha önceki sipariş kararlarından dolayı bilinen bir sabit olmasıdır. Fonksiyonu minimize edecek u değerini belirleyebilmek için, öncelikle fonksiyonun konveks olup olmadığına bakılacaktır. Eğer fonksiyonun konveks olduğu gösterilebilirse, sadece üret opsiyonunun beklenen maliyet fonksiyonunu minimize edecek u değeri (4) no'lu eşitliğin u 'ya göre birinci türevinin alınıp sıfıra eşitlenmesiyle elde edilir. Fonksiyonun konveks olup olmadığının belirlenmesi için ikinci türevinin her zaman sıfırdan büyük veya eşit olduğunun gösterilmesi gerekmektedir.

İntegral işareti altında türev almak için kullanılacak olan Leibniz kuralı (13) no'lu eşitlikte verilmiştir.

$$\frac{d}{dy} \int_{f_1(y)}^{f_2(y)} h(x, y) dx = \int_{f_1(y)}^{f_2(y)} \frac{\partial h(x, y)}{\partial y} dx + h(f_2(y), y)f_2'(y) - h(f_1(y), y)f_1'(y) \quad (13)$$

(4) no'lu eşitlikte yer alan integrallerin türevleri ayrı ayrı alınırsa, birinci integral olan $\int_0^u (u - x)f_{D(k,n)}(x)dx$ için Leibniz kuralına göre türev alma işlemleri ve bu işlemler sonucunda elde edilecek olan (14) no'lu eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$h(x, y) = h(x, u) = (u - x)f_{D(k,n)}(x)$$

$$f_1(y) = f_1(u) = 0$$

$$f_2(y) = f_2(u) = u$$

$$\begin{aligned} & \frac{d}{du} \int_0^u (u-x) f_{D(k,n)}(x) dx \\ &= \int_{f_1(u)}^{f_2(u)} \frac{\partial (u-x) f_{D(k,n)}(x)}{\partial u} dx + h(f_2(u), u) f_2'(u) - h(f_1(u), u) f_1'(u) \end{aligned}$$

$$h(f_2(u), u) = h(u, u) = (u-u) f_{D(k,n)}(x) = 0$$

$$h(f_1(u), u) = h(0, u) = (u-0) f_{D(k,n)}(x) = u f_{D(k,n)}(x)$$

$$f_2'(u) = 1$$

$$f_1'(u) = 0$$

$$\begin{aligned} & \frac{d}{du} \int_0^u (u-x) f_{D(k,n)}(x) dx \\ &= \int_0^u 1 f_{D(k,n)}(x) dx + (0)(1) - \left(u f_{D(k,n)}(x) \right) (0) \\ &= \int_0^u 1 f_{D(k,n)}(x) dx \end{aligned} \tag{14}$$

(4) no'lu eşitlikteki ikinci integral olan $\int_u^\infty (x-u) f_{D(k,n)}(x) dx$ için Leibniz kuralına göre türev alma işlemleri ve bu işlemler sonucunda elde edilecek olan (15) no'lu eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$h(x, y) = h(x, u) = (x-u) f_{D(k,n)}(x)$$

$$f_1(y) = f_1(u) = u$$

$$f_2(y) = f_2(u) = \infty$$

$$\begin{aligned} & \frac{d}{du} \int_u^{\infty} (x-u) f_{D(k,n)}(x) dx \\ &= \int_{f_1(u)}^{f_2(u)} \frac{\partial (x-u) f_{D(k,n)}(x)}{\partial u} dx + h(f_2(u), u) f_2'(u) - h(f_1(u), u) f_1'(u) \end{aligned}$$

$$h(f_2(u), u) = h(\infty, u) = (\infty - u) f_{D(k,n)}(x)$$

$$h(f_1(u), u) = h(u, u) = (u - u) f_{D(k,n)}(x) = 0$$

$$f_2'(u) = 0$$

$$f_1'(u) = 1$$

$$\begin{aligned} & \frac{d}{du} \int_u^{\infty} (x-u) f_{D(k,n)}(x) dx \\ &= \int_u^{\infty} (-1) f_{D(k,n)}(x) dx + (\infty - u) f_{D(k,n)}(x) (0) - (0)(1) \\ &= \int_u^{\infty} (-1) f_{D(k,n)}(x) dx \end{aligned} \tag{15}$$

Böylece Opsiyon 1'in beklenen maliyet fonksiyonunun u 'ya göre birinci türevinin alınması sonucunda (16) no'lu eşitlik elde edilmiş olacaktır.

$$\begin{aligned} & \frac{dE[C^1(u, k, T)]}{du} \\ &= \sum_{n=k}^T \left[h^s \int_0^u 1 f_{D(k,n)}(x) dx + \pi \int_u^{\infty} (-1) f_{D(k,n)}(x) dx \right] \\ &= \sum_{n=k}^T \left[h^s F_{D(k,n)}(u) - \pi (1 - F_{D(k,n)}(u)) \right] \\ &= \sum_{n=k}^T \left[(h^s + \pi) F_{D(k,n)}(u) - \pi \right] \end{aligned} \tag{16}$$

Bu noktada, $E[C^1(u, k, T)]$ fonksiyonunun u 'ya göre ikinci türevi alınarak, söz konusu fonksiyonunun konveks bir fonksiyon olup olmadığının tespit edilmesi gerekir.

$$\frac{d^2 E[C^1(u, k, T)]}{du^2} = \sum_{n=k}^T [(h^s + \pi) f_{D(k,n)}(u)] \geq 0 \quad \forall u \geq 0 \text{ için} \quad (17)$$

Yukarıdaki ifadede yer alan maliyet parametreleri tanım gereği sıfırdan büyüktür ve olasılık yoğunluk fonksiyonu tanım gereği her zaman pozitif değer vermektedir. O halde ikinci türevin, u 'nun sıfıra eşit veya sıfırdan büyük olduğu tanım aralığında hep pozitif olması, $E[C^1(u, k, T)]$ fonksiyonunun konveks bir fonksiyon olduğunu yani global bir minimum noktasına sahip olduğunu gösterir. Böylece $E[C^1(u, k, T)]$ fonksiyonunun (16)'da verilmiş olan birinci türevi sıfıra eşitlenerek, optimal u değerini verecek olan formülasyon (18) no'lu eşitlikteki gibi elde edilir. Bu eşitlikteki u^* sipariş yükseltme düzeyini temsil ederken, eşitliğin sağ tarafı ise kritik oran olarak adlandırılır.

$$\sum_{n=k}^T F_{D(k,n)}(u^*) = \frac{(T - k + 1)\pi}{h^s + \pi} \quad (18)$$

Yukardaki ifade, optimal u değerinin monoton bir yapıya sahip kümülatif olasılık dağılım fonksiyonu üzerinde kullanılacak bir arama algoritması ile rahatlıkla bulunabileceğini göstermektedir.

3.2.2. Opsiyon 2: “Sadece Yeniden Üret”

Bu opsiyonda, (k, T) zaman penceresindeki beklenen talebi karşılayabilmek için k periyodunun başlangıcında bir yeniden üretim siparişi verilir. Bu yeniden üretim siparişi ile dönen ürün envanter düzeyi belirli bir seviyeye (w) indirilir ve bu seviye “sipariş indirme düzeyi” olarak adlandırılabilir. Dönen ürün envanter düzeyinin sıfırın altına indirilmesinin mümkün olmadığı ($w \geq 0$) bilindiği üzere, bu opsiyonun amacı verilen bir zaman penceresi (k, T) için, beklenen maliyet fonksiyonunu minimize edecek negatif olmayan bir w değerinin bulunmasıdır.

3.2.2.1. Opsiyon 2 için Beklenen Maliyet Fonksiyonunun Geliştirilmesi

Opsiyon 2'nin (k, T) zaman penceresi için beklenen maliyet fonksiyonu, k periyodunda verilen yeniden üretim siparişi ile kullanılabilir ürün envanterine eklenen ürün miktarını hesaba katabilmek adına üç basamaklı bir yapı kullanılarak yazılabilir ve her basamak için aşağıda belirtilmiş bilgilere ihtiyaç duyulur.

- 1. Basamak: Zaman penceresinin başlangıç periyodu k ($k \leq N$) ve bu periyotta verilen yeniden üretim siparişi ile dönen ürün envanter düzeyinin indirildiği seviye w ,
- 2. Basamak: k periyodundan önceki en yakın üretim siparişinin verildiği periyod j ($j \leq k$) ve bu üretim siparişi ile kullanılabilir ürün envanter düzeyinin yükseltildiği seviye u ,
- 3. Basamak: j periyodundan önceki en yakın yeniden üretim siparişinin verildiği periyod i ($i \leq j$) ve bu yeniden üretim siparişi ile dönen ürün envanter düzeyinin indirildiği seviye v .

Üç basamaklı bir yapının kullanılması ve k periyodunda bir yeniden üretim siparişi verilmesi nedeniyle I_n^r ve I_n^s ifadelerinin hangi noktalarda Opsiyon 1'deki karşılıklarından farklılaştığı önem arz etmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken husus, i periyodundaki yeniden üretim siparişinden sonra j periyoduna kadar hiç yeniden üretim siparişi verilmediğidir. j ile k periyodu arasında ise bir veya birden fazla yeniden üretim siparişinin verilir verilmemesinin bir önemi yoktur çünkü söz konusu periyotlar arasında verilen yeniden üretim siparişi veya siparişleri dönen ürün envanterini azaltacağı miktar kadar kullanılabilir ürün envanterini arttırmış olacak, böylece k periyoduna girişteki kullanılabilir ürün ve dönen ürün envanterleri birbirini dengeleyecektir.

$v + R_{(i+1, k-1)} + R_k = v + R_{(i+1, k)}$ ifadesi zaman penceresinin başlangıç periyoduna, yani k periyoduna girişteki dönen ürün envanter düzeyi ile k periyodunda gelen ürün dönüşlerinin toplamını temsil etmektedir. k periyodunun başlangıcında verilecek yeniden üretim siparişi ile dönen ürün envanter düzeyinin

w seviyesine indirileceği bilindiğine göre $v + R_{(i+1,k)} - w$ ifadesi söz konusu sipariş ile kullanılabilir ürün envanterine eklenen miktar olacaktır. $k + 1$ periyodundan, zaman penceresinin sonuna kadar dönen ürünler ise dönen ürün envanterinde birikecektir. O halde, n . periyodun sonundaki dönen ürün envanter düzeyi $I_n^r = w + R_{(k+1,n)}$ ile ifade edilebilir.

Öte yandan, n . periyodun sonundaki kullanılabilir ürün envanter düzeyi ise $I_n^s = u + v - w - D_{(j,n)} + R_{(i+1,k)}$ şeklinde gösterilebilir. Eğer $u + v - w \geq D_{(j,n)} - R_{(i+1,k)}$ ise gelecek periyotlara pozitif bir envanter taşınacak, $D_{(j,n)} - R_{(i+1,k)} \geq u + v - w$ ise de stoksuz kalma durumu ile karşılaşılacaktır. Bu durumun matematiksel büyüklükleri $\max\{u + v - w - D_{(j,n)} + R_{(i+1,k)}, 0\}$ ve $\max\{D_{(j,n)} - R_{(i+1,k)} - u - v + w, 0\}$ şeklinde gösterilir.

Dönen ürün envanter düzeyinin sıfırın altına indirilemeyeceği ve zaman penceresinin başlangıç periyodundaki toplam dönen ürün envanter düzeyinin üzerine çıkarılamayacağı varsayıldığına göre bu durum $0 \leq w \leq v + R_{(i+1,k)}$ ile ifade edilebilir. Ancak tanım gereği $0 \leq w \leq v + R_{(i+1,k)}$ ifadesinin hesapsal yöntemler açısından kesin olarak dikkate alınması çok kolay değildir. Bu nedenle bu kısıt, $0 \leq w \leq v + \bar{R}_{(i+1,k)}$ olacak şekilde kendisinin beklenen değeri ile yaklaşıklemiştir.

Buna göre, (k, T) zaman penceresi için (19) no'lu eşitlikte verilmiş olan sadece yeniden üret opsiyonunun beklenen maliyet fonksiyonu, $E[C^2(w, k, T)]$ şeklinde tanımlanır ve aşağıda sıralanmış olan dört maliyet unsurundan oluşur:

(Yeniden üretim kurulum maliyeti)

+ (kullanılabilir ürünleri elde bulundurma maliyetinin beklenen değeri)

+ (stoksuz kalma maliyetinin beklenen değeri)

+ (dönen ürünleri elde bulundurma maliyetinin beklenen değeri)

$$\begin{aligned}
E[C^2(w, k, T)] &= K^r \\
&+ \sum_{n=k}^T \left[h^s \int_{-\infty}^{\infty} \max(u + v - w - x, 0) f_{D_{(j,n)} - R_{(i+1,k)}}(x) dx \right. \\
&+ \pi \int_{-\infty}^{\infty} \max(x - u - v + w, 0) f_{D_{(j,n)} - R_{(i+1,k)}}(x) dx \\
&\left. + h^r \int_{-\infty}^{\infty} (w + y) f_{R_{(k+1,n)}}(y) dy \right] \tag{19}
\end{aligned}$$

Yukarıdaki eşitlikte gösterim kolaylığı sağlaması açısından $D_{(j,n)} - R_{(i+1,k)}$ rassal değişkeni için integral değişkeni x ve $R_{(k+1,n)}$ rassal değişkeni için integral değişkeni y kullanılmıştır. (19) no'lu eşitlikte, x değişkeninin herhangi bir değeri için $\max\{u + v - w - x, 0\}$ ve $\max\{x - u - v + w, 0\}$ ifadelerinden birinin sıfır olacağı açık bir şekilde görülmektedir. Bu nedenle söz konusu eşitlikteki beklenen maliyet fonksiyonunu, integral sınırlarının düzenlenmesinin ardından aşağıdaki gibi ifade etmek mümkündür.

$$\begin{aligned}
E[C^2(w, k, T)] &= K^r \\
&+ \sum_{n=k}^T \left[h^s \int_0^{u+v-w} (u + v - w - x) f_{D_{(j,n)} - R_{(i+1,k)}}(x) dx \right. \\
&\left. + \pi \int_{u+v-w}^{\infty} (x - u - v + w) f_{D_{(j,n)} - R_{(i+1,k)}}(x) dx + h^r (w + \bar{R}_{(k+1,n)}) \right] \tag{20}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
E[C^2(w, k, T)] &= K^r \\
&+ \sum_{n=k}^T [h^s E(\max(u + v - w - x, 0)) + \pi E(\max(x - u - v + w, 0))] \\
&+ h^r (w + \bar{R}_{(k+1,n)}) \tag{21}
\end{aligned}$$

$E[u + v - w - x] = E[\max(u + v - w - x, 0)] - E[\max(x - u - v + w, 0)]$ olmak üzere Opsiyon 2'nin beklenen maliyet fonksiyonu (22) no'lu eşitlikteki gibi yazılır.

$$\begin{aligned}
&= K^r + \sum_{n=k}^T [h^s(E(u + v - w - x) + E(\max(x - u - v + w, 0))) \\
&\quad + \pi E(\max(x - u - v + w, 0)) + h^r(w + \bar{R}_{(k+1,n)})] \\
&= K^r + \sum_{n=k}^T [h^s E(u + v - w - x) + (h^s + \pi)E(\max(x - u - v + w, 0)) \\
&\quad + h^r(w + \bar{R}_{(k+1,n)})] \\
&= K^r + \sum_{n=k}^T \left[h^s(u + v - w - \bar{D}_{(j,n)} + \bar{R}_{(i+1,k)}) \right. \\
&\quad + (h^s + \pi) \int_{u+v-w}^{\infty} (x - u - v + w) f_{D_{(j,n)} - R_{(i+1,k)}}(x) dx \\
&\quad \left. + h^r(w + \bar{R}_{(k+1,n)}) \right] \tag{22}
\end{aligned}$$

Talep ve dönen ürün miktarlarının birbirinden bağımsız rassal değişkenler olduğu ve normal dağılım gösterdikleri varsayıldığından, bu iki değişken arasındaki fark da normal dağılım gösteren rassal bir değişken olacaktır. O halde $(D_{(j,n)} - R_{(i+1,k)}) \sim N(\bar{D}_{(j,n)} - \bar{R}_{(i+1,k)}, \sigma^2_{(k,n)})$ şeklinde ifade edilebilir.² Buna göre, $D_{(j,n)} - R_{(i+1,k)}$ rassal değişkeninin varyansı aşağıdaki gibi hesaplanacaktır.

$$\sigma^2_{(k,n)} = \sum_{t=j}^n (\sigma_t^D)^2 + \sum_{t=i+1}^k (\sigma_t^R)^2 \tag{23}$$

(22) no'lu eşitlikte integral içerisindeki terim $D_{(j,n)} - R_{(i+1,k)}$ rassal değişkeninin standart kayıp fonksiyonunun w noktasında aldığı değerdir. Hem talep hem de dönen ürün rassal değişkenlerinin normal dağıldığı varsayıldığından, sadece üret

² $X \sim N(\mu_X, \sigma_X^2)$ ve $Y \sim N(\mu_Y, \sigma_Y^2)$ ifadeleri bağımsız normal rassal değişkenler ise bu değişkenlerin farkı; ortalaması iki değişkenin ortalamalarının farkı ve varyansı iki değişkenin varyanslarının toplamı olacak şekilde normal dağılım gösterir $Z = X - Y \sim N(\mu_X - \mu_Y, \sigma_X^2 + \sigma_Y^2)$.

opsiyonunda olduğu gibi burada da beklenen stoksuz kalma miktarı standart kayıp fonksiyonundan yararlanılarak hesaplanır.

$$\int_{u+v-w}^{\infty} (x - u - v + w) f_{D_{(j,n)} - R_{(i+1,k)}}(x) dx = \sigma_{(k,n)} G(z_n) \quad (24)$$

Standart kayıp değerini bulmak için Opsiyon 1 incelenirken verilmiş olan (10) no'lu eşitlik kullanılır. Opsiyon 2'nin n . periyottaki standartlaştırılmış değişkeni ise (25) no'lu eşitlik ile hesaplanır.

$$z_n = \frac{u + v - w - \bar{D}_{(j,n)} + \bar{R}_{(i+1,k)}}{\sigma_{(k,n)}} \quad (25)$$

Böylece sadece yeniden üret opsiyonu için beklenen maliyet fonksiyonu (26) no'lu eşitlikteki gibi yazılmış olur.

$$\begin{aligned} E[C^2(w, k, T)] &= K^r \\ &+ \sum_{n=k}^T [h^s(u + v - w - \bar{D}_{(j,n)} + \bar{R}_{(i+1,k)}) + (h^s + \pi)\sigma_{(k,n)}G(z_n) \\ &+ h^r(w + \bar{R}_{(k+1,n)})] \end{aligned} \quad (26)$$

Periyot başına beklenen maliyeti bulmak için ise (26) no'lu eşitliğin (k, T) zaman penceresindeki periyot sayısına bölünmesi gerekmektedir:

$$\begin{aligned} &\frac{E[C^2(w, k, T)]}{T - k + 1} \\ &= \frac{K^r + \sum_{n=k}^T [h^s(u + v - w - \bar{D}_{(j,n)} + \bar{R}_{(i+1,k)}) + (h^s + \pi)\sigma_{(k,n)}G(z_n) + h^r(w + \bar{R}_{(k+1,n)})]}{T - k + 1} \end{aligned} \quad (27)$$

3.2.2.2. Opsiyon 2 için Optimal Değerin Belirlenmesi

Opsiyon 2'nin beklenen maliyet fonksiyonu, spesifik bir (k, T) çifti için tek bilinmeyenli bir fonksiyondur. Bu fonksiyonda karar değişkeni olan w 'nin optimal

düzeyi belirlenmek istenmektedir. u ve v düzeyleri daha önceki sipariş kararlarından dolayı bilinen sabitlerdir. Opsiyon 1'de olduğu gibi burada da eğer beklenen maliyet fonksiyonunun konveks olduğu gösterilebilirse, sadece yeniden üret opsiyonunun beklenen maliyet fonksiyonunu minimize edecek w değeri (20) no'lu eşitliğin w 'ya göre birinci türevinin alınıp sıfıra eşitlenmesiyle elde edilir. Bu opsiyonda da (13) no'lu eşitlikte verilmiş olan Leibniz kuralına göre türev alma işlemi gerçekleştirilmiştir.

(20) no'lu eşitlikte yer alan integrallerin türevleri ayrı ayrı alınırsa birinci integral olan $\int_0^{u+v-w} (u+v-w-x)f_{D(j,n)-R(i+1,k)}(x)dx$ için Leibniz kuralının uygulanması ve sonucunda elde edilecek olan (28) no'lu eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$h(x, y) = h(x, u + v - w) = (u + v - w - x)f_{D(j,n)-R(i+1,k)}(x)$$

$$f_1(y) = f_1(u + v - w) = 0$$

$$f_2(y) = f_2(u + v - w) = u + v - w$$

$$\frac{d}{dw} \int_0^{u+v-w} (u + v - w - x)f_{D(j,n)-R(i+1,k)}(x)dx$$

$$\begin{aligned} &= \int_{f_1(u+v-w)}^{f_2(u+v-w)} \frac{\partial(u + v - w - x)f_{D(j,n)-R(i+1,k)}(x)}{\partial w} dx \\ &+ h(f_2(u + v - w), u + v - w)f_2'(u + v - w) \\ &- h(f_1(u + v - w), u + v - w)f_1'(u + v - w) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h(f_2(u + v - w), u + v - w) &= h(u + v - w, u + v - w) \\ &= (u + v - w - u - v + w)f_{D(j,n)-R(i+1,k)}(x) = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h(f_1(u + v - w), u + v - w) &= h(0, u + v - w) = (u + v - w - 0)f_{D(j,n)-R(i+1,k)}(x) \\ &= (u + v - w)f_{D(j,n)-R(i+1,k)}(x) \end{aligned}$$

$$f_2'(u + v - w) = -1$$

$$f_1'(u + v - w) = 0$$

$$\begin{aligned}
& \frac{d}{dw} \int_0^{u+v-w} (u+v-w-x) f_{D_{(j,n)}-R_{(i+1,k)}}(x) dx \\
&= \int_0^{u+v-w} (-1) f_{D_{(j,n)}-R_{(i+1,k)}}(x) dx + (0)(-1) - (u+v-w) f_{D_{(j,n)}-R_{(i+1,k)}}(x)(0) \\
&= \int_0^{u+v-w} (-1) f_{D_{(j,n)}-R_{(i+1,k)}}(x) dx \tag{28}
\end{aligned}$$

(20) no'lu eşitlikteki ikinci integral olan $\int_{u+v-w}^{\infty} (x-u-v+w) f_{D_{(j,n)}-R_{(i+1,k)}}(x) dx$ için Leibniz kuralının uygulanması ve elde edilen (29) no'lu eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$h(x, y) = h(x, u+v-w) = (x-u-v+w) f_{D_{(j,n)}-R_{(i+1,k)}}(x)$$

$$f_1(y) = f_1(u+v-w) = u+v-w$$

$$f_2(y) = f_2(u+v-w) = \infty$$

$$\begin{aligned}
& \frac{d}{dw} \int_{u+v-w}^{\infty} (x-u-v+w) f_{D_{(j,n)}-R_{(i+1,k)}}(x) dx \\
&= \int_{f_1(u+v-w)}^{f_2(u+v-w)} \frac{\partial (x-u-v+w) f_{D_{(j,n)}-R_{(i+1,k)}}(x)}{\partial w} dx \\
&+ h(f_2(u+v-w), u+v-w) f_2'(u+v-w) \\
&- h(f_1(u+v-w), u+v-w) f_1'(u+v-w)
\end{aligned}$$

$$h(f_2(u+v-w), u+v-w) = h(\infty, u+v-w)$$

$$= (\infty - u - v + w) f_{D_{(j,n)}-R_{(i+1,k)}}(x)$$

$$h(f_1(u+v-w), u+v-w) = h(u+v-w, u+v-w)$$

$$= (u+v-w - u - v + w) f_{D_{(j,n)}-R_{(i+1,k)}}(x) = 0$$

$$f_2'(u+v-w) = 0$$

$$f_1'(u+v-w) = -1$$

$$\begin{aligned}
& \frac{d}{dw} \int_{u+v-w}^{\infty} (x - u - v + w) f_{D(j,n)-R(i+1,k)}(x) dx \\
&= \int_{u+v-w}^{\infty} (1) f_{D(j,n)-R(i+1,k)}(x) dx + (\infty - u - v + w) f_{D(j,n)-R(i+1,k)}(x)(0) - (0)(-1) \\
&= \int_{u+v-w}^{\infty} (1) f_{D(j,n)-R(i+1,k)}(x) dx \tag{29}
\end{aligned}$$

O halde Opsiyon 2'nin beklenen maliyet fonksiyonunun w 'ya göre birinci türevinin alınması sonucunda (30) no'lu eşitlik elde edilmiş olacaktır.

$$\begin{aligned}
& \frac{dE[C^2(w, k, T)]}{dw} \\
&= \sum_{n=k}^T \left[h^s \int_0^{u+v-w} (-1) f_{D(j,n)-R(i+1,k)}(x) dx \right. \\
&\quad \left. + \pi \int_{u+v-w}^{\infty} 1 f_{D(j,n)-R(i+1,k)}(x) dx + h^r \right] \\
&= \sum_{n=k}^T \left[-h^s F_{D(j,n)-R(i+1,k)}(u+v-w) \right. \\
&\quad \left. + \pi \left(1 - F_{D(j,n)-R(i+1,k)}(u+v-w) \right) + h^r \right] \\
&= \sum_{n=k}^T \left[(-h^s - \pi) F_{D(j,n)-R(i+1,k)}(u+v-w) + (\pi + h^r) \right] \tag{30}
\end{aligned}$$

(30) no'lu eşitliğin w 'ye göre ikinci türevi alınarak $E[C^2(w, k, T)]$ fonksiyonunun konveks bir fonksiyon olup olmadığının tespit edilmesi gerekir.

$$\frac{d^2 E[C^2(w, k, T)]}{dw^2} = \sum_{n=k}^T \left[(h^s + \pi) f_{D(j,n)-R(i+1,k)}(u+v-w) \right] \tag{31}$$

Yukarıdaki ifadedeki maliyet parametreleri tanım gereği sıfırdan büyüktür ve olasılık yoğunluk fonksiyonu tanım gereği her zaman pozitif değer vermektedir. O halde, ikinci türevin, $u + v - w$ 'nin sıfıra eşit veya sıfırdan büyük olduğu tanım

aralığında hep pozitif olması, $E[C^2(w, k, T)]$ fonksiyonunun konveks bir fonksiyon olduğunu göstermektedir. Bundan sonrasında (30) no'lu eşitlik sıfıra eşitlenerek, optimal w değerini verecek olan formülasyon (32) no'lu eşitlikteki gibi elde edilir. Bu eşitlikteki w^* sipariş indirme düzeyini temsil eder. Eşitliğin sağ tarafı ise Opsiyon 2'nin kritik oranı olarak adlandırılır.

$$\sum_{n=k}^T F_{D_{(j,n)}-R_{(i+1,k)}}(u + v - w^*) = \frac{(T - k + 1)(\pi + h^r)}{h^s + \pi} \quad (32)$$

(18) ve (31) no'lu eşitliklerde verilmiş olan Opsiyon 1 ve Opsiyon 2'nin kritik oranları ile ilgili önemli bir husus, kritik oranın her zaman sağlanıp sağlanamayacağı konusudur. Opsiyon 1'de, sipariş yükseltme düzeyine ulaşmayı engelleyecek herhangi bir kısıt olmadığından, kritik oran ne kadar yüksek olursa olsun, her zaman sağlanabilmektedir. Opsiyon 2'de ise sadece yeniden üretim siparişi verilebildiği için kritik orana ulaşmayı engelleyecek kısıt, zaman penceresinin başlangıç periyodundaki dönen ürün envanter düzeyidir. Daha önce de belirtildiği üzere, (k, T) zaman penceresi için sipariş indirme düzeyinin sıfır ile $v + R_{(i+1,k)}$ arasında olduğu ancak bu ifadeyi hesapsal yöntemler açısından kesin olarak dikkate almanın kolay olmamasından dolayı $0 \leq w \leq v + \bar{R}_{(i+1,k)}$ ifadesine yaklaşıldığı varsayılmıştır. Buna göre, k periyodunun başında verilen yeniden üretim siparişi ile dönen ürün envanterindeki bütün ürünler yeniden üretilse bile kritik oran sağlanmayabilir. Kritik oranının sağlanmadığı böyle bir durumda yani konveks fonksiyonun minimum noktası tanım aralığının alt sınırının solunda bulunduğu durumda, alt sınır minimum nokta olur. Diğer bir ifade ile, Opsiyon 2'nin beklenen maliyeti sipariş indirme düzeyi sıfıra eşitlenerek ($w = 0$) hesaplanır.

3.2.3. Opsiyon 3: “Önce Yeniden Üret, Sonra Üret”

Bu opsiyon, Teunter ve diğerleri (2006)'nin bu tezde ele alınan problemin basit versiyonları için gösterdikleri, eğer aynı periyotta hem üretim hem de yeniden üretim siparişi verilmek isteniyorsa optimal üretim politikasının “önce yeniden üret, sonra üret” politikasını takip edeceği beklentisi ile oluşturulmuştur. Bu

politikaya göre öncelikle yeniden üretim siparişi verilecek, üretim siparişi ise sadece ve sadece yeniden üretim siparişi ile dönen ürün envanter düzeyi sifıra indirilmiş ise gerçekleştirilecektir. Aksi taktirde bu opsiyon dikkate alınmayacaktır. Opsiyonun çalışma prensibi aşağıda incelenmiştir.

Bu opsiyona göre öncelikle (k, T) zaman penceresi için Opsiyon 2'de hesaplanan dönen ürün envanter düzeyinin indirildiği seviyeye diğer bir ifade ile w 'ya bakılması gerekir. w sifıra eşit olduğunda yani dönen ürün envanterindeki bütün ürünler yeniden üretilerek kullanılabilir ürün envanterine aktarıldığında bile (32) no'lu eşitlikteki kritik oran sağlanmıyorsa, bu durum (k, T) zaman penceresindeki beklenen talebi karşılayabilmek için verilen yeniden üretim siparişinin yeterli olmadığı, diğer bir ifade ile daha fazla kullanılabilir ürün envanterine ihtiyaç duyulduğu anlamına gelir. Böyle bir durumda önce yeniden üretim siparişi verilerek w sifıra indirilir. k periyodunun başında verilen bu yeniden üretim siparişinden bağımsız olarak, yine k periyodunun başında bir üretim siparişi verilerek kullanılabilir ürün envanter düzeyi belirli bir seviyeye (u) yükseltilir. Bu noktada üretim ve yeniden üretim siparişleri arasındaki bağlantının yani sipariş indirme ve yükseltme düzeyi arasındaki ilişkinin göz ardı edildiği açıktır. Opsiyon 3, Opsiyon 2'deki kritik oranının sağlanmaması durumunda ortaya çıkacak beklenen stoksuz kalma maliyetini önemli oranda azaltmasına rağmen, u ve w düzeyleri arasındaki bağlantının göz ardı edilmesi ve iki kurulum maliyetine aynı anda katlanması durumları dikkate alınarak optimizasyon içerisinde değerlendirilmelidir. Bu nedenle $w = 0$ olduğunda kritik oran sağlanmıyorsa Opsiyon 2 ve Opsiyon 3'ten birinin diğerine üstün gelme gibi bir durumu yoktur ve iki opsiyonla da beklenen maliyet hesabı yapılmalıdır.

(k, T) zaman penceresi için "önce yeniden üret, sonra üret" opsiyonunun beklenen maliyet fonksiyonu, $E[C^3(u, k, T)]$ şeklinde tanımlanır ve aşağıdaki maliyetlerden oluşur:

(Yeniden üretim kurulum maliyeti)

+ (Üretim kurulum maliyeti)

+ (kullanılabilir ürünleri elde bulundurma maliyetinin beklenen değeri)

+ (stoksuz kalma maliyetinin beklenen değeri)

+ (dönen ürünleri elde bulundurma maliyetinin beklenen değeri)

$$\begin{aligned}
 E[C^3(u, k, T)] &= K^r + K^m \\
 &+ \sum_{n=k}^T \left[h^s \int_{-\infty}^{\infty} \max(u - x, 0) f_{D(k,n)}(x) dx \right. \\
 &\left. + \pi \int_{-\infty}^{\infty} \max(x - u, 0) f_{D(k,n)}(x) dx + h^r \int_{-\infty}^{\infty} y f_{R(k+1,n)}(y) dy \right] \quad (33)
 \end{aligned}$$

(33) no'lu eşitlikte verilmiş olan Opsiyon 3'ün beklenen maliyet fonksiyonunda, sadelik açısından $D_{(k,n)}$ rassal değişkeni için integral değişkeni x ve $R_{(k+1,n)}$ rassal değişkeni için integral değişkeni y kullanılmıştır. Bu fonksiyonda Opsiyon 1'in beklenen maliyet fonksiyonundan farklı olarak yeniden üretim kurulum maliyeti de bulunmaktadır. Ayrıca Opsiyon 1'de kullanılan iki basamaklı yapının Opsiyon 3 için de kullanılmasına gerek yoktur. Bunun nedeni k periyodunun başlangıcında yeniden üretim siparişi verilerek dönen ürün envanter düzeyinin sıfıra indirildiğinin bilinmesidir. Bu durum $E[C^3(u, k, T)]$ fonksiyondaki ikinci basamak bilgilerinin, $i = k$ ve $v = 0$ şeklinde değişmesine neden olacaktır. Yeniden üretim siparişinin kurulum maliyeti ve dönen ürünleri elde bulundurma maliyetinin beklenen değeri dışındaki her şeyin Opsiyon 1 ile aynı olmasından dolayı (33) no'lu eşitlikteki $E[C^3(u, k, T)]$ fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned}
 E[C^3(u, k, T)] &= K^r + K^m \\
 &+ \sum_{n=k}^T [h^s(u - \bar{D}_{(k,n)}) + (h^s + \pi)\sigma_{(k,n)}G(z_n) + h^r(\bar{R}_{(k+1,n)})] \quad (34)
 \end{aligned}$$

Yukarıda bahsedilen hususlar dışında (34) no'lu eşitliğin u 'ya göre birinci ve ikinci türevi Opsiyon 1 ile aynı olacağından, optimal sipariş yükseltme düzeyini bulmak için Opsiyon 1'in kritik oranının kullanılması yeterlidir. Diğer bir ifade ile Opsiyon 1 ve Opsiyon 3'ü ayıran temel noktalar yeniden üretim siparişinin kurulum maliyeti ve dönen ürünleri elde bulundurma maliyetinin beklenen değeri olduğundan ve söz konusu maliyetler de sipariş yükseltme düzeyi olan u değerine bağlı olmadığından Opsiyon 1 ve Opsiyon 3'ün kritik oranları birbirine eşittir. Diğer

opsiyonlarda olduğu gibi bu opsiyonda da periyot başına beklenen maliyetin bulunması için beklenen maliyet fonksiyonun (k, T) zaman penceresindeki periyot sayısına bölünmesi gerekmektedir.

$$\begin{aligned} & \frac{E[C^3(u, k, T)]}{T - k + 1} \\ &= \frac{K^r + K^m + \sum_{n=k}^T [h^s(u - \bar{D}_{(k,n)}) + (h^s + \pi)\sigma_{(k,n)}G(z_n) + h^r(\bar{R}_{(k+1,n)})]}{T - k + 1} \end{aligned} \quad (35)$$

3.2.4. Opsiyon 4: “Sipariş Verme”

Opsiyon 1, 2 ve 3'e ek olarak, sadece bir periyotluk sipariş kararlarında sipariş vermemek de bir opsiyon olarak düşünülmelidir. Özellikle üretim ve/veya yeniden üretim kurulum maliyetinin yüksek, buna karşılık stoksuz kalma maliyetinin düşük olduğu durumlarda sipariş vermemenin beklenen maliyetinin diğer opsiyonlara kıyasla daha düşük çıkması olasıdır. İşletme böyle bir durumda sipariş vermeyerek stoksuz kalma maliyetine katlanmayı seçebilir.

Bu opsiyonda üretim ve/veya yeniden üretim siparişi verilmeyeceği için diğer opsiyonlarda olduğu gibi beklenen maliyet fonksiyonunu minimize edecek bir karar değişkeni yoktur. Diğer bir ifade ile, sipariş yükseltme veya sipariş indirme düzeyi aranmayacaktır. Burada amaç işletmenin sipariş vermemesi durumunda karşılaşılabilecek beklenen maliyetin hesaplanmasıdır. Beklenen maliyet fonksiyonunu yazılabilmek için sipariş kararının verileceği periyottan önceki üretim ve yeniden üretim siparişlerinin bilgilerinden yararlanır.

Sipariş vermemenin beklenen maliyet fonksiyonu dört basamaklı bir yapı kullanılarak yazılır ve her basamak için aşağıda belirtilmiş bilgilere ihtiyaç duyulur.

- 1. Basamak: Sipariş vermeme kararının değerlendirildiği periyot k ($k \leq N$),
- 2. Basamak: k periyodundan önceki en yakın yeniden üretim siparişinin verildiği periyot h ($h \leq k$) ve bu yeniden üretim siparişi ile dönen ürün envanter düzeyinin indirildiği seviye w ,

- 3. Basamak: k periyodundan önceki en yakın üretim siparişinin verildiği periyod j ($j \leq k$) ve bu üretim siparişi ile kullanılabilir ürün envanter düzeyinin yükseltildiği seviye u ,
- 4. Basamak: j periyodundan önceki en yakın yeniden üretim siparişinin verildiği periyod i ($i \leq j$) ve bu yeniden üretim siparişi ile dönen ürün envanter düzeyinin indirildiği seviye v .

k periyodunda sipariş vermemenin beklenen maliyet fonksiyonu $E[C^4(k)]$ ile ifade edilir ve aşağıdaki maliyetlerden oluşur:

(Kullanılabilir ürünleri elde bulundurma maliyetinin beklenen değeri)

+ (stoksuz kalma maliyetinin beklenen değeri)

+ (dönen ürünleri elde bulundurma maliyetinin beklenen değeri)

$E[C^2(w, k, T)]$

$$\begin{aligned}
&= h^s \int_{-\infty}^{\infty} \max(u + v - w - x, 0) f_{D_{(j,k)} - R_{(i+1,h)}} dx \\
&+ \pi \int_{-\infty}^{\infty} \max(x - u - v + w, 0) f_{D_{(j,k)} - R_{(i+1,h)}} dx \\
&+ h^r \int_{-\infty}^{\infty} (w + y) f_{R_{(h+1,k)}} dy
\end{aligned} \tag{36}$$

Sadelik adına, $D_{(j,k)} - R_{(i+1,h)}$ rassal değişkeni integral değişkeni x ve $R_{(h+1,k)}$ rassal değişkeni integral değişkeni y ile ifade edilmiştir. $D_{(j,k)} - R_{(i+1,h)}$ rassal değişkeninin varyansı ve Opsiyon 3'ün n . periyottaki standartlaştırılmış değişkeni ise sırasıyla (37) ve (38) no'lu eşitlikler ile hesaplanmaktadır.

$$\sigma^2_k = \sum_{t=j}^k (\sigma_t^D)^2 + \sum_{t=i+1}^h (\sigma_t^R)^2 \tag{37}$$

$$z_n = \frac{u + v - w - \bar{D}_{(j,k)} + \bar{R}_{(i+1,h)}}{\sigma_{(k)}} \tag{38}$$

O halde $E[C^4(k)]$ fonksiyonunu, Opsiyon 2'nin beklenen maliyet fonksiyonuna benzerliğinden yararlanarak (39) no'lu eşitlikteki gibi yazmak mümkündür.

$$E[C^4(k)] = h^s(u + v - w - \bar{D}_{(j,k)} + \bar{R}_{(i+1,h)}) + (h^s + \pi)\sigma_{(k)}G(z_n) + h^r(w + \bar{R}_{(h+1,k)}) \quad (39)$$

Bu opsiyonda diğer opsiyonlardan farklı olarak zaman penceresi yerine tek bir periyot için beklenen maliyet fonksiyonu oluşturulduğundan, beklenen maliyet fonksiyonu hesaplandığı periyot için periyot başına beklenen maliyeti vermektedir. Bu opsiyon için dikkat edilmesi gereken husus, zaman penceresinin bir periyodu kapsadığı durumlar için beklenen maliyet hesabı yapılacağıdır.

Geliştirilen sezgisel algoritmada, buraya kadar incelenmiş olan söz konusu dört opsiyon ile elde edilen sipariş indirme ve yükseltme düzeylerine her zaman ulaşıldığı varsayılmıştır. Diğer bir ifade ile, bu düzeylerin altında veya üstünde kalma durumları göz ardı edilmiştir. Bu durum, opsiyonların maliyet fonksiyonları ile elde edilecek değerlerin kesin değerler olmadığını, yani yaklaşık değerler olarak algılanmaları gerektiğini ifade etmektedir.

3.2.5. Tanımlayıcı Örnek

Bu başlık altında, geliştirilen sezgisel algoritmanın çalışma prensibinin gösterilmesi amacıyla bir adet tanımlayıcı örnek sunulacaktır. Planlama ufkunun dört periyottan oluştuğu bu örnekte kullanılan parametreler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Tanımlayıcı Örnekte Kullanılan Parametre Değerleri

Periyotlar	1	2	3	4
\bar{D}	101	94	105	105
\bar{R}	28	30	30	25
K^m, K^r	200			
h^s	1			
h^r	0,8			
π	8			
ρ	0,2			

Buna göre, öncelikle birinci periyottan başlayarak algoritmada önerilmiş olan dört opsiyon için periyot başına beklenen maliyetler hesaplanır. Tanımlayıcı örnek için hesaplanan periyot başına beklenen maliyetler Tablo 2’de verilmiştir. Ardından, ilgili zaman penceresinin periyot başına en düşük beklenen maliyete sahip olan opsiyonu belirlenir. Belirlenen bu maliyetler Tablo 2’de minimum sütunu altına kaydedilmiştir. Zaman penceresi, periyot başına en düşük beklenen maliyetin yükselmeye başladığı yere kadar genişletilir ve en düşük olduğu noktada yani (1,2) zaman penceresi için ilgili maliyete karşılık gelen opsiyon ile sipariş verilmesi kararlaştırılır. Periyot başına en düşük maliyet Opsiyon 1’e, yani “sadece üret” opsiyonuna karşılık geldiği için 1. periyodun başında verilen üretim siparişi ile 2. periyodun sonuna kadar gerçekleşecek olan talebin karşılanması hedeflenir.

Tablo 2. Tanımlayıcı Örnek için Periyot Başına Beklenen Maliyet Tablosu

Zaman Penceresi	Opsiyon 1	Opsiyon 2	Opsiyon 3	Opsiyon 4	Minimum
(1, 1)	262,43	728,05	434,43	836	262,43
(1, 2)	226,78	1018,83	298,78	-	226,78
(1, 3)	264,23	1406,42	302,89	-	264,23
(3, 3)	325,39	271,11	435,80	761,58	271,11
(3, 4)	291,90	455,83	302,30	-	291,90
(4,4)	255,80	636,33	435,80	640,56	255,80

Bu sipariş kararının verilmesinin ardından zaman penceresinin başlangıç periyodu 3. periyot olacak şekilde güncellenir. Ancak zaman penceresi genişletildiğinde, ilgili zaman penceresindeki periyot başına en düşük beklenen maliyet arttığı için sadece 3. periyottaki talebi karşılamak için bir yeniden üretim siparişi verilir ve zaman penceresinin başlangıcı 4. periyot olacak şekilde tekrar güncellenir.

Bu tanımlayıcı örnek için planlama ufku dört periyottan oluştuğundan, zaman penceresi daha fazla genişletilemeyecektir. Son olarak, sadece 4. periyottaki

talebi karşılamak için en düşük beklenen maliyete sahip olan opsiyon yani Opsiyon 1'in uygulanmasına karar verilir. Buna göre, bu örnek için 1. ve 4. periyotta üretim siparişi, 3. periyotta ise yeniden üretim siparişi verilmesinin kararı alınmış olur.

3.3. GERİ DÖNÜŞLÜ EKONOMİK PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ PROBLEMİNİN KARMA TAMSAYILI PROGRAMLAMA MODELİ

Bu başlık altında, deterministik varsayım ile çalışan GD-EPBP'nin literatürde yer alan karma tamsayılı programlama modeli incelenecektir. Bir önceki bölümde, talep ve dönen ürün miktarlarının stokastik olduğu sistem için geliştirilen hesapsal açıdan verimli sezgisel algoritmanın performansı ile alakalı bulgulara ulaşmak için talep ve dönen ürün miktarlarının deterministik olduğunun varsayıldığı bu modelden yararlanılacaktır.

Başlık 3.1.1.'de verilen genel notasyona ek olarak karma tamsayılı programlama modelinde kullanılacak olan notasyon aşağıdaki gibidir.

d_n	n . periyottaki rassal olmayan talep miktarı
r_n	n . periyottaki rassal olmayan dönen ürün miktarı
i_n^r	n . periyodun sonundaki dönen ürün envanter düzeyi
i_n^s	n . periyodun sonundaki kullanılabilir ürün envanter düzeyi
q_n^r	n . periyottaki yeniden üretilen ürün miktarı
q_n^m	n . periyottaki üretilen ürün miktarı
$(i_n^s)^+$	n . periyodun sonundaki elde bulundurulan kullanılabilir ürün miktarı
$(i_n^s)^-$	n . periyodun sonundaki gecikmeli olarak teslim edilecek kullanılabilir ürün miktarı

γ_n^r	n . periyottaki yeniden üretim kurulum maliyeti için 0 – 1 değişkeni
γ_n^m	n . periyottaki üretim kurulum maliyeti için 0 – 1 değişkeni
M	Büyük bir tamsayı

Problem tanımında bahsedilen diğer varsayımlar aynı kalmak koşulu ile deterministik problemin optimizasyon modeli aşağıdaki şekilde kurulmaktadır.

$$\min \sum_{n=1}^N K^r \gamma_n^r + K^m \gamma_n^m + h^r i_n^r + h^s (i_n^s)^+ + \pi (i_n^s)^- \quad (40)$$

Öyle ki:

$$i_{n-1}^r + r_n - q_n^r = i_n^r \quad \forall n = 1, \dots, N \quad (41)$$

$$i_{n-1}^s + q_n^r + q_n^m - d_n = i_n^s \quad \forall n = 1, \dots, N \quad (42)$$

$$q_n^r \leq M_n \gamma_n^r \quad \forall n = 1, \dots, N \quad (43)$$

$$q_n^m \leq M_n \gamma_n^m \quad \forall n = 1, \dots, N \quad (44)$$

$$i_n^s = (i_n^s)^+ - (i_n^s)^- \quad (45)$$

$$(i_n^s)^+ \geq i_n^s \quad (46)$$

$$(i_n^s)^- \geq -i_n^s \quad (47)$$

$$i_0^s = i_0^r = 0 \quad \forall n = 1, \dots, N \quad (48)$$

$$\gamma_n^r, \gamma_n^m \in \{0,1\} \quad \forall n = 1, \dots, N \quad (49)$$

$$q_n^r, q_n^m, i_n^r, (i_n^s)^+, (i_n^s)^- \geq 0 \quad \forall n = 1, \dots, N \quad (50)$$

$$i_n^s: \text{serbest değişken} \quad \forall n = 1, \dots, N \quad (51)$$

Karma tamsayılı programlama modelinin (40)'ta verilen amaç fonksiyonu tüm ilgili kurulum, elde bulundurma ve stoksuz kalma maliyetlerini minimize etmeyi amaçlamaktadır. Modelde yer alan (41) ve (42) sırasıyla dönen ürün ve

kullanılabilir ürün envanter dengesini sağlayan eşitliklerdir. Bu eşitlikler n . periyodun başındaki envanter düzeyini gerekli kalemlerin giriş ve çıkışını yaptıktan sonra n . periyodun sonundaki envanter düzeyine eşitleyerek stok dengesini sağlamış olur.

Bir üretim ve/veya yeniden üretim siparişi verildiğinde kurulum maliyetinin amaç fonksiyonuna yansması ise (43) ve (44)'teki 0 – 1 ikili değişkenleri ile sağlanmaktadır. Eğer n . periyotta bir yeniden üretim siparişi verilirse $\gamma_n^r = 1$, verilmez ise $\gamma_n^r = 0$ olacaktır. Aynı mantıkla, n . periyotta bir üretim siparişi verilmesi durumunda γ_n^m ifadesi bire, verilmemesi durumunda ise sifıra eşitlenecektir. M ifadesinin kullanılma nedeni n . periyotta üretilen ve yeniden üretilen toplam ürün miktarının söz konusu periyottan planlama ufkunun sonuna kadarki toplam talebi aşmamasını sağlamaktır.

(45)'te n . periyodun sonundaki kullanılabilir ürün envanter düzeyi, elde bulundurulmuş ürün miktarı ve gecikmeli olarak teslim edilecek olan ürün miktarı arasındaki fark şeklinde yazılmıştır. (46) ve (47) ise n . periyodun sonundaki kullanılabilir ürün envanter düzeyinin negatif olması durumunda $(I_n^s)^+$ ifadesini, pozitif olması durumunda ise $(I_n^s)^-$ ifadesini sifıra eşitleyerek elde bulundurma ve elde bulundurmama maliyetlerinin amaç fonksiyonuna doğru bir şekilde yansmasını sağlanmaktadır. (48) ile kullanılabilir ürün ve dönen ürün giriş envanterleri sifıra eşitlenmiş ve son olarak (50) ve (51)'de modelde yer alan tüm değişkenlerin üst ve alt sınırları tanımlanmıştır. Kullanılabilir ürün envanter düzeyi negatif değerler alabilmesinden dolayı diğer değişkenlerden ayrı olarak yazılmıştır. Bunun sebebi problemimizde gecikmeli teslim varsayımı yapılmış olmasıdır.

Yukarıda modellenmiş olan GD-EPBP, NP-Zor karmaşıklık seviyesinde bir problemdir (Helmrich ve diğerleri, 2014). Diğer bir ifade ile uzun bir planlama ufku için problemin optimal çözümüne makul sürelerde ulaşmak zordur ve problemin optimal çözümünün polinom zamanlı bir algoritma ile elde edilemeyeceği açıktır. Bunun yanı sıra, deterministik varsayımla çalışan bu model stokastik talep ve dönen ürün varsayımı altında optimal sonucu vermeyebilir. Bu nedenle GD-EPBP'nin karma tamsayılı programlama modeli, bu tez çalışması kapsamında

geliştirilen sezgisel algoritmanın performansı ile alakalı bulgulara ulaşmak amacıyla, stokastik talep ve dönen ürün varsayımı altında sezgisel bir yöntem olarak kullanılacak ve bundan sonra “Deterministik Sezgisel” olarak adlandırılacaktır. Dolayısıyla, Deterministik Sezgisel, stokastik varsayım altında talep ve dönen ürün miktarlarının beklenen değerleri ile çalışmaktadır.

3.4. NÜMERİK ÇALIŞMA

Nümerik çalışmanın amacı bu tez çalışması kapsamında talep ve dönen ürün miktarlarının stokastik olduğu varsayımı altında ele alınan GD-EPBP'nin çözümü için önerilmiş olan sezgisel algoritmanın performansını araştırmaktır. Bu amaçla algoritmanın performansı üzerinde etkili olabilecek çeşitli faktörlerin hesaba katıldığı geniş bir test seti üretilmiştir.

Maliyet parametrelerinin model üzerindeki etkilerini gözlemleyebilmek amacı ile düşük, orta ve yüksek seviyelerde alabilecekleri değerler göz önünde bulundurulmuştur. Bu bağlamda üretim ve yeniden üretim kurulum maliyetleri $K^m = \{200, 500, 2000\}$ ve $K^r = \{200, 500, 2000\}$ olarak düşünülmüştür.

Kullanılabilir ürünleri elde bulundurma maliyeti $h^s = 1$, kullanılabilir ürünleri elde bulundurmama maliyeti $\pi = \{2, 5, 10\}$ ve dönen ürünleri elde bulundurma maliyeti $h^r = \{0,2, 0,5, 0,8\}$ olacak şekilde planlanmıştır. Önerilen algoritmanın planlama ufkunun uzadığı durumlarda nasıl tepki vereceğini ölçebilmek amacı ile $N = \{18, 20, 24\}$ olarak dikkate alınmıştır.

Talep ve dönen ürünlerin planlama ufku boyunca sabit bir değişim katsayısı ile normal olarak dağıldığı varsayılmış ve değişim katsayısı $\rho = \{0,1, 0,2, 0,3\}$ olarak belirlenmiştir. Planlama ufkundaki her periyot için beklenen talep miktarları $[0, 200]$ aralığında, nispeten düşük ve yüksek dönen ürün oranlarını dikkate alabilmek adına beklenen dönen ürün miktarları ise $[0, 50]$ ve $[0, 100]$ aralığında uniform dağılımdan çekilmiştir. Her planlama ufku, talep ve dönen ürün oranı kombinasyonu için ise 10 adet rasgele problem örneği üretilmiştir.

Elde edilen beklenen talep miktarları Tablo 3'te ve beklenen dönen ürün miktarları Tablo 4'te verilmiştir. Böylece toplamda $20 * 3 * 3 * 3 * 3 * 3 * 3 = 14580$ adet problem ele alınmıştır.

Tablo 3. Nümerik Çalışma için Üretilen Beklenen Talep Miktarları

		Periyotlar																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N = 18	140	168	135	145	190	3	83	10	20	102	40	149	39	140	59	155	2	23	-	-	-	-	-	-	-
	53	136	129	182	118	198	132	5	8	195	53	150	192	141	48	89	19	175	-	-	-	-	-	-	-
	27	92	145	9	2	185	33	45	135	30	182	153	5	133	180	141	174	102	-	-	-	-	-	-	-
	85	115	21	23	193	188	140	167	199	124	189	153	34	37	106	129	179	117	-	-	-	-	-	-	-
	70	28	115	149	145	94	48	163	59	13	75	68	67	1	191	160	187	154	-	-	-	-	-	-	-
	62	57	138	94	9	74	115	42	149	106	7	11	88	6	138	16	132	198	-	-	-	-	-	-	-
	27	146	47	74	114	76	57	31	5	177	27	7	196	4	3	57	94	193	-	-	-	-	-	-	-
	133	162	124	95	19	186	119	106	16	186	182	101	170	37	157	172	162	172	-	-	-	-	-	-	-
	98	22	58	179	199	60	171	24	44	146	62	194	28	114	93	90	180	49	-	-	-	-	-	-	-
126	102	84	196	44	121	80	148	103	187	197	65	63	81	78	22	99	192	-	-	-	-	-	-	-	
N = 20	119	142	154	89	186	156	104	174	143	54	10	107	26	49	24	170	3	90	15	51	-	-	-	-	
	53	50	20	164	80	62	99	174	197	106	191	99	126	57	98	40	124	4	178	89	-	-	-	-	
	176	42	170	64	139	45	146	159	94	185	81	80	167	161	6	25	161	66	12	177	-	-	-	-	
	140	33	13	185	163	94	99	93	19	122	83	14	61	13	190	185	6	88	72	127	-	-	-	-	
	120	134	130	59	20	25	158	145	170	161	27	191	138	137	74	77	50	68	169	139	-	-	-	-	
	93	162	34	123	187	58	7	168	161	124	194	78	93	170	178	63	80	152	75	186	-	-	-	-	
	69	183	199	170	129	53	92	122	6	168	166	93	111	113	84	7	145	127	32	57	-	-	-	-	
	39	140	31	157	193	182	18	97	50	105	128	147	66	113	81	108	122	25	88	164	-	-	-	-	
	185	163	109	108	193	64	105	179	91	118	62	171	146	52	178	84	138	73	173	157	-	-	-	-	
198	173	141	58	80	87	117	54	13	28	157	95	176	4	155	68	11	166	67	52	-	-	-	-		
N = 24	198	190	40	116	191	131	69	155	185	121	56	23	33	69	143	169	140	28	26	107	80	81	48	185	
	143	19	40	150	3	194	46	86	62	177	186	114	175	34	193	69	55	135	61	121	71	100	75	66	
	55	157	33	164	182	154	15	31	151	107	97	194	138	49	197	157	20	54	194	84	152	99	153	43	
	48	134	171	5	114	32	33	114	151	128	194	55	73	181	113	40	118	141	107	27	185	93	167	76	
	174	38	188	169	110	114	154	34	99	161	19	58	120	144	118	73	174	198	142	82	61	71	88	22	
	153	66	142	53	46	34	136	152	26	24	182	144	12	160	183	44	163	187	133	41	123	32	49	134	
	168	183	90	31	109	138	13	163	52	5	39	148	94	156	97	107	44	114	84	124	117	184	189	32	
	171	144	182	107	128	183	170	54	43	114	59	44	134	14	69	16	153	168	65	21	62	143	55	72	
	181	23	31	130	16	85	147	88	168	190	109	98	122	102	105	137	79	103	173	110	84	20	100	5	
	110	55	21	15	41	87	27	76	14	149	79	9	165	80	32	151	174	86	63	68	134	124	57	59	

Tablo 4. Nümerik Çalışma için Üretilen Beklenen Dönen Ürün Miktarları

		Periyotlar																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N = 18	6	13	2	36	17	10	45	48	27	13	29	16	44	31	41	27	21	37	-	-	-	-	-	-	-
	53	61	79	71	42	17	80	43	14	86	83	67	64	3	78	80	36	18	-	-	-	-	-	-	-
	46	31	5	31	29	21	18	19	11	4	36	37	32	48	44	23	10	8	-	-	-	-	-	-	-
	27	99	49	19	92	85	42	50	35	97	8	30	1	83	3	32	38	9	-	-	-	-	-	-	-
	3	13	39	36	27	39	26	44	3	19	6	15	12	19	25	34	35	22	-	-	-	-	-	-	-
	53	14	35	72	67	27	82	58	23	12	19	75	55	30	42	37	85	58	-	-	-	-	-	-	-
	20	38	7	43	27	37	5	40	17	43	41	29	41	1	25	13	38	25	-	-	-	-	-	-	-
	6	32	73	80	28	72	86	46	28	19	6	64	57	93	33	37	9	40	-	-	-	-	-	-	-
	14	9	41	35	22	8	32	25	13	45	10	22	43	28	39	42	3	46	-	-	-	-	-	-	-
	13	85	77	47	69	55	38	48	55	27	83	88	6	19	76	52	56	38	-	-	-	-	-	-	-
	23	2	16	9	45	7	39	48	4	12	34	3	6	12	22	30	21	14	-	-	-	-	-	-	-
	62	73	97	92	37	48	8	51	5	87	48	50	39	29	88	86	93	17	-	-	-	-	-	-	-
	17	47	37	2	31	32	10	11	41	12	36	15	17	21	41	41	38	36	-	-	-	-	-	-	-
	59	56	85	38	96	92	2	81	63	1	4	18	13	88	54	37	90	57	-	-	-	-	-	-	-
	48	5	27	15	8	35	41	40	27	28	41	2	24	39	47	30	8	31	-	-	-	-	-	-	-
	70	31	49	89	88	68	14	2	21	25	66	50	49	47	43	28	11	4	-	-	-	-	-	-	-
	35	16	25	45	44	34	7	1	11	13	33	25	25	24	22	14	6	2	-	-	-	-	-	-	-
	82	42	18	77	8	40	84	79	21	4	27	81	38	92	46	41	72	68	-	-	-	-	-	-	-
44	14	6	10	47	11	30	34	19	33	33	46	41	36	34	45	26	38	-	-	-	-	-	-	-	
10	95	71	87	46	97	62	94	18	38	64	41	88	31	11	24	9	2	-	-	-	-	-	-	-	
N = 20	21	3	33	22	16	25	37	9	6	20	8	10	35	33	16	2	23	24	20	5	-	-	-	-	
	91	13	87	5	24	91	42	13	92	73	53	50	28	54	57	86	28	66	35	65	-	-	-	-	
	22	23	16	47	30	15	9	4	29	41	8	36	43	16	13	7	11	41	36	20	-	-	-	-	
	13	32	85	13	88	44	76	23	53	80	72	46	21	60	51	73	27	55	72	27	-	-	-	-	
	6	36	6	24	19	49	9	18	25	49	21	43	25	44	11	31	19	24	13	39	-	-	-	-	
	48	52	67	79	37	69	43	81	32	61	72	99	77	79	72	58	52	43	76	61	-	-	-	-	
	25	20	5	10	33	7	13	42	35	25	7	37	8	3	1	28	40	24	4	10	-	-	-	-	
	14	49	98	21	85	53	97	47	22	5	94	47	57	56	9	71	96	5	95	10	-	-	-	-	
	38	37	5	27	39	23	14	1	10	38	37	36	48	19	38	3	15	25	32	48	-	-	-	-	
	45	72	21	82	78	63	17	12	11	97	84	49	64	8	60	21	24	30	26	32	-	-	-	-	
	14	35	28	41	16	32	19	44	28	1	7	21	41	31	29	23	25	48	41	14	-	-	-	-	
	46	92	92	41	86	64	8	42	73	34	88	4	38	43	32	86	52	50	78	98	-	-	-	-	
	27	4	45	24	49	22	42	7	3	11	40	14	3	37	49	27	45	23	33	31	-	-	-	-	
	31	63	63	77	57	16	27	7	74	16	91	6	3	32	49	51	80	87	39	99	-	-	-	-	
	35	44	40	17	11	13	1	44	32	35	24	44	34	49	17	41	13	39	35	30	-	-	-	-	
	76	55	28	34	30	77	3	37	42	71	97	26	10	69	33	15	22	27	99	10	-	-	-	-	
	46	3	32	20	18	45	15	35	34	10	32	27	23	46	45	38	49	41	3	18	-	-	-	-	
	61	11	29	2	88	63	92	39	70	19	28	31	86	10	93	13	75	93	1	45	-	-	-	-	
42	15	49	40	23	29	16	38	2	45	44	40	37	38	32	47	30	49	5	7	-	-	-	-		
58	31	12	92	75	37	79	83	26	90	38	20	44	3	73	17	38	90	88	62	-	-	-	-		

Tablo 4. (Devam) Nümerik Çalışma için Üretilen Beklenen Dönen Ürün Miktarları

		Periyotlar																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N = 24	10	23	26	13	9	14	20	30	4	29	14	37	37	45	12	31	16	16	28	23	1	45	40	26	
	10	27	33	11	80	28	64	56	17	67	14	2	38	25	4	17	89	57	1	8	66	15	51	66	
	19	49	40	33	42	11	27	48	44	47	46	21	26	6	14	46	12	20	4	23	3	47	6	9	
	26	91	50	58	59	16	6	21	74	54	85	87	88	53	58	56	15	5	94	31	84	17	76	34	
	6	23	9	19	10	7	45	32	12	29	40	41	49	39	39	37	25	38	32	39	45	21	7	39	
	94	5	85	12	77	18	5	35	27	9	18	25	95	35	33	21	13	14	77	29	94	93	4	38	
	46	41	9	29	24	18	37	7	2	12	7	23	9	2	41	30	38	43	7	37	48	34	17	27	
	20	70	16	4	50	85	97	98	14	25	49	13	90	49	18	51	49	59	92	83	35	25	99	10	
	10	32	31	22	19	38	29	1	11	2	11	20	48	33	9	32	13	3	39	39	25	4	8	13	
	88	26	99	80	26	70	93	55	84	33	55	51	94	74	70	21	83	18	67	66	34	19	14	3	
	36	30	7	25	2	44	10	16	35	24	24	26	30	34	19	44	20	29	43	36	7	38	41	31	
	30	87	91	37	43	21	64	17	62	36	38	12	40	60	64	22	95	42	99	9	13	75	79	68	
	41	32	13	48	2	8	30	43	27	36	42	30	1	5	7	32	21	47	10	10	29	13	18	25	
	43	30	38	30	3	30	16	18	90	96	99	98	14	70	5	44	76	46	22	42	41	30	11	37	
	10	20	16	24	11	11	14	47	9	15	2	47	28	25	26	32	49	13	41	12	16	4	10	45	
	77	42	56	61	55	1	59	69	51	61	11	78	71	22	48	83	30	81	34	91	89	4	44	43	
	4	39	21	21	1	32	45	11	42	38	4	1	16	6	1	19	20	7	39	36	37	41	11	17	
	2	77	85	4	73	24	8	75	65	89	85	79	40	73	29	53	87	95	47	27	28	29	50	93	
	27	5	32	14	22	49	22	31	40	29	6	19	21	8	49	37	3	40	15	23	17	34	25	41	
	80	41	6	71	63	36	81	58	72	71	27	5	25	81	97	36	52	11	97	52	47	94	58	93	

Nümerik çalışma için üretilen problemler;

- Bu tez çalışmasında geliştirilen ve “Stokastik SM” olarak adlandırılan sezgisel algoritma ile,
- Stokastik SM’nin deterministik versiyonu olan ve “Deterministik SM” olarak adlandırılan sezgisel algoritma ile,
- Başlık 3.3. altında incelenen “Deterministik Sezgisel” ile çözümlenmiştir.

Yukarıda sıralanmış olan yöntemler kesin sonuçlar vermediği için her üç yöntem ile elde edilen envanter politikaları simülasyon girdisi olarak kullanılmıştır. Buradaki amaç biri stokastik yaklaşımla diğer ikisi ise deterministik yaklaşımla

çalışan söz konusu üç yöntemin farklı talep ve dönen ürün miktarlarına nasıl cevap vereceğini saptamak, diğer bir ifade ile belirsizliğin dikkate alınması halinde nasıl bir performans göstereceklerini gözlemlemektir. Her üç yöntem için de 10^5 simülasyon tekrarı gerçekleştirilmiştir. Tüm nümerik problemler Intel Core i5 1,70 GHz işlemci ve 8 GB belleğe sahip olan bir bilgisayar ile çözülmüştür. Söz konusu sezgisel algoritma Python programlama dili ile kodlanmıştır. Karma tamsayı programlama modelinin çözümünde ise Gurobi çözücü programı kullanılmıştır.

3.4.1. Geliştirilen Algoritmanın İşlemsel Etkinliği

Nümerik çalışma ile elde edilen sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir. Tablo 5, Stokastik SM, Deterministik SM ve Deterministik Sezgisel yöntemlerinin simülasyon sonuçlarını göstermektedir. Tabloda yer alan değerler her üç model için ortalama maliyet değerleridir. Fark sütununa ise Deterministik SM ve Deterministik Sezgisel ile elde edilen ortalama maliyetlerden minimum olanı ile Stokastik SM'nin ortalama maliyeti arasındaki yüzdesel farklar kaydedilmiştir. Elde edilen bulgular aşağıdaki gibidir.

Buna göre, planlama ufku uzunluğunun Stokastik SM'nin performansı üzerinde bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir. Planlama ufkunun farklı uzunluklarda olduğu her üç durumda da Sezgisel SM'nin, deterministik varsayımla çalışan yöntemlere üstün geldiği görülmektedir.

Diğer bir önemli nokta, değişim katsayısı ile alakalıdır. Değişim katsayısı düşükken problem deterministik duruma yaklaştığı için deterministik varsayımla çalışan yöntemler Stokastik SM'den daha iyi sonuç vermiştir. Değişim katsayısı arttığında ise bu durumun tam tersi gerçekleşmiştir. Tablodan açıkça görüldüğü üzere ρ 'nin 0,1 ve 0,3 olması arasında Stokastik SM'nin performansı açısından oldukça ciddi bir fark bulunmaktadır. Bu bulgudan yola çıkarak, nümerik çalışmada çözülen problem örnekleri incelendiğinde Stokastik SM'nin performansının nispeten düşük olduğu durumların yine değişim katsayısının

düşük olduğu yani problemin deterministik bir yapıya yaklaştığı durumlara denk geldiği gözlemlenmiştir.

Tablo 5. Nümerik Çalışma Özet Tablosu

		Stokastik SM	Deterministik SM	Deterministik Sezgisel	Fark
N	18	7850,42	8136,94	8201,73	3,65%
	20	8954,94	9223,05	9560,46	2,99%
	24	10720,62	11057,97	11467,63	3,15%
K^r	200	7757,33	8158,11	8672,14	5,17%
	500	8724,57	9020,37	9374,99	3,39%
	2000	11044,09	11239,47	11182,68	1,25%
K^m	200	6081,83	6430,37	7701,49	5,73%
	500	7802,96	8166,88	8848,20	4,66%
	2000	13641,19	13820,71	12680,12	-7,05%
h^r	0,2	8062,54	8360,31	8755,44	3,69%
	0,5	9250,29	9543,89	9838,98	3,17%
	0,8	10213,15	10513,75	10635,39	2,94%
π	2	8645,89	8639,20	8112,14	-6,17%
	5	9276,14	9443,67	9643,63	1,81%
	10	9603,96	10335,08	11474,04	7,61%
ρ	0,1	8701,35	8825,69	8270,91	-4,95%
	0,2	9152,98	9437,74	9651,62	3,11%
	0,3	9671,66	10154,52	11307,28	4,99%
$E R$	[0,50]	8808,38	9050,52	9402,62	2,75%
	[0,100]	9542,28	9894,79	10083,92	3,69%
Tüm durumlar		9175,33	9472,65	9743,27	3,24%

Öte yandan, üretim ve yeniden üretim kurulum maliyeti için bu durumun tam tersi söz konusudur. Kurulum maliyetleri arttıkça Stokastik SM'nin performansı düşmüştür. Buna rağmen sadece üretim kurulum maliyetinin 2000'e eşit olduğu noktada Stokastik SM, deterministik varsayımla çalışan yöntemlere göre

ortalama %7 civarında daha kötü sonuç vermiştir. Kurulum maliyetlerinin diğer değerleri için ise Stokastik SM'nin performansı daha yüksektir. Söz konusu radikal düşüşün özellikle üretim kurulum maliyetinde gerçekleştiği dikkat çekmektedir. Benzer bir etki elde bulundurmama maliyetinde de gözlemlenmektedir. Buna göre elde bulundurmama maliyeti arttıkça Stokastik SM'nin performansı yükselmektedir. Sezgiselin neden böyle bir harekette bulunduğunu öngörmek oldukça zor olmasına rağmen, Stokastik SM'nin diğer iki yöntemle göre daha kötü sonuç verdiği durumlar bu iki maliyet parametresi özelinde incelenirse (yüksek kurulum maliyeti ve düşük elde bulundurmama maliyeti) genel bir yorumda bulunulabilir. Yüksek kurulum maliyeti ve düşük elde bulundurmama maliyetinin envanter politikaları üzerindeki genel etkisi sipariş sıklığını düşürme ve elde daha çok envanter bulundurma eğiliminde olma şeklindedir. Buna göre, Stokastik SM sipariş verme sıklığının azaldığı ve elde daha çok envanter tutma zorunluluğu olduğu durumlarda daha düşük performans göstermektedir.

Dönen ürünleri elde bulundurma maliyeti, kullanılabilir ürünleri elde bulundurma maliyetinden uzaklaştıkça Stokastik SM daha iyi sonuç vermiştir. Böyle bir durumda dönen ürünlerin anlamlı bir büyüklüğe ulaşana kadar elde tutulup yeniden üretilmesi oldukça mantıklı bir yaklaşımdır. Aksi takdirde boş yere daha yüksek olan kullanılabilir ürünleri elde bulundurma maliyetine katlanılacaktır. Dönen ürünleri elde bulundurma maliyeti, kullanılabilir ürünleri elde bulundurma maliyetine yaklaştıkça Stokastik SM'nin performansı düşmüştür. Bunun nedeni dönen ürünlerin envantere tutulması yerine, yeniden üretilerek kullanılabilir ürün envantere aktarılması şeklide yorumlanabilir. Ancak bu maliyet kalemi için Stokastik SM'nin performansında çok radikal bir kötüleşme yoktur. Dönen ürün ve kullanılabilir ürün elde bulundurma maliyetlerinin birbirine en yakın olduğu noktada bile Stokastik SM'nin deterministik varsayımla çalışan yöntemlere kıyasla daha iyi çalıştığı görülmektedir. Son olarak, Tablo 5'in en sonunda verilen tüm durumlar satırı Stokastik SM'nin deterministik varsayımla çalışan yöntemlere göre ortalama %3,24 civarında daha iyi sonuç verdiğini ortaya koymaktadır.

Tablo 5'te verilmiş olan maliyetler her üç yöntem için de ortalama maliyetler olduğundan ve bu durum bilgi kaybına yol açabileceğinden, başka bir nümerik çalışma daha gerçekleştirilmiştir. Bunun için söz konusu üç yöntemin performansı "baz senaryo" kullanılarak incelenmiştir. Baz senaryoda Tablo 5'te yer alan parametrelerin orta değerleri kullanılmıştır. Buna göre baz senaryodaki parametreler $h^s = 1$, $N = 20$, $K^r = 500$, $K^m = 500$, $h^r = 0,5$, $\pi = 5$, $\rho = 0,2$ olarak belirlenmiş ve beklenen talep miktarları $[0,200]$ aralığında, beklenen dönen ürün miktarları ise $[0,50]$ aralığında uniform dağılımdan çekilmiştir. Baz senaryonun simülasyon sonuçları elde edildikten sonra parametreler teker teker değiştirilerek Stokastik SM, Deterministik SM ve Deterministik Sezgisel yöntemleri ile elde edilen politikalar simülasyon girdisi olarak kullanılmış ve her üç yönteme ait maliyetler Tablo 6'da verilmiştir. Fark sütununu ise Tablo 5'te oluşturulduğu gibi oluşturulmuştur. Tablo 6'nın ilk sütunu her seferde değiştirilen tek parametreyi ifade etmektedir.

Tablo 6. Baz Senaryo Tablosu

		Stokastik SM	Deterministik SM	Deterministik Sezgisel	Fark
Baz senaryo		6733,75	6793,49	7247,27	0,89%
N	18	5752,32	5714,25	6274,28	-0,66%
	24	7615,30	7880,38	8655,88	3,48%
K^r	200	5841,86	6070,23	6427,63	3,91%
	2000	7879,42	7991,28	8418,73	1,42%
K^m	200	5019,02	5670,02	6089,12	12,97%
	2000	11155,78	11409,06	10315,83	-7,53%
h^r	0,2	6157,40	6535,56	6362,62	3,33%
	0,8	7216,78	7289,61	7626,80	1,01%
π	2	6158,58	5969,07	5972,75	-3,08%
	10	7135,09	7779,63	8556,91	9,03%
ρ	0,1	6387,77	6354,24	6333,86	-0,84%
	0,3	7147,86	7369,74	8431,83	3,10%
E R	[0,100]	7595,60	8353,96	7429,50	-2,19%

Baz senaryo tablosu, kurulum maliyetleri, elde bulundurma maliyeti ve elde bulundurmama maliyeti açısından Tablo 5'te yer alan Stokastik SM'nin performansı ile ilgili elde edilen bulguları destekler niteliktedir. Buna ek olarak, Tablo 6'da da değişim katsayısının yüksek olduğu durumda Stokastik SM'nin performansının arttığı, düşük olduğu durumda ise diğer iki yöntemle göre daha kötü bir performans gösterdiği gözlemlenmiştir. Tablo 5'ten farklı olarak, Tablo 6'da planlama ufkunun uzun olduğu durum için Stokastik SM'nin performansının yükseldiği, beklenen dönen ürün miktarlarının yüksek olduğu durum için ise performansının düştüğü dikkat çekmektedir. Tablo 6'nın, Tablo 5'i desteklemesi simülasyon sonucu elde edilen ortalama maliyetlerin her üç yöntem için de bilgi kaybına yol açmadığını göstermiştir.

SONUÇ

Üretim ve yeniden üretim faaliyetlerinin eş zamanlı olarak kontrol edilmesi gereken sistemlerde geleneksel envanter kontrol sistemlerinin uygulanabilirliği oldukça kısıtlıdır. Bu nedenle bu tip sistemler için etkin envanter kontrol yöntemlerinin geliştirilmesi büyük öneme sahiptir. Bu amaçla söz konusu sistemlerde en çok karşılaşılan problemlerden biri olan GD-EPBP, talep ve dönen ürün miktarlarının stokastik olduğu varsayımı ile ele alınmış ve problemin çözümünde kullanılacak hesapsal açıdan verimli sezgisel bir algoritma önerilmiştir. Geliştirilen algoritma literatürde yaygın olarak bilinen SM sezgiselinin stokastik talep ve dönen ürün varsayımı altında yeniden üretim sistemlerine uyarlanması sonucunda ortaya çıkmıştır. Bu göre algoritma karar verilmesi gereken her bir periyot için (i) sadece üret, (ii) sadece yeniden üret, (iii) önce yeniden üret, sonra üret ve (iv) sipariş verme opsiyonlarının analizi üzerine kurulmuştur. Geniş bir test seti üzerinde değerlendirilen sezgisel algoritmanın, deterministik varsayımla çalışan sezgisel yöntemlere kıyasla oldukça iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir.

SM sezgisel algoritması miyop bir algoritma olduğu, diğer bir ifade ile sipariş kararı verirken sadece periyot başına en düşük maliyetin yükseldiği noktaya kadar değerlendirme yaptığı için bu tez çalışmasında önerilen matematiksel yöntem geliştirilmeye müsaittir. Söz konusu geliştirme periyot başına en düşük maliyetin tespit edildiği noktadan sonrasındaki periyotlara da bakılarak periyot başına en düşük maliyette düşüş olup olmadığının tespit edilmesini gerektirecektir. Eklenerek bu tarz bir iyileştirmenin algoritmanın performansını artacağı tahmin edilmektedir.

Bu çalışma karmaşıklığı azaltmak adına söz konusu problemi sipariş tedarik süreleri ve birim değişken maliyeti göz önünde bulundurmadan ele almaktadır. Ancak hem sipariş tedarik süreleri hem de değişken maliyetin geliştirilen algoritmaya kolay bir şekilde entegre edilmesi mümkündür. Bu hususların göz önünde bulundurulması, gelecekte konu üzerine yapılacak çalışmalar için tavsiye edilebilir.

KAYNAKÇA

- Ahiska, S. S. ve King, R. E. (2010a). Inventory optimization in a one product recoverable manufacturing system. *International Journal of Production Economics*, 124(1), 11-19.
- Ahiska, S. S. ve King, R. E. (2010b). Life cycle inventory policy characterizations for a single-product recoverable system. *International Journal of Production Economics*, 124(1), 51-61.
- Askin, R. G. (1981). A procedure for production lot sizing with probabilistic dynamic demand. *AIIE Transactions*, 13(2), 132-137.
- Axsater, S. (2006). *Inventory Control (2. bs.)*. New York: Springer.
- Baki, M. F., Chaouch, B. A. ve Abdul-Kader, W. (2014). A heuristic solution procedure for the dynamic lot sizing problem with remanufacturing and product recovery. *Computers & Operations Research*, 43, 225-236.
- Beltran, J. L. ve Krass, D. (2002). Dynamic lot sizing with returning items and disposals. *IIE Transactions*, 34(5), 437-448.
- Benedito, E. ve Corominas, A. (2013). Optimal manufacturing policy in a reverse logistic system with dependent stochastic returns and limited capacities. *International Journal of Production Research*, 51(1), 189-201.
- Beyer, D., Cheng, F., Sethi, S. P. ve Taksar, M. (2010). *Markovian Demand Inventory Models*. New York: Springer.
- Chopra, S. ve Meindl, P. (2013). *Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation (5. bs.)*. Harlow, Essex: Pearson.
- D'Adamo, I. ve Rosa, P. (2016). Remanufacturing in industry: advices from the field. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 86(9), 2575-2584.
- Demir, M. H. ve Gümüšođlu, Ő. (1986). *Üretim Yönetimi*. İzmir: Aydın Yayınevi.

- Ferguson, M. E. ve Toktay, L. B. (2006). The effect of competition on recovery strategies. *Production and Operations Management*, 15(3), 351-368.
- Ferrer, G. (1997a). The economics of tire remanufacturing. *Resources, Conservation and Recycling*, 19(4), 221-255.
- Ferrer, G. (1997b). The economics of personal computer remanufacturing. *Resources, Conservation and Recycling*, 21(2), 79-108.
- Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Dekker, R., Van Der Laan, E., Van Nunen, J. A. E. E. ve Van Wassenhove, L. N. (1997). Quantitative models for reverse logistics: a review. *European Journal of Operational Research*, 103(1), 1-17.
- Gençyılmaz, Güneş. (1988). *Stok Sistemlerinin Yönetimi I*. İstanbul: İstanbul Matbaası.
- Golany, B., Yang, J. ve Yu, G. (2001). Economic lot-sizing with remanufacturing options. *IIE Transactions*, 33(11), 995-1003.
- Graves, S. C., Kan, A. R. ve Zipkin, P. H. (1993). *Handbooks in Operations Research and Management Science: Logistics of Production and Inventory*. North-Holland.
- Guide Jr, V. D. R. (2000). Production planning and control for remanufacturing: industry practice and research needs. *Journal of Operations Management*, 18(4), 467-483.
- Guide Jr, V. D. R. ve Van Wassenhove, L. N. (2002). Closed-loop supply chains. *Quantitative Approaches to Distribution Logistics and Supply Chain Management*, 47-60.
- Gungor, A. ve Gupta, S. M. (1999). Issues in environmentally conscious manufacturing and product recovery: a survey. *Computers & Industrial Engineering*, 36(4), 811-853.

- Hadley, G. ve Whitin, M. (1963). *Analysis of Inventory Systems*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.
- Hax, A. C. ve Candea, D. (1984). *Production and Inventory Management*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.
- Heizer, J. ve Render, B. (2008). *Operations Management (9. bs.)*. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.
- Helmrich, M. J. R., Jans, R., Van Den Heuvel, W. ve Wagelmans, A. P. M. (2010). *Economic lot-sizing with remanufacturing: complexity and efficient formulations*. *IIE Transactions*, 46(1), 67-86.
- Hilger, T., Sahling, F. ve Tempelmeier, H. (2016). Capacitated dynamic production and remanufacturing planning under demand and return uncertainty. *OR Spectrum*, 38(4), 849-876.
- Inderfurth, K. (1997). Simple optimal replenishment and disposal policies for a product recovery system with leadtimes. *OR Spectrum*, 19(2), 111-122.
- Johnson, L. A. ve Montgomery, D. C. (1974). *Operations Research in Production Planning, Scheduling, and Inventory Control*. New York: Wiley.
- Junior, M. L. ve Filho, M. G. (2012). Production planning and control for remanufacturing: literature review and analysis. *Production Planning & Control*, 23(6), 419-435.
- Kelle, P. ve Silver, E. A. (1989). Purchasing policy of new containers considering the random returns of previously issued containers. *IIE Transactions*, 21(4), 349-354.
- Kilic, O. A., Tunc, H., ve Tarim, S. A. (ön makale). Heuristic policies for the stochastic economic lot sizing problem with remanufacturing under service level constraints.

- Kiesmüller, G. P. (2003). A new approach for controlling a hybrid stochastic manufacturing/remanufacturing system with inventories and different leadtimes. *European Journal of Operational Research*, 147(1), 62-71.
- Kiesmüller, G. P. ve Scherer, C. W. (2003). Computational issues in a stochastic finite horizon one product recovery inventory model. *European Journal of Operational Research*, 146(3), 553-579.
- Kobu, B. (2013). *Üretim Yönetimi (16. bs.)*. İstanbul: Beta Basım.
- Krajewski, L. J., Ritzman, L. P. ve Malhotra, M. K. (2007). *Operations Management: Processes and Value Chains (8. bs.)*. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.
- Krikke, H. R., Van Harten, A. ve Schuur, P. C. (1999). Business case Océ: reverse logistic network re-design for copiers. *OR Spectrum*, 21(3), 381-409.
- Li, C., Liu, F., Cao, H. ve Wang, Q. (2009). A stochastic dynamic programming based model for uncertain production planning of re-manufacturing system. *International Journal of Production Research*, 47(13), 3657-3668.
- Li, X., Baki, F., Tian, P. ve Chaouch, B. A. (2014). A robust block-chain based tabu search algorithm for the dynamic lot sizing problem with product returns and remanufacturing. *Omega*, 42(1), 75-87.
- Mahadevan, B., Pyke, D. F. ve Fleischmann, M. (2003). Periodic review, push inventory policies for remanufacturing. *European Journal of Operational Research*, 151(3), 536-551.
- Muckstadt, J. ve Sapra, A. (2010). *Principles of Inventory Management: When You Are Down to Four, Order More*. New York: Springer.
- Muller, M. (2003). *Essentials of Inventory Management*. New York: Amacom.
- Nahmias, S. (2009). *Production and Operations Analysis (6. bs.)*. New York: McGraw-Hill.

- Pan, Z., Tang, J. ve Liu, O. (2009). Capacitated dynamic lot sizing problems in closed-loop supply chain. *European Journal of Operational Research*, 198(3), 810-821.
- Panagiotidou, S., Nenes, G., Zikopoulos, C. ve Tagaras, G. (2017). Joint optimization of manufacturing/remanufacturing lot sizes under imperfect information on returns quality. *European Journal of Operational Research*, 258(2), 537-551.
- Parsopoulos, K. E., Konstantaras, I. ve Skouri, K. (2015). Metaheuristic optimization for the single-item dynamic lot sizing problem with returns and remanufacturing. *Computers & Industrial Engineering*, 83, 307-315.
- Pineyro, P. ve Viera, O. (2009). Inventory policies for the economic lot-sizing problem with remanufacturing and final disposal options. *Journal of Industrial and Management Optimization*, 5(2), 217-238.
- Richter, K. ve Sombrutzki, M. (2000). Remanufacturing planning for the reverse Wagner/Whitin models. *European Journal of Operational Research*, 121(2), 304-315.
- Richter, K. ve Weber, J. (2001). The reverse Wagner/Whitin model with variable manufacturing and remanufacturing cost. *International Journal of Production Economics*, 71(1), 447-456.
- Schulz, T. (2011). A new Silver–Meal based heuristic for the single-item dynamic lot sizing problem with returns and remanufacturing. *International Journal of Production Research*, 49(9), 2519-2533.
- Sharma, S. C. (2006). *Operation Research: Inventory Control and Queuing Theory*. New Delhi: Discovery Publishing House.
- Sifaleras, A., Konstantaras, I. ve Mladenovic, N. (2015). Variable neighborhood search for the economic lot sizing problem with product returns and recovery. *International Journal of Production Economics*, 160, 133-143.

- Silver, E. A. (1979). A simple inventory replenishment decision rule for a linear trend in demand. *Journal of the Operational Research Society*, 30(1), 71-75.
- Silver, E. A. ve Meal, H. C. (1973). A heuristic for selecting lot size quantities for the case of a deterministic time-varying demand rate and discrete opportunities for replenishment. *Production and Inventory Management*, 14(2), 64-74.
- Silver, E. A. ve Miltenburg, J. (1984). Two modifications of the Silver-Meal lot sizing heuristic. *Information Systems and Operational Research*, 22(1), 56-69.
- Silver, E. A., Pyke, D. ve Peterson, R. (1998). *Inventory Management and Production Planning and Scheduling (3. bs.)*. New York: Wiley.
- Simpson, V. P. (1978). Optimum solution structure for a repairable inventory problem. *Operations Research*, 26(2), 270-281.
- Tersine, R. J. (1988). *Principles of Inventory and Materials Management (3. bs.)*. New York: Elsevier.
- Teunter, R. H., Bayindir, Z. P. ve Van Den Heuvel, W. (2006). Dynamic lot sizing with product returns and remanufacturing. *International Journal of Production Research*, 44(20), 4377-4400.
- Thierry, M., Salomon, M., Van Nunen, J. ve Van Wassenhove, L. (1995). Strategic issues in product recovery management. *California Management Review*, 37(2), 114-135.
- Toktay, L. B., Wein, L. M. ve Zenios, S. A. (2000). Inventory management of remanufacturable products. *Management Science*, 46(11), 1412-1426.
- Van Der Laan, E., Salomon, M., Dekker, R. ve Van Wassenhove, L. (1999). Inventory control in hybrid systems with remanufacturing. *Management Science*, 45(5), 733-747.

Van Der Laan, E. ve Teunter, R. H. (2006). Simple heuristics for push and pull remanufacturing policies. *European Journal of Operational Research*, 175(2), 1084-1102.




Vlachos, D. ve Dekker, R. (2003). Return handling options and order quantities for single period products. *European Journal of Operational Research*, 151(1), 38-52.

Winston, W. L. ve Goldberg J. B. (2004) *Operations Research: Applications and Algorithms (4. bs.)*. Belmont, California: Brooks/Cole.


Yang, J., Golany, B. ve Yu, G. (2005). A concave-cost production planning problem with remanufacturing options. *Naval Research Logistics*, 52(5), 443-458.

EKLER

EK 1. Tez Çalışması Orijinallik Raporu

 <p>HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU</p>
<p>HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ İŞLETME ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA</p>
Tarih: 29/06/2017
<p>Tez Başlığı / Konusu: STOKASTİK TALEP VE GERİ DÖNÜŞLÜ EKONOMİK PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ PROBLEMİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA</p>
<p>Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler ve d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 92 sayfalık kısmına ilişkin, 29/06/2017 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %2'dir.</p>
<p>Uygulanan filtrelemeler:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1- Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç, 2- Kaynakça hariç 3- Alıntılar hariç/dâhil 4- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç
<p>Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'm inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.</p>
<p>Gereğini saygılarımla arz ederim.</p>
<p>29.06.2017  Tarih ve İmza</p>
<p>Adı Soyadı: CEREN DİRİK</p> <p>Öğrenci No: N13229339</p> <p>Anabilim Dalı: İŞLETME</p> <p>Programı: ÜRETİM YÖNETİMİ VE SAYISAL YÖNTEMLER</p> <p>Statüsü: <input checked="" type="checkbox"/> Y.Lisans <input type="checkbox"/> Doktora <input type="checkbox"/> Bütünleşik Dr.</p>
<p>DANIŞMAN ONAYI</p> <p>UYGUNDUR.</p> <p> YRD. DOÇ. DR. KAZIM BARIŞ ATICI</p>

EK 2. Tez Çalışması Etik Kurul İzin Muafiyeti Formu

 <p>HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ TEZ ÇALIŞMASI ETİK KURUL İZİN MUAFİYETİ FORMU</p>
<p>HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ İŞLETME ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA</p> <p style="text-align: right;">Tarih: 29/06/2017</p> <p>Tez Başlığı / Konusu: STOKASTİK TALEP VE GERİ DÖNÜŞLÜ EKONOMİK PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ PROBLEMİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA</p> <p>Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmam:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. İnsan ve hayvan üzerinde deney niteliği taşımamaktadır, 2. Biyolojik materyal (kan, idrar vb. biyolojik sıvılar ve numuneler) kullanılmasını gerektirmemektedir. 3. Beden bütünlüğüne müdahale içermemektedir. 4. Gözlemsel ve betimsel araştırma (anket, ölçek/skala çalışmaları, dosya taramaları, veri kaynakları taraması, sistem-model geliştirme çalışmaları) niteliğinde değildir. <p>Hacettepe Üniversitesi Etik Kurullar ve Komisyonlarının Yönergelerini inceledim ve bunlara göre tez çalışmamın yürütülebilmesi için herhangi bir Etik Kuruldan izin alınmasına gerek olmadığını; aksi durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.</p> <p>Gereğini saygılarımla arz ederim.</p> <p style="text-align: right;">29.06.2017 <i>Ceren Dirik</i></p> <p style="text-align: right;">Tarih ve İmza</p> <p>Adı Soyadı: CEREN DİRİK</p> <p>Öğrenci No: N13229339</p> <p>Anabilim Dalı: İŞLETME</p> <p>Programı: ÜRETİM YÖNETİMİ VE SAYISAL YÖNTEMLER</p> <p>Statüsü: <input checked="" type="checkbox"/> Y.Lisans <input type="checkbox"/> Doktora <input type="checkbox"/> Bütünleşik Dr.</p>
<p><u>DANIŞMAN GÖRÜŞÜ VE ONAYI</u></p> <p style="text-align: center;">UYGUNDUR.</p> <p style="text-align: center;"><i>Kazım Barış Atıcı</i></p> <p style="text-align: center;">YRD. DOÇ. DR. KAZIM BARIŞ ATICI</p> <p style="text-align: center;">Detaylı Bilgi: http://www.sosyalbilimler.hacettepe.edu.tr</p> <p>Telefon: 0-312-2976860 Faks: 0-3122992147 E-posta: sosyalbilimler@hacettepe.edu.tr</p>