

**T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KAPASİTE KISITLI ENVANTER YÖNETİMİ POLİTİKALARI  
VE KARŞILAŞTIRMASI**

**AHMET ENVER NUROĞLU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN  
YRD. DOÇ. DR. FAHRETTİN ELDEMİR**

**İSTANBUL, 2014**

**T.C.**  
**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KAPASİTE KISITLI ENVANTER YÖNETİMİ POLİTİKALARI**  
**VE KARŞILAŞTIRMASI**

Ahmet Enver NUROĞLU tarafından hazırlanan tez çalışması 17.10.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Yrd. Doç. Dr. Fahrettin ELDEMİR  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Yrd. Doç. Dr. Fahrettin ELDEMİR  
Yıldız Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Yrd. Doç. Dr. Tufan DEMİREL  
Yıldız Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Yrd. Doç. Dr. Yusuf Sait TÜRKAN  
İstanbul Üniversitesi

\_\_\_\_\_

## ÖNSÖZ

---

Envanter sermayedeki payı nedeniyle son yüz yılda yönetilmesi önemli olan alanlardan biri haline gelmiştir. Envanter yönetimi sahip olduğu senaryoların ve parametrelerin çeşitliliği nedeniyle üzerine çokça araştırma yapılan ve model geliştirilen önemli çalışma alanlarından biridir. Analiz edilen sistemlerdeki değişimin ve analizlerde ve çözümlenmelerde kullanılan yöntemlerdeki gelişmeler bu alanda yeni çalışmaların yapılmasını ve modellerin geliştirilmesini sağlamıştır. Yeni modeller daha çok odaklanılan sistemin özelliklerine göre o sistemin ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde geliştirilmişlerdir.

Bu nedenle ele alınana sistemin, ihtiyaçları ve özellikleri ile beraber detaylıca incelenerek uygun modeli belirlenmesi gerekmektedir. Belirli bir kapasite kısıtına sahip birden çok ürünü içeren bir problemin çözümü için literatürde önerilmiş modeller mevcuttur. Bu tezde bu modeller ile alakalı kapasiteyi daha efektif kullanımını sağlayacak ve stokastik parametreler ile çalışabilen modeller geliştirilmeye çalışılmıştır. Ayrıca literatürde kullanılan koordineli sipariş politikaları ile istenilen kapasite kısıtı altında kapasite kullanımını etkin hale getirebilecek önerilerde bulunulmuştur.

Tez çalışmam esnasında ilgi ve desteğini üzerimden eksik etmeyen tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Fahrettin ELDEMİR'e, çalışmam sırasında değerli katkılarından dolayı üniversitemizde yüksek lisans ve doktora yapan arkadaşlarıma, beni her türlü motive eden değerli arkadaşlarıma ve beni bugünlere getiren sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

Ekim, 2014

Ahmet Enver NUROĞLU

## İÇİNDEKİLER

---

|   | Sayfa |
|---|-------|
| SİMGE LİSTESİ.....  | vii   |
| KISALTIMA LİSTESİ.....  | ix    |
| ŞEKİL LİSTESİ.....  | x     |
| ÇİZELGE LİSTESİ .....   | xi    |
| ÖZET .....  | xii   |
| ABSTRACT.....   | xiv   |
| <b>BÖLÜM 1</b>  |       |
| GİRİŞ.....  | 1     |
| 1.1    Literatür Özeti .....  | 1     |
| 1.2    Tezin Amacı .....  | 2     |
| 1.3    Hipotez.....   | 2     |
| <b>BÖLÜM 2</b>  |       |
| ENVANTER KAVRAMI VE ENVANTER ÇEŞİTLERİ.....                           | 3     |
| 2.1    Envanter ve Stok .....   | 3     |
| 2.1.1    Envanter Yönetiminin Amacı .....                             | 4     |
| 2.1.1.1    Envanter Bulundurma Nedenleri .....                        | 4     |
| 2.1.1.2    Envanter Bulundurmama Nedenleri .....                      | 5     |
| 2.1.2    Müşteri Memnuniyeti.....                                     | 6     |
| 2.1.3    Maliyet.....   | 6     |
| 2.2    Envanter Çeşitleri.....  | 7     |
| 2.2.1    Sistemdeki Üretim-Dağıtım Durumlarına Göre Envanterler ..... | 7     |
| 2.2.2    Kendi Özelliklerine ve Sistemde Bulunma Amacına Göre .....   | 8     |
| 2.2.3    Envanter Yönetimi Amacına Göre Sınıflandırma Metotları.....  | 9     |
| 2.2.3.1    ABC Analizi .....  | 9     |
| 2.2.3.2    Çevirim Oranı .....  | 11    |
| 2.2.3.3    Risk Havuzlama .....                                       | 11    |

|  |  |           |
|--|--|-----------|
| 2.2.3.4                                    | Literatürdeki Önerilen Diğer Metotlar .....                                    | 11        |
| <b>BÖLÜM 3</b>                             |  |           |
| <b>ENVANTER YÖNETİM POLİTİKALARI .....</b> |  | <b>15</b> |
| 3.1  | Envanter Yönetim Politikalarının Sınıflandırması .....                         | 15        |
| 3.1.1                                      | Talebin Yapısı .....   | 16        |
| 3.1.2                                      | Yönetim Felsefesi.....   | 17        |
| 3.1.3                                      | Planlama Derecesi .....  | 18        |
| 3.1.4                                      | Çok Kademeli Envanterler .....   | 18        |
| 3.2  | Envanter Yönetim Politikaları Hedefleri .....                                  | 19        |
| 3.2.1                                      | Ürün Bulunabilirliği .....   | 20        |
| 3.2.2                                      | İlişkili Maliyetler.....   | 20        |
| 3.2.2.1                                    | Sipariş Verme Maliyeti .....   | 21        |
| 3.2.2.2                                    | Stok Bulundurma Maliyeti .....   | 21        |
| 3.2.2.3                                    | Stok Bulundurmama Maliyeti .....   | 22        |
| 3.3  | Deterministik Envanter Yönetim Politikaları .....                              | 22        |
| 3.3.1                                      | Ekonomik Sipariş Miktarı (ESM) Modeli .....                                    | 23        |
| 3.3.2                                      | Ekonomik Üretim Miktarı (EÜM) Modeli.....                                      | 26        |
| 3.3.3                                      | Talebin Bekletilmesi Durumunda ESM Modeli.....                                 | 27        |
| 3.3.4                                      | Miktar İskontosu Modeli .....  | 28        |
| 3.3.5                                      | Silver-Meal Algoritması .....  | 31        |
| 3.3.6                                      | Wagner-Whitin Algoritması.....   | 32        |
| 3.4  | Stokastik Envanter Yönetim Politikaları.....                                   | 33        |
| 3.4.1                                      | Gazeteci Çocuk Modeli .....  | 34        |
| 3.4.2                                      | Başlangıç Envanterli ve Sipariş Maliyetli Tek Periyot Model.....               | 37        |
| 3.5  | Parti Büyüklüğü-Yeniden Sipariş Noktası Modeli .....                           | 39        |
| 3.6  | Servis Seviyesi .....  | 42        |
| 3.6.1                                      | Birinci Tip Servis Seviyesi .....  | 42        |
| 3.6.2                                      | İkinci Tip Servis Seviyesi.....  | 42        |
| 3.6.3                                      | Parti Büyüklüğü-Yeniden Sipariş Miktarı Modelinde İkinci Tip Servis Seviyesi   | 43        |
| 3.6.4                                      | Temin Süresi Talebinin Belirsizliği .....                                      | 43        |
| 3.7  | Literatürdeki Diğer Çalışmalar .....   | 44        |
| <b>BÖLÜM 4</b>                             |  |           |
| <b>ÖNERİLEN MODELLER .....</b>             |  | <b>54</b> |
| 4.1  | Mevcut Önerilen Kapasite Kısıtlı ESM Modeli .....                              | 54        |
| 4.2  | Rasgele Depolama Durumunda Kapasite Kısıtlı ESM Modeli .....                   | 56        |
| 4.3  | Kapasite Kısıtlı Parti Büyüklüğü-Yeniden Sipariş Noktası Envanter Modeli       | 58        |
| 4.4  | Rasgele Depolama Durumunda Parti Büyüklüğü Yeniden Sipariş Miktarı Modeli..... | 61        |
| 4.5  | İkinin Kuvveti Katsayıları Politikalarında Kapasite Kısıtı .....               | 62        |
| <b>BÖLÜM 5</b>                             |  |           |

|  |    |
|--|----|
| UYGULAMALAR .....  | 66 |
| 5.1 Deterministik Kapasite Kısıtlı ESM Modeli Uygulaması .....                           | 66 |
| 5.2 Rastgele Depolama Durumunda Kapasite Kısıtlı ESM Modeli Uygulaması<br>69             |    |
| 5.3 Parti Büyüklüğü-Yeniden Sipariş Noktası Modelinde Kapasite Kısıtı<br>Uygulaması..... | 72 |
| 5.4 İkinin Kuvveti Katsayıları Politikalarında Kapasite Kısıtı Uygulaması.....           | 75 |
| 5.5 Uygulamaların Değerlendirilmesi .....  | 81 |
| BÖLÜM 6  |    |
| SONUÇ VE ÖNERİLER .....  | 82 |
| KAYNAKLAR .....  | 84 |
| EK-A   |    |
| STANDART MÜMÜLATİF NORMAL DAĞILIM TABLOSU .....  | 88 |
| EK-B   |    |
| SİPARİŞ ATAMASI PROBLEMİ MODELİ SONUÇLARI .....  | 90 |
| EK-B.1 Sipariş Atama Problemi Gams Modeli.....   | 90 |
| EK-B.2 Gams Sonuçları .....  | 92 |
| ÖZGEÇMİŞ .....   | 94 |

## SİMGE LİSTESİ

---

|             |  |
|-------------|--|
| $\lambda$   | Birim dönemde beklenen ortalama talep  |
| $K$         | Sipariş maliyeti   |
| $h$         | Birim sürede elde bulundurma maliyeti  |
| $c$         | Birim satın alma maliyeti  |
| $L$         | Sipariş temin süresi   |
| $Q^*$       | Ekonomik sipariş miktarı   |
| $T^*$       | Ekonomik sipariş periyodu  |
| $R$         | Yeniden sipariş noktası stok miktarı   |
| $P$         | Birim zamanda üretim miktarı   |
| $T_p$       | EÜM'de üretim ile tüketimin gerçekleştiği süre                                     |
| $T_\lambda$ | EÜM'de sadece tüketimin gerçekleştiği süre   |
| $G(Q)$      | Sipariş miktarına bağlı toplam maliyet   |
| $H$         | EÜM'de stok seviyesinin ulaşacağı maksimum miktar                                  |
| $p$         | Birim talebin birim zaman bekletilmesinin maliyeti veya elde bulundurmama maliyeti |
| $T_B$       | Talebin bekletildiği süre  |
| $B$         | Maksimum elde bulundurmama miktarı   |
| $C(Q)$      | Sipariş miktarına bağlı toplam satın alma maliyet                                  |
| $t$         | Silver-Meal algoritmasında başlangıç periyodundan sonraki sıra numarası            |
| $k$         | Silver-Meal algoritmasında başlangıcın kapsadığı dönem sayısı                      |
| $Q_t$       | Gelecek taleplerin tam toplamlar kümesi  |
| $i_t$       | Tam ihtiyaç kuralı karına temsil eden ikili değişken                               |
| $G(i, j)$   | Şebeke probleminde $i, j$ periyotları arası maliyet                                |
| $c_o$       | Dönem sonu fazla gelen ürün birim maliyeti   |
| $c_u$       | Dönem sonu kısa kalan ürün birim maliyeti  |
| $F(Q^*)$    | Optimal sipariş miktarında göre beklenen stok karşılanma olasılığı                 |
| $u$         | Periyot başı elde bulunan miktar   |
| $U$         | Periyot başında elde bulunan ve mali olarak yeniden sipariş gerektirmeyecek miktar |
| $\tau$      | Sipariş temin süresi   |
| $n(R)$      | Yenide sipariş noktası miktarına göre temin süresi içerisinde beklenen talep kaybı |
| $L(z)$      | Standart kayıp fonksiyonu  |

|                      |  |
|----------------------|--|
| $\alpha$             | Birinci tip servis seviyesi                            |
| $\beta$              | İkinci tip servis seviyesi                             |
| $W$                  | Mevcut kapasite  |
| $w_i$                | Bir birim $i$ ürünü kapasite miktarı                   |
| $\theta$             | Lagrange katsayısı                                     |
| $N(\mu_T, \sigma_T)$ | Rasgele depolama için toplam kapasite ihtiyaç dağılımı |
| $q$                  | Temel periyot  |
| $n_i$                | İkinci kuvveti katsayılar                              |
| $W_t$                | Periyot $t$ kapasite kullanım miktarı                  |
| $TW$                 | Planlama periyodu toplam kapasite kullanım miktarı     |



## KISALTMA LİSTESİ

---

|      |  |
|------|--|
| ABC  | 19. yy da Vilferdo Pareto tarafından önerilmiş sınıflandırma |
| ABD  | Amerika Birleşik Devletleri                                  |
| EOQ  | Economic Order Quantity                                      |
| EPQ  | Economic Production Quantity                                 |
| ESM  | Ekonomik Sipariş Miktarı                                     |
| EÜM  | Ekonomik Üretim Miktarı                                      |
| LSRP | Lot Size-Reorder Point                                       |
| POT  | Power Of Two   |
| WIP  | Work In Process  |

## ŞEKİL LİSTESİ

---

|   | Sayfa |
|---|-------|
| Şekil 2.1 ABC Analizi grafiği.....  | 10    |
| Şekil 2.2 Williams'ın kategorizasyon şeması.....  | 13    |
| Şekil 2.3 Evaes'in kategorizasyon şeması [9].....   | 14    |
| Şekil 3.1 Farklı talep yapıları [1].....  | 16    |
| Şekil 3.2 Envanter maliyetleri arasındaki ilişki.....   | 21    |
| Şekil 3.3 Talebin yapısına göre stok modelleri.....   | 23    |
| Şekil 3.4 Ekonomik sipariş miktarı modeli şematik gösterimi .....   | 24    |
| Şekil 3.5 Toplam maliyet fonksiyonu .....   | 25    |
| Şekil 3.6 Ekonomik üretim miktarı modeli şematik gösterimi.....   | 26    |
| Şekil 3.7 Tüm birimli iskonto modeli satın alma maliyeti fonksiyonu .....   | 29    |
| Şekil 3.8 Artışlı iskonto modeli satın alma maliyeti fonksiyonu .....   | 30    |
| Şekil 3.9 Tek yönlü şebeke problemi şeması .....  | 33    |
| Şekil 3.10 (Q,R) envanter modelinde beklenen envanter seviyesi .....  | 41    |
| Şekil 5.1 Kısıtsız çözüm kapasite kullanım grafiği .....  | 67    |
| Şekil 5.2 Kısıtlı çözüm kapasite kullanım grafiği.....  | 69    |
| Şekil 5.3 Servis seviyesi kısıtlı çözümler kapasite kullanım grafikleri karşılaştırması .....                                     | 71    |
| Şekil 5.4 Rastgele depolama durumu farklı servis seviyeleri Lagrange katsayısı ve toplam maliyet grafiği.....                     | 71    |
| Şekil 5.5 Stokastik problemde rastgele depolama durumu farklı servis seviyeleri Lagrange katsayısı ve toplam maliyet grafiği..... | 74    |
| Şekil 5.6 Kısıtsız ikinin kuvveti politikası kapasite kullanım grafiği .....  | 78    |
| Şekil 5.7 Kısıtlı ikinin kuvveti politikası kapasite kullanım grafiği .....   | 80    |

## ÇİZELGE LİSTESİ

---

|  | Sayfa |
|--|-------|
| Çizelge 3.1 Envanter yönetim politikalarını karakterize eden kriterler [11].....   | 19    |
| Çizelge 5.1 Deterministik örnek problem verileri .....   | 66    |
| Çizelge 5.2 Deterministik kapasite kısıtsız çözüm sonuçları .....  | 67    |
| Çizelge 5.3 Deterministik kapasite kısıtlı çözüm sonucu .....  | 68    |
| Çizelge 5.4 Rastgele depolama durumunda farklı depo servis seviyeleri çözüm sonuçları karşılaştırması .....                      | 70    |
| Çizelge 5.5 Stokastik örnek problem verileri .....   | 72    |
| Çizelge 5.6 Stokastik kapasite kısıtsız çözüm sonucu .....   | 72    |
| Çizelge 5.7 Stokastik kapasite kısıtlı çözüm sonucu.....   | 73    |
| Çizelge 5.8 Stokastik problemde rastgele depolama kapasite kısıtı farklı servis seviyeleri çözüm sonuçları karşılaştırması ..... | 74    |
| Çizelge 5.9 İkinin kuvveti politikaları örnek problemi verileri .....  | 75    |
| Çizelge 5.10 İkinin kuvveti politikaları örnek problemi bağımsız çözüm sonuçları .....   | 75    |
| Çizelge 5.11 İkinin kuvveti politikaları örnek problemi temel periyot ve katsayı sonuçları .....                                 | 76    |
| Çizelge 5.12 İkinin kuvveti politikaları örnek problemi sipariş miktarı ve sipariş kapasitesi sonuçları.....                     | 77    |
| Çizelge 5.13 İkinin kuvveti politikaları periyotlarda sipariş edilecek ürünler ve kullanılan toplam kapasite miktarları.....     | 77    |
| Çizelge 5.14 Klasik ESM ve ikinin kuvveti modeli maliyet ve kapasite kullanım sonuçları karşılaştırması .....                    | 78    |
| Çizelge 5.15 Kapasite kısıtlı ikinin kuvvetleri politikası çözüm sonuçları.....  | 80    |
| Çizelge 5.16 Kapasite kısıtlı klasik ESM ve ikinin kuvvetleri politikası karşılaştırması ....                                    | 81    |
| Çizelge EK-A.1 Standart kümülatif normal dağılım tablosu .....   | 88    |
| Çizelge EK-B.1 Periyot Sipariş Atamaları.....  | 92    |
| Çizelge EK-B.2 Ürün kapasite kullanım dağılımı ve periyot kapasite kullanımları .....  | 93    |

## KAPASİTE KISITLI ENVANTER YÖNETİMİ POLİTİKALARI VE KARŞILAŞTIRMASI

Ahmet Enver NUROĞLU

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Fahrettin ELDEMİR

Kapasite kısıtı altında envanter yönetimi, envanter yönetimi çalışmalarının önemli bir kısmını temsil etmektedir. Kapasite kısıtı altında klasik ekonomik sipariş miktarı modelinin Lagrange yöntemi ile çözümü literatürde önerilen modeller arasındadır. Siparişler farklı periyot uzunluklarına sahip olmaları nedeniyle zamana rassal olarak dağılırlar. Bazı çalışmalardaki rassal depolama önerisine göre klasik modelde kullanılan kapasite kullanımı belirleme yöntemlerinin, kapasitenin etkin kullanılmamasına neden olduğu ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada rassal depolama durumuna göre kapasite kullanımı belirlenerek yeni kapasite kısıtı oluşturulmuş ve farklı depo servis seviyeleri için sipariş miktarları hesaplanmıştır. Ayrıca ürünlerin sipariş periyotları çok düşük maliyet sapmaları ile ikinin kuvveti politikalarına göre ayarlanarak ürünlerin koordineli siparişlerin gerçekleştirilebileceği ve kapasite kullanımında iyileştirmeler sağlanabileceği önerilmiştir. Buna ek olarak kapasite kısıtını sağlayacak periyotların oluşmasına izin veren periyot uzunlukları klasik modelde daha iyi maliyet performansına sahip bir şekilde elde edilmiştir.

Öncelikle envanter ile alakalı envanter yönetimi için önemli bilgiler verilmiş ve bu bilgilerin envanter yönetimine etkileri açıklanmıştır. İkinci olarak envanter yönetiminde kullanılacak modeli etkileyen parametreler ve genel envanter yönetim modelleri incelenmiştir. Sonraki bölümde mevcut literatürdeki kullanılan kapasite kısıtlı envanter

modelleri ve rasgele depolama ve ikinin kuvvetleri politikaları ile uygulanabileceği gösterilen modeller ele alınmıştır. Uygulama kısmında örnek problem üzerinde bir önceki bölümde önerilen modeller uygulanarak sonuçlar analiz edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Envanter yönetimi, kapasite kısıtı, deterministik envanter modelleri, stokastik envanter modelleri, rasgele depolama, koordineli sipariş

**CAPACITY CONSTRAINED INVENTORY MANAGEMENT POLICIES  
AND A COMPARISON OF THEM**

Ahmet Enver NUROĞLU

Department of Industrial Engineering  
MSc. Thesis

Adviser: Asst.Prof.Dr. Fahrettin ELDEMİR

Inventory management under capacity constraint constitute some important sections of inventory management researches. It is one of methods that uses Lagrange relaxation to solve economic order quantity model under capacity constraint. Each order has different cycle time therefore they are distributed randomly over the time. Despite the random storage proposition in some researches, it is clear that dedicated storage assignment methods of capacity usage may cause inefficient usage of capacity. Assigning dedicated capacity usage in random storage situation, new capacity constraint are created and order quantities are calculated in different storage service levels. Also adjusting the cycle times according to power of two policy, it is suggested that orders can be coordinated and capacity usage can be improved. In addition cycle times which ensuring capacity constraint, are obtained with better cost performance.

Firstly some information about inventory, which is important for inventory management, are given and the effects of these information to inventory management are explained. Secondly the parameters, which affect the models, are used in inventory management, and general inventory models are examined. After parameter examination the existing capacity constrained inventory models and the models which can be implemented with random storage and power of two policy are examined. At

the application section, the models proposed in this study are applied in a example problem.

**Keywords:** Inventory management, capacity constraint, deterministic inventory models, stochastic inventory models, random storage, coordinated ordering

#### 1.1 Literatür Özeti

Envanter yönetimi sahip olduğu önem nedeni ile üzerinde fazlaca çalışma yapılan alanlardan biridir. Bu alanda birçok temel model geliştirilmekle beraber bu modeller üzerine yapılan çalışmalar ile birçok yeni uygulamalar geliştirilerek envanter yönetimi farklı açılardan ele alınmıştır. Envanter yönetimindeki genel modeller ve bu modeller üzerine geliştirmeler yapılarak ele alınan çalışmalar üçüncü bölümde detaylı olarak incelenmiştir. Envanter yönetiminde en genel ve en eski model olarak ekonomik sipariş miktarı (ESM) modeli geliştirilmiştir. Kapasite kısıtlı ESM modelinin çözümü, sipariş miktarlarına göre kapasite kullanımı belirlenip Lagrange çarpanı kullanımıyla çözümü bir çok kaynakta ele alınmıştır. Klasik kapasite kısıtlı modelde deterministik depolamaya dayalı kapasite kullanımı belirlenirken, rasgele veya sınıfa dayalı stoklamaya göre kapasite kullanımının belirlendiği çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalara ek olarak rasgele stoklama durumundaki kapasite kullanımını belirlemede servis seviyesine dayalı kapasite ihtiyacı sonraki bazı çalışmalarda önerilmiştir.

Literatürde üretimde düzgün iş yükünü sağlamak için ikinin kuvveti politikası kullanılarak ürünlerin koordineli bir şekilde işleme alınması çokça ele alınmıştır. Aynı politikayı ele alarak kapasite kısıtını sağlayacak optimal çözüme yaklaşan hibrit genetik algoritmali bir modelin ele alındığı çalışmalar da yapılmıştır. Geliştirilen bu model ile periyot kapasite kullanımları kapasite kısıtını sağlayacak fizibil durumlar tespit edilip optimal olan seçilmiştir.



## 1.2 Tezin Amacı

Envanter modellerinin temel amacı gerekli kısıtları sağlayarak maliyeti minimize edecek sipariş miktarlarını ve sipariş zamanlarını belirlemektir. Envanter problemlerinin ana çıktıları ne zaman ve ne kadardır. Gerekli kısıtlar arasında bulunabilen kapasite kısıtı çözümü sınırlayıcı olabildiği noktalarda optimal durumdan sapmaya göre maliyette sapma oluşturmaktadır. Bu noktada elde edilen sonuçlara göre zaman içerisindeki kapasite kullanım dağılımı önem kazanmaktadır. Kapasite kısıtı belirlenmesi aşamasında kapasite kullanımının elde edilen sonuçlara göre zaman içerisindeki dağılımı göz önüne alınarak kapasite kullanımı daha etkin hale getirilmeye çalışılmıştır. Ayrıca ürünlerin işlemlerinin koordine edilmesinde kullanılan koordineli sipariş modelleri kullanılarak kapasite kullanımı çok az maliyet sapsmaları ile düzgünleştirilmiş ve kapasite kullanımını zamana göre daha düzgün dağılması sağlanmıştır. Yapılan bu koordine sipariş modelleri belirli kapasite kısıtları altında uygulanmaya çalışılarak kapasite kısıtlı problemlerde kapasite kullanımının daha düzgün dağılması ve kapasitenin etkin kullanılması sağlanmaya çalışılmıştır. Kapasitenin etkin kullanılarak maliyette iyileşmeler sağlanmış olacaktır.

## 1.3 Hipotez

Klasik ESM modeline göre çözülen bir problemde kapasite kullanım miktarı simule edildiğinde kapasite kullanımının belirli bir ortalama da seyrettiği ve belirli aralıklarda hareket ettiği gözlemlenmiştir. Bu kapasite kullanım dağılımı göz önüne alınarak kapasite kısıtları oluşturulduğunda kapasite kullanımında göze alınacak kapasite aşım riskleri neticesinde maliyetlerde iyileşmeler oluşacağı önerilmektedir. Burada katlanılacak riskler depo servis seviyesi artırılarak azaltıldığında maliyette daha düşük servis seviyelerine göre artışlar gerçekleşecektir. Buna ek olarak ürün siparişleri ürünlerin çevrim sürelerini ayarlayarak koordine edildiğinde kapasite kullanımının daha az sapma ile ve daha düşük seviyelerde seyredeceği belirlenmiştir. Kapasite kısıtı altında ürünlerin siparişleri koordine edildiğinde kapasite kullanımı istenilen kapasite kısıt seviyelerinde düzgün seyrederken geleneksel modele göre maliyette iyileşmeler sağlanacağı savunulmuştur.

### ENVANTER KAVRAMI VE ENVANTER ÇEŞİTLERİ

Envanter yapılan bir tanıma göre firmaların farklı üretim ve lojistik kanallarında meydana gelen ham madde, tedarik, bileşen, yarı mamul ve bitmiş ürün stoklamalarıdır [1]. Envanter yönetimine başlamadan önce envanter kavramı, envanter çeşitleri ve envanter değerlendirilmesi ile alakalı konuların açıklanması, yönetim aşamasındaki hedeflerin, etkili ortam değişkenlerinin ve amaçların iyi anlaşılması noktasında yardımcı olacaktır. Bu nedenle bu bölümde envanter kavramı ile alakalı tanımlamalara yer verilecek, envanter ile alakalı amaçlar ve ortam parametreleri açıklanacaktır.

#### 2.1 Envanter ve Stok

Envanter ve stok ile alakalı literatürde birçok tanımlama mevcuttur. Ballou [1] de yaptığı tanımda envanteri firmaların farklı üretim ve lojistik kanallarında meydana gelen ham madde, tedarik, bileşen, yarı mamul ve bitmiş ürün stoklamalarıdır şeklinde tanımlamıştır.

Stok ile alakalı stokların ekonomik değere sahip ve belirli bir süre satılmak veya kullanılmak için atıl durumda bekletilen kaynaklar malzemeler veya ürünler olduğu tanımlaması yapılmıştır [2].

Stok kavramı ile ürün ve hizmet üretimi ve satışı için gereken hareketsiz duran fiziksel varlıklar kast edilir. Envanterin tanımı daha geniş olup envanter stoklarla beraber üretim ve satış için olan kaynakları, insanı, parayı, makine parkı vb. kaynakları da içerir [3].

Yönetim amacımızdaki maksimum fayda ve minimum maliyet politikasını ve bunun sadece fiziksel ürünü yöneterek değil maliyeti etkileyen bütün faktörlerin yönetilmesi ile sağlanacağı gerçeğini göz önüne aldığımızda envanter kavramı daha uygun bir kullanım olacaktır.

Envanter işletmelerde toptan varlıkların büyük bir bölümünü oluştururlar. Örneğin verilen bir kaynakta ABD de 2007 yılının üçüncü çeyreğindeki envantere yatırılan sermaye toplam sermayenin yaklaşık %20'lik kısmını oluşturduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında envanter sistemin stabil bir şekilde ilerlemesinin sağlayan en önemli etmendir[4].

### **2.1.1 Envanter Yönetiminin Amacı**

İşletmelerin envanter bulundurmalarının bir çok nedeni vardır. Fakat envanter içerdiği maliyetler ve yalın üretim anlayışına göre ürüne değer katmaması nedeniyle gereksiz ve israf olarak değerlendirilmeye başlanmıştır. Bazı sistemler envanter bulundurmaya isterken bazıları envanter seviyesini düşürmeyi amaç edinmiştir.

#### **2.1.1.1 Envanter Bulundurma Nedenleri**

İşletmelerin envanter bulundurma nedenleri öncelikle servis seviyesi ve maliyet ekonomisi ile bağlantılıdır [1]. Genellikle üretim sistemleri müşterilerin anlık olarak gerçekleşen ürün veya servis taleplerine cevap verebilecek şekilde tasarlanmamışlardır. Müşteriye yakın ve müşteri talebini karşılayacak miktarda depolanan envanterler(ürün veya servisler) müşterilerin yüksek beklentilerini karşılamada etkin rol oynarlar. Bu nedenle bu envanterlerin bulundurulması satışın gerçekleşmesinin yanında satışların artmasında da etkilidir. Bunun dışında yüksek envanter seviyesi ile çalışmak tedarik aktivelerindeki azalma nedeni ile birçok şekilde maliyetin azalmasında etkilidir. Öncelikle daha uzun daha fazla üretim partileri ile üretim ekonomisi sağlanır ve ayrıca birim başına satın alma ve taşıma maliyetleri büyük siparişlerle daha düşük seviyelerde gerçekleşir.

Yüksek miktarlara uygulanacak miktar iskontoları firma tarafından değerlendirildiğinde stok bulundurma maliyetine geçecek oranda olduğu takdirde birim başına maliyette

düşüş sağlanacaktır. Büyük miktardaki taşımalarda birim başına elleçleme azalacağı için birim başına taşıma maliyeti de düşecektir. Satın alma fiyatlarının yükselme ihtimalinin bulunduğu durumlarda da mevcut ihtiyaçtan fazla satın alma gerçekleştirilmesi dolaylı olarak maliyetin azalmasını veya yükselmemesini sağlayacaktır. Talep edilen bir ürünün üretilmesi ve taşınmasındaki süre, miktar ve kalite sapmaları üretimin düzgün çalışmasına engel olacak ve üretimde aksamalara neden olacaktır. Envanterler, sistemdeki bu belirsizliklerin üretimi aksatmasını engeller ve daha düzgün bir üretime yardımcı olurlar. Son olarak da lojistik sistemindeki planlanmamış ve beklenilmeyen ani şok durumlarından sistemi belirli bir süre için korurlar. Çalışanların iş bırakması, doğal afetler, talepteki ani artışlar gibi durumlarda tedarik sistemi boyunca belirli noktalarda envanterin bulunması sisteme belirli bir periyot çalışma imkanı sağlayacaktır.

#### **2.1.1.2 Envanter Bulundurmama Nedenleri**

Envanterin ihtiyaçtan fazla bulundurulması yönetilmesinin işletmeler tarafından daha kolay uygulanabilir bir politika olduğu ve envanterin ihtiyaçtan fazla bulunduğu durumlarda karşılaşılan problemlerin, ihtiyaçtan az bulunduğu durumlardaki problemlere göre daha çözülebilir oldukları kabul edilmiştir [1]. Bu kabul ile birlikte uygulanması daha zor olan, envanterin ihtiyaç seviyesinde tutulması iyi yönetildiği takdirde önemli maliyet avantajları sağlayabilmektedir.

Envanter bulundurmanın en önemli maliyeti fırsat maliyetidir ve normal hesap tablolarında belirsizdir. Öncelikle envanterler pazar değeri olsa bile yalın üretim anlayışına göre ürüne direk olarak bir değer katmayan israf olarak varsayırlar. Aynı zamanda daha değerli bir şekilde kullanılacak olan sermaye envanter bağlanması gerekir. Buna ek olarak karşılaşılan kalite problemlerinin envanter yatırımına zarar vereceği durumlarda envanterin düşürülmesi yatırımın korunması açısından ilk öncelikli olacaktır. Envanterin fazla bulundurulduğu durumlarda kalite problemlerinin çözümü daha yavaş gerçekleşecektir.

Son olarak envanterin sistemi besleme amacı ile fazla seviyede bulundurulması tedarik zinciri elemanlarının bir birinden izole olmasına ve entegrasyonun doğuracağı avantajlardan mahrum kalınmasına neden olacaktır.

### **2.1.2 Müşteri Memnuniyeti**

Envanter bulundurulması sistemi ani olarak gerçekleşen müşteri taleplerine anında hizmet verebilme imkânını sağlayacak ve yok satma durumundan dolayı ortaya çıkabilecek kazanç kayıplarını engelleyecektir. Karşılanamayan müşteri talebi ya kayıp edilecek veya yeniden sağlamadan dolayı ek maliyetlere neden olacaktır. Bunun yanında müşterinin tedarik sistemi ile alakalı beklentisi değişebilecek ve müşteri sadakatinde değişmelere neden olabilecektir. Envanter yönetim sisteminden beklenen müşteri talebini istenilen veya envanter bulundurma ve bulundurmama maliyetleri göz önüne alındığında makul olan bir seviyede karşılayarak toplam maliyeti minimum seviye ulaştırma amacına sahip olması beklenmektedir. Envanter seviyesi, sistemi minimum aksatacak seviyede tutularak sistemin düzgün çalışması ve müşteri beklentilerini maksimum seviyede karşılanması sağlanacaktır.

### **2.1.3 Maliyet**

Firmalar envanterini minimum maliyete göre yönetmeleri işletmelerin hayatta kalma gerekçelerindedir. İşletmeler envanteri yönetirken her ne kadar müşteri memnuniyetini de sisteme dahil etseler bile müşteri memnuniyetini aslında dolaylı olarak bir maliyet kalemidir ve sağladığı kazanç ve neden olduğu maliyet iyi belirlenmelidir. Ürünlerin elde bulundurulma maliyeti bu ürüne bağlanan sermayenin veya o ürüne bağlanan yerin maliyetleri olarak varsayılır. Ayrıca zaman içinde ürünlerdeki bozulmalar hasar gibi nedenlerden olan kayıplarda elde bulundurma maliyeti ne dahil olur.

Ürünün sipariş verilmesinden dolayı sipariş verilen ürün miktarından bağımsız olarak gerçekleşen veya taşıma esnasında ürünün miktarından bağımsız olarak gerçekleşen maliyetlerde sipariş maliyeti olarak varsayılır. Sipariş verilen ürün miktarı arttırıldığında miktar dolayısıyla artan maliyetin sabit kısmı sipariş maliyetidir.

Müşteri memnuniyeti sağlama amacı ile sunulan servis seviyesinde sisteme elde bulundurmama maliyeti ile yansıtılır. Aslında bu servis seviyesi elde bulundurma, elde bulundurmama ve sipariş maliyetinin ortaklaşa değerlendirilmesi ile belirlenir fakat ana etmen olarak elde bulundurmama maliyeti kabul edilebilir. Elde bulundurmama

maliyeti gelen bir müşteri talebinin karşılanmaması nedeniyle kaybedilen karı veya talebin yeniden siparişinden dolayı oluşan maliyetleri temsil eder. Elde bulundurmama maliyeti içine talebin karşılanamamasından dolayı kaybedilen müşteri memnuniyetin maliyetini yansıtmak oldukça zordur. Bu noktada müşteri servis seviyesi kullanılarak daha makul sonuçlar elde edilir.

## **2.2 Envanter Çeşitleri**

Envanterler bir çok açıdan çeşitlere ayrılabilirler. Envanter yönetimi için işlevi, maliyet ve üretim-dağıtım açısından envanterin durumu daha fazla önem kazandığı için bu iki başlık altında envanter çeşitleri incelenecektir.

### **2.2.1 Sistemdeki Üretim-Dağıtım Durumlarına Göre Envanterler**

Ürünleri üretim ve dağıtım durumuna göre göz önüne aldığımızda üretimin ürüne kattığı değere dolayı ürünün doğal bir sınıflandırma şeması vardır [4]. Üretim ve dağıtım aşamalarında ürünler elde ettikleri değere göre ham maddeler, yarı mamul, iş ürünü, ve bitmiş ürün olarak sınıflandırılırlar.

Ham maddeler henüz bir üretim faaliyeti geçirmemiş veya temel faaliyetleri geçirmiş işletmenin üretim faaliyetleri için ihtiyaç duyduğu kaynaklardır.

Yarı mamul belirli üretim faaliyetlerine uğramış ve montaja hazır bütün bir ürünün parçalarıdır. Yarı mamuller genellikle başka işletmelerden montaja hazır son haline getirilmiş ürünlerdir. İşletmede herhangi bir işleme faaliyetine uğramazlar.

İş ürünü (Work-in-process)(WIP) ise üretim sistemi içerisinde işlenmek için veya montaj için bekleyen ürünlerdir. Bu nedenle iş ürünleri yarı mamul veya ham maddelerden oluşabilir. Bulunduğu konum nedeni ile farklı bir sınıfla alınmıştır ve daha verimli bir sistem için bu ürünlerin seviyesinin minimum tutulması hedeflenmiştir.

Bitmiş ürün montaj veya işleme gerektirmeyen kullanıma hazır son üründür. Üretim aşamasının her seviyesinde ürüne değer katılır ve bu aşama en son birmiş ürünler ile son bulur.

### 2.2.2 Kendi Özelliklerine ve Sistemde Bulunma Amacına Göre

Envanterler envanter yönetiminde kullanım amaçlarına göre süreç, spekülâtif, çevrim, güvenlik ve mevsimsel envanterler diye beş kısma ayrılabilirler [1].

Süreç envanterleri üretim sistemi içinde prosesler arası veya dağıtım sistemi elemanları arasında bulunan veya hareket eden envanterlerdir. Süreç envanterlerinin hareketleri yavaş veya uzun mesafeler arasında olabilir veya hareketleri birçok eleman arasında olabilir. Süreç envanterlerinin miktarı stok noktalarındaki envanter miktarından fazla olabilir.

Spekülâtif envanterler fiyatlarda artma beklendiği durumlarda fazla olarak alınan envanterlerdir. Her ne kadar spekülâtif amaç ile kullanılsalar da yönetilen toplam envanterin bir parçasıdır. Bazı hammaddeler altın, gümüş ve bakır gibi maddeler fiyat spekülasyonu için ihtiyaç duyulandan daha fazla satın alınırlar. Fiyat spekülasyonu ile oluşacak olan envanterin yönetimi daha çok finansal yönetimin alanına girmektedir. Bunun yanında sezonsal satışlar ve ileri dönem satışları nedeni ile oluşan envanterler daha çok envanter yönetimin alanına girmektedir.

Çevrim envanterleri sağlıklı bir çevrim süresi içerisindeki talebi karşılayacak envanterdir. Çevrim envanteri miktarı ve çevrim süresi uzunluğu üretim lot büyüklüğü, elde bulundurma maliyeti, sipariş maliyeti, envanter kapasitesi, temin süresi ve müşteri servis seviyesi ile belirlenir.

Talepteki zaman içerisindeki dalgalanma talebe göre karar verilen çevrim envanterine ve temin süresi envanterine ekstra envanter ekleme ihtiyacı doğurur. Talepteki bu dalgalanma nedeniyle tutulan bu ekstra envantere de güvenlik envanteri denir. Güvenlik envanteri ortalama temin süresindeki ortalama talebi karşılayacak envanterdir ve miktarı istatistiksel yöntemlerle belirlenir. Güvenlik envanterinin belirlenmesinde talep ve temin süresinin değişkenliği ve envanterin müşteriye veya bir sonraki sisteme sağlayacağı servis seviyesine bağlı olarak hesaplanır.

Bazı envanterler belirli süre elde bulundurulduklarında modası geçer, mevsimi değişir veya bozulur. Bu gibi envanterler mevsimi dışında satılmayacağı veya elde bulundurulduğunda değeri düşeceği düşünüldüğünde miktarları düşük tutulmaya

çalışılır. Eğer bu ürünlerin mevsimi geliyor ve temin açısından düşünüldüğünde mevsimleri dışında bulunmaları zor oluyorsa miktarları yüksek tutulmaya çalışılır.

### **2.2.3 Envanter Yönetimi Amacına Göre Sınıflandırma Metotları**

Üst yönetim envanter yönetimine bağlanan sermayeyi ürünler bazında teker teker ele almak yerine gruplandırılmış toplam olarak ele almayı tercih eder. Ürünler bir birinden ayrı olarak ele alınıp uygulandığında düzgün bir kontrol imkanı veren politikalar bütün ürünler bir araya getirildiğinde yavaş ve zor bir hal almaktadır. Bunlarla birlikte ürünleri gruplar halinde yönetmede iyi sonuçlar veren yenileme oranı, ABC analizi, ve risk havuzlama metotları uygulanmaktadır.

#### **2.2.3.1 ABC Analizi**

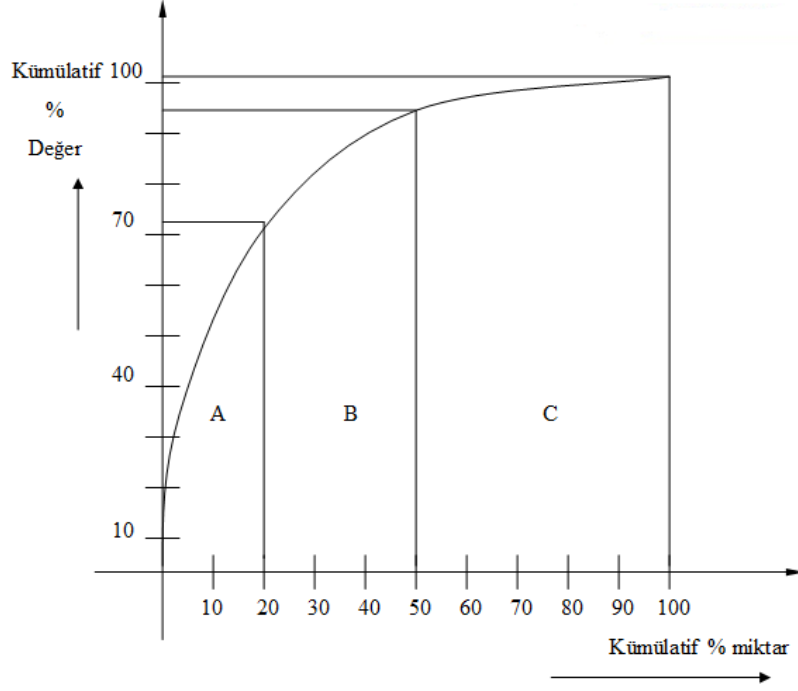
Çok ürünlü envanter sistemlerinde her ürün aynı karlılık oranına sahip değildir. Bazı ürünlere envanter yönetimi gerekirken bazı ürünlere gerekmez. Bu nedenle ürünleri karlı olanlar ve karı az olanlar şeklinde ayırmak uygun olacaktır. Ekonomist Vilfredo Pareto 19. yy daki varlık dağılımı incelemesinde varlığın büyük bir kısmının toplumun küçük bir kısmının elinde bulunduğu sonucuna varmıştır. Buna aynı zamanda Pareto etkisi denmiştir ve envanter sisteminde de sermayenin büyük kısmının küçük bir envanter grubuna ayrıldığı hesaplanmıştır.

ABC yönteminin temeli oluşturan ilke, ilk kez General Electric firması araştırmacılarından H. Ford Dickie tarafından 1951 yılında ortaya atılmıştır. ABC analizinin çıkış noktası, envanterde az sayıda kalemin değerinde büyük bir kısmı oluşturmasıdır. ABC analizi envanter kontrolünün yanında kalite kontrol, üretim planlama, ürün türü gibi sorunlara da uygulanabilir [5].

ABC analizi ile sınıflandırmada ürünlerin hangi özelliklerinin envanter yönetim şeklini etkilediği tespit edilerek bu özellikler göz önüne alınarak ürünler sınıflandırılır. Ürünler firmanın satışları bakımından karlılıklarına, pazar paylarına veya rekabet edebilirliklerine göre sınıflandırılabilir.



Genel olarak ABC analizinde toplam satış gelirlerini %80 lik kısmının ürünlerin %20 lik kısmından, toplam satışların %15 lik kısmının ürünlerin sonraki %30 luk kısmından, satışların %5 lik kısmının da ürünlerin son %50 lik kısmının satışından elde edildiği varsayılır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 ABC Analizi grafiği

Bu grupta değeri en yüksek ve sayıda az fakat maliyette yüksek olan grup A grubu bunu sıra ile de diğerleri B ve C grupları diye isimlendirilir. Gruplandırma miktarı ve grup sınırları ile alakalı birçok çalışma yapılmıştır. Maliyet dışında ürünün toplam hacmi, talebindeki sapmanın oranı, temin süresi gibi değerler gruplandırmaya katılarak, gruplandırmanın boyutu artırılarak daha etkin bir yönetim elde edilebilir.

A grubu ürünler daha değerli satışta daha fazla paya sahip olduğu için daha yakın ve sürekli takip edilmelidir. Envanter yönetimine yapılacak maliyet miktarı bu grup için daha fazla olur. C grubu ürünler daha az değerli ve satıştaki payları az olduğu için bu gruba uygulanacak bir envanter modelinin maliyeti sağlayacağı faydadan daha fazla olabilir. Bu nedenle bu gruba daha az takip gerektiren ve maliyeti daha az yönetim metotları uygulanır.

### **2.2.3.2 Çevirim Oranı**

Çevrim oranı envanter yönetiminde ürünleri sınıflandırmak için kullanılan en genel metotlardandır. Çevrim oranı yıllık elde edilen satışların o gruba yapılan envanter yatırımına oranıdır. Çevrim oranı yüksek olan gruplar daha dikkate alınması gereken ürünlerdir.

Farklı ürünler için farklı envanter çevrim oranları bulunmakla beraber üretim, toptancılar ve tedarikçiler için envanter çevrim oranı referans olarak sırasıyla 1/9, 1/9 ve 1/8 olarak kabul edilebilir [1]. Çevrim oranı kullanılarak envanter yapılacak olan yatırım o envanter grubunu satışlarına bağlanmış olacaktır.

### **2.2.3.3 Risk Havuzlama**

Üretim sisteminde kullanılabileceği gibi daha çok lojistik ağlarında aynı olan veya yakın olan ürün gruplarının stok noktalarındaki miktarlarının stok noktalarının sayısına, bu noktalarının birbirlerini besleme durumlarına ve bu noktalardaki talep durumlarına göre belirlenmesidir. Kısaca risk havuzlamada ürünlerin diğer ürünler yerine kullanılabilme durumları, ürünlerin özelliklerine, talep edildikleri noktaların konumlarına, talep miktarlarına, müşteri servis seviyesine, maliyet durumlarına göre belirlenerek risk havuzları oluşturmaktır. Risk havuzlama sonucunda birden fazla lokasyonun ve ürünlerin stokastik taleplerinin birleştirilmesi ile toplamda daha düşük envanter maliyetleri ile aynı servis seviyesini sağlayacaktır.

### **2.2.3.4 Literatürdeki Önerilen Diğer Metotlar**

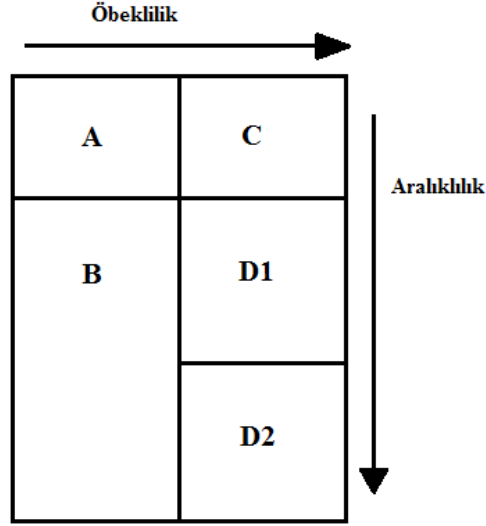
Zhang vd. [6] da ABC analizinin basit olmasına rağmen iki sebepten dolayı etkili olmadığını savunmuşlardır. Birincisi klasik ABC metodu ürünleri satıştaki toplam değerlerine göre sınıflandırmakta ve yatırımın çoğunu daha pahalı ürünlere ayırmaktadır. İkinci olarak ABC sınıflandırması gruplardaki envanter parametrelerinin optimizasyon ihtiyacını tamamıyla ortadan kaldırmamaktadır. Çoğu firma optimizasyon kapasitesi yetersizliğinden dolayı çoğunlukla yeri geldiğinde ve güvenilmeyen sezgisel metotlar kullanmaktadır[6].

Zhang vd. [6] da envanter yatırımını minimize eden ortalama servis seviyesine ve yenileme frekansına dayalı bir metot önermişlerdir. Öncelikle klasik ABC metodundan daha etkin ve optimizasyon modeli uygun bir şekilde ürünün anahtar özelliklerine uygun bir sınıflandırma metodu geliştirmişlerdir. Her kategoriye servis seviyesi ve yenileme frekansına kısıtlarına göre sınıflandırmışlardır.

Envanter yönetiminde en etkili parametrelerden bir kısmı da talep ile ilgili parametrelerdir. Bunun için Syntetos vd. [7] de talep tahmininde etkili olan ürün sınıflandırma parametrelerinin aynı zamanda envanter yönetiminde de etkili olacağını önermişlerdir [7].

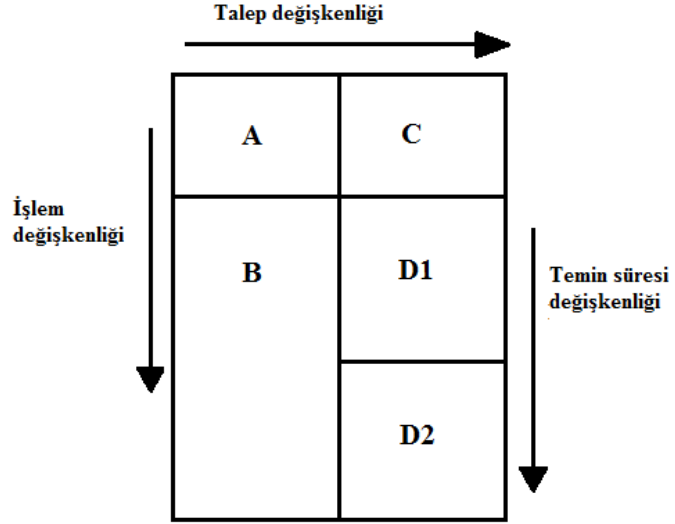
Talep tahmininde Williams [8] de varyans ayrımı diye adlandırılan fikre dayalı talep sınıflandırması metodunu önermiştir. Ürünleri temin süresindeki taleplerinin varyansına göre kendi varyans gruplarına ayırmıştır. Bu metodun amacı gruplara en uygun tahmin ve buna bağlı olarak en iyi envanter kontrol modelini tanımlamaktır. Ürünler iki boyutta gruplara ayrılmaktadır. Yatay boyutta talebin varyasyon katsayısının temin süresi içerisinde oluşan talebe oranı ile talebin öbek olma özelliği dikey boyutta ise temin süresindeki talebin negatif birinci kuvveti alınıp talebin oluşma sıklığı bulunarak talebin aralıklı olma özelliği göz önüne alınıp sınıflandırma yapılmıştır [8].

Dikeyde değer arttıkça talebin aralıklılığı artar yatayda değer arttıkça da talebin öbek olma özelliği artar. D2 sınıfı yüksek aralıklı D1 sınıfı aralıklı B sınıfı yavaş hareket eden ve diğer gruplarda düzgün olarak sınıflandırılır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Williams'ın kategorizasyon şeması

Eaves ve Kingsman da [9] da talep tahmininde sınıflandırma için Williams'ın [8] deki modelinin yetersiz olduğunu savunmuş ve revize bir model önermiştir. Şekil 2.3'de önerilen modelde talep değişkenliği, temin süresi değişkenliği ve işlem oranı değişkenliğine göre sınıflandırılmışlardır. Düşük işlem değişkenliği olan grup talep değişkenliğine göre düzgün veya düzensiz olarak gruplara ayrılmıştır. Düzgün ve yavaş hareket eden gruplarda talep değişkenliğine göre geriye kalan kısımdan ayrılır. Temin süresi değişkenliğine göre yalnızca değişken ve oldukça değişken gruplar belirlenir. Şekil 2.3'de A sınıfı düzgün, C sınıfı düzensiz, B sınıfı yavaş hareketli, D1 değişken ve D2 sınıf oldukça değişken olarak belirlenir[9].



Şekil 2.3 Evaes'in kategorizasyon şeması [9]

Her iki modelde de sınıflar arasındaki sınırlar sınıflandırma amacı doğrultusunda mevcut talep datasına ve sınıflandırılacak talep gruplarının büyüklüklerine göre ve uygulanacak envanter yönetim politikasına göre belirlenebilir [7].

### ENVANTER YÖNETİM POLİTİKALARI

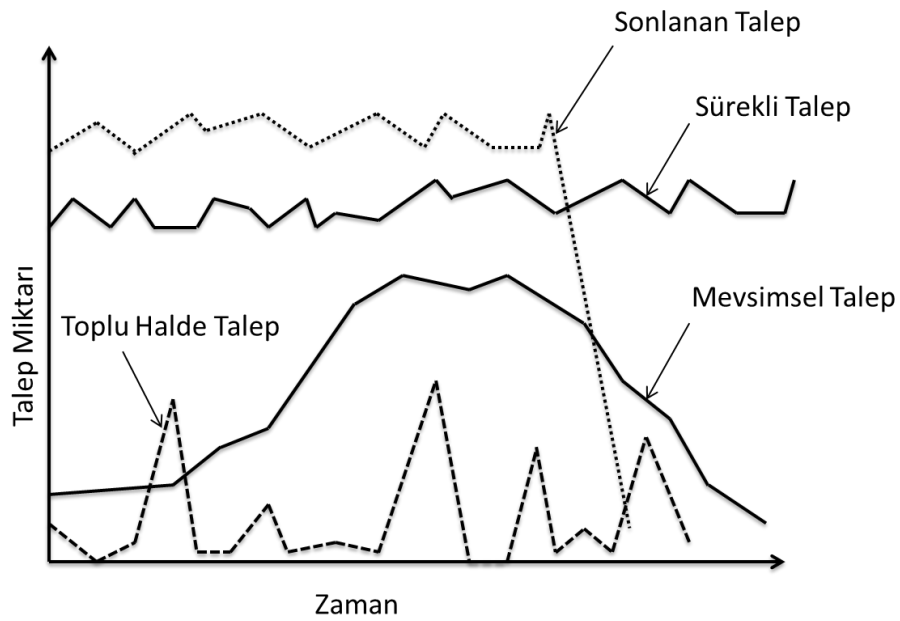
Envanter yönetimi, ekonomik taleplerle karşı karşıya olan bir işte elde tutulan envanter miktarının çeşitli şekillerde bilimsel olarak kontrol edilmesidir. İstenilen stok türünü, istenilen zamanda hazır bulundurmak ve bunu en ekonomik şekilde gerçekleştirme faaliyeti envanter kontrolü olarak adlandırılır [10]. Envanter yönetimi tek bir metot kullanılarak yapılamadığı için envanter yönetim metotlarını bir kaç ana gruba kategorize etmek gerekir. Envanter yönetiminde talebin durumunun ve zamana göre dağılımının aynı zamanda temin süresinin ve zamana göre dağılımının bilindiği kabul edilir ve bu verilen durumlara göre en iyi kontrolü sağlayacak yöntemin belirlenmesi gerekmektedir.

#### 3.1 Envanter Yönetim Politikalarının Sınıflandırması

Envanter yönetim politikaları belirlenirken ürünlerin parametrelerine göre minimum maliyeti sağlayacak politikanın yanında işletmenin yönetim felsefesine ve planlamanın hangi düzey yönetim kararları için yapıldığı göz önüne alınarak belirlenmelidir. Ayrıca envanter yönetiminin hangi derecede yapılacağı yanında tedarik ve dağıtım sisteminin envanter yönetim politikasının içerisine dahil edilip edilmeme durumu da belirlenecek olan yönetim politikasını etkileyecektir. Kısaca envanter yönetim politikasının belirlenmesinde etkili olan temel etmenleri talebin yapısı, yönetim felsefesi, planlama derecesi, ve çok eşelonlu envanterler şeklinde sıralayabiliriz [1].

### 3.1.1 Talebin Yapısı

Talebin yapısı envanter yönetim politikasının belirlenmesinde önemli bir rol oynar. Genele olarak talebin sonlanmayan ve düzgün hareket ettiği varsayılarak envanter modelleri belirlenir. Fakat ürünlerin farklı dönemlerinde farklı talep yapıları vardır (Şekil 3.1). Her ürünün talebi ürünün yaşam döngüsü boyunca artar, sabit bir dönem geçirir ve azalır. Ürünün bu yaşam döngüsü içerisindeki satışı yeterli olarak görüldüğü dönemler için ürünü talebi planlama amacı için sürekli kabul edilir. Üç yıl ile beş yıl arasındaki ürün talep ömürleri sürekli kabul edilmek için yeterlidir [1].



Şekil 3.1 Farklı talep yapıları [1]

Mevsimsellik özelliği önemli derecede yüksek olan ürünleri karşılamak için tutulan envanterler yüksek fiyat indirimleri olmadan elden çıkarılamazlar. Talebin tam kesinlikle belirlenemediği durumlarda her bir yenileme siparişi yeniden sipariş veya ürün dönüşüne müsaade etmeyecek şekilde verilmelidir.

Talep sürekli olmasına rağmen aynı zamanda öbekler halinde veya önemli derecede düzensiz olduğu için yüksek talebin olduğu dönemleri hiç talebin olmadığı dönemler takip edebilir. Bu gibi taleplerin tahmini mevsimsel gerçekleşen taleplerden zordur. Bu gibi talepleri bütün talep gruplarında ayırarak yönetmek gerekir. Bu talep grubunun varyansı talebin ortalamasına göre yüksek olduğu için standart sapması ortalama

talebinden büyük olan veya standart sapmasının ortalama talebe oranı belirli bir değerden büyük olan ürünler bu talep grubuna dahil edilirler. Bu talep grubunu normal envanter yönetim prosedürleri yerine sezgisel, matematiksel prosedürlerle ve işbirlikçi tahmin gerçekleştirerek yönetmek gerekir.

Belirli bir süre içinde ömrünün son bulacağı öngörüsünde bulunulan ürünlerde sadece talebi karşılamaya yönelik planlama gerçekleştirilir. Bazı durumlarda sınırlı bir süre için yeniden sipariş göz önüne alınabilir. Bu ürün grubunda raf ömür olan ilaçlar, askeri yedek parçalar yer alır. Bu gruptaki ürünler ile sürekli olarak kabul edilen ürün grubu arasındaki fark çok az olduğu için bu iki grup planlama açısından aynı metotlar geliştirilerek yönetilir.

### **3.1.2 Yönetim Felsefesi**

Envanter yönetim felsefesi itme ve çekme sistemi olarak iki temel felsefeden oluşur. Çekme sisteminde stok noktaları talep tahminlerine ve yenileme miktarlarına stok noktasının yerel durumlarını göz önüne alarak karar verir ve envanter üzerinde kesin kontrol sağlar. Çekme sistemi ağırlıklı olarak tercih edilen ve yönetimi kolaylaştırıp entegrasyonun karmaşasından koruduğu gibi avantajlarından da faydalanılamayan yönetim felsefesidir.

İtme yönetim felsefesinde ise her envanter ayrı yönetilirken envanter ile ilgili kararlar bütün sistem göz önüne alınarak verilir. Bu nedenle yenileme sipariş miktarları ve zamanlamaları stok noktasının kendi lot büyüklüğü ve zamanlamaları ile koordineli olmak zorunda değildir. İtme sistemi satın alma veya üretim ekonomilerinin az envanter tutma ile sağlanacak olan kardan yüksek olduğu noktalarda ve bütün sistem ile alakalı her noktada ihtiyaç duyulacak kapasite ve diğer kriterlerin belirlenmesinde kullanılır.

Bunlara ek olarak iki yönetim felsefesinin birleşimi olarak işbirlikçi yönetim tarzında stok noktaları ve ana sistem yönetimi lot büyüklüklerine ve zamanlamalarına beraberce karar vererek daha ekonomik bir yönetim sağlanabilir.



### **3.1.3 Planlama Derecesi**

Ürünlerin gruplar halinde yönetilmesi veya bütün sistem göz önüne alınarak verilen kararlar üst yönetimin ihtiyaçlarını karşılar. Tek ürünler yerine ürünleri gruplandırarak ürünlerin stratejik envanter seviyelerinin planlanması sağlanabilir. Bu sayede ürünlerin toplu bir şekilde yönetilmesi için geçerli bir yaklaşım sunulmuş olur ve ayrıca stratejik yönetim için bütün stok noktalarında bütün ürünleri ayrı ayrı kontrolüne gerek kalmaz. Ürünlerin birebir yönetildiği sisteme göre daha az kesinliğe sahip olacağı kesindir fakat harcanacak olan efora bakıldığında uygulanabilir olmaktadır.

Ürünlerin tek olarak yönetilmesi ile ürün seviyelerinde daha kesin kontrol sağlanır. Elde edilen bu kesin kontrol ile bütün sistemin kesin kontrolü sağlanabilir. Günlük operasyonlar ürün envanterlerinin birebir yönetilmesini ve kesinlik seviyesinin daha yüksek olmasını gerektirdiği için günlük faaliyetlerde uygulanabilir. Planlama derecesine karar verirken planlamanın hangi seviyede kararlar için yapıldığına bakılmalı ve buna göre planlama seviyesi tercih edilerek planlama yapılmalıdır.

### **3.1.4 Çok Kademeli Envanterler**

Ürünlerin gruplar haline getirilerek veya tamamı bir araya getirilerek yönetilmesinin yanında envanterin geçtiği aşamaların kapasiteleri, talepleri ve diğer parametreleri göz önüne alınarak entegre bir şekilde yönetilmesi de ayrı bir yaklaşımdır. Burada envanterler lokal olarak yönetildiği gibi sistemin tamamında yüksek derecede bilgi paylaşımı sağlanarak entegre bir şekilde yönetilebilir ve sistem açısından daha iyi sonuçlar elde edilir. Sistemin entegre bir şekilde yönetilmesi ayrı olarak yönetilmesinden daha düşük envanter seviyesi sağlayacağı gibi önemli ölçüde bilgi paylaşımını ve daha zor problemlerin çözümünü gerektirmektedir.

Bütün bu kriterlere baktığımızda kısaca envanter yönetim politikalarını aşağıdaki Çizelge 3.1'deki kriterlere göre değerlendirebiliriz [11]:

- Her bir aşamadaki envanterin bağımsız olarak yönetilip yönetilmediğini tanımlayan. Optimizasyon Hedefi; yani lokal envanter politikalarının (lokal) veya entegre anlamda global bir envanter politikasının (global) benimsenmesi;

- Eğer envanter yönetiminde merkezi bir karar verici mevcutsa merkezîleştirilebilen veya farklı kademelerdeki karar vericiler birbirlerinden farklıysa merkezîleştirilemeyen Kontrol Tipi;
- Envanter talebine bağlı olarak envanter pozisyonu kontrol sıklığına bağlı olarak periyodik, sürekli veya hibrit olabilen Envanter Kontrol Sıklığı;
- Tahmin veya müşteri siparişlerine dayanarak gelecekteki talebin bir tahminini gerektiren proaktif bir yaklaşım (zaman-aşamalı) veya envanter stoklarının mevcut tüketimine dayanan reaktif bir yaklaşım (anlık) olup olmaması ile tanımlanan Zamansal Bilgi Gereksinimi;
- Tedarik zincirindeki envanter durumunun ölçülme yolunu karakterize eden, kurulum stoku (installation) veya aşama stoku (echelon) olarak adlandırılan Alansal Bilgi Gereksinimi [11].

Çizelge 3.1 Envanter yönetim politikalarını karakterize eden kriterler [11]

| <b>Envanter yönetim kriterleri</b> | <b>Seçenekler</b>          |
|------------------------------------|----------------------------|
| Optimizasyon hedefi                | Lokal; global              |
| Kontrol tipi                       | Merkezileşmemiş; Merkezi   |
| Envanter kontrolü                  | Periyodik; hibrit; sürekli |
| Zamansal bilgi gereksinimi         | Zaman-aşamalı; anlık       |
| Alansal bilgi gereksinimi          | Kurulum; aşama             |

### 3.2 Envanter Yönetim Politikaları Hedefleri

Envanter yönetimin temel amacı istenilen müşteri servis seviyesini veya ürün bulunabilirliğini sağlayacak ve bu servis seviyesini sağlamanın maliyetini minimize edecek şekilde ürünlerin gereken kalitede gereken miktarda ve gereken zamanda satın alabilmek için sipariş politikalarını belirlemektir [1].

Uygulanacak olan envanter politikası iki temel kriteri dengelemek ve bu iki temel kriter göre bir politika belirleyecektir. Bu iki temel kriter ürünün bulunabilirliği ve bu bulunabilirliği sağlamak için gerekli olan maliyetlerdir. Ürün için istenilen bulunabilirliği sağlarken gerekli olana maliyetleri minimize edecek politikanın belirlenmesi gerekir.

### 3.2.1 Ürün Bulunabilirliği

Envanter yönetiminin en temel hedefi zaman içinde oluşan müşteri talebini maliyet unsurları çerçevesinde belirli bir oranda karşılamasıdır. Talep değişken ve tam olarak tahmin edilemez bir yapıya sahiptir. Talebin bu yapısı talebin yüzde yüz olasılık ile oluştuğu anda karşılanmasını imkânsız kılmaktadır. Aynı zamanda değişken bir yapıya sahip talebin yüzde yüz olasılıkla karşılamaya yönelik politika maliyet açısından uygun olamamaktadır. Bu nedenle servis seviyesi oluşması beklenen talebin stoktan karşılanması olasılığıdır.

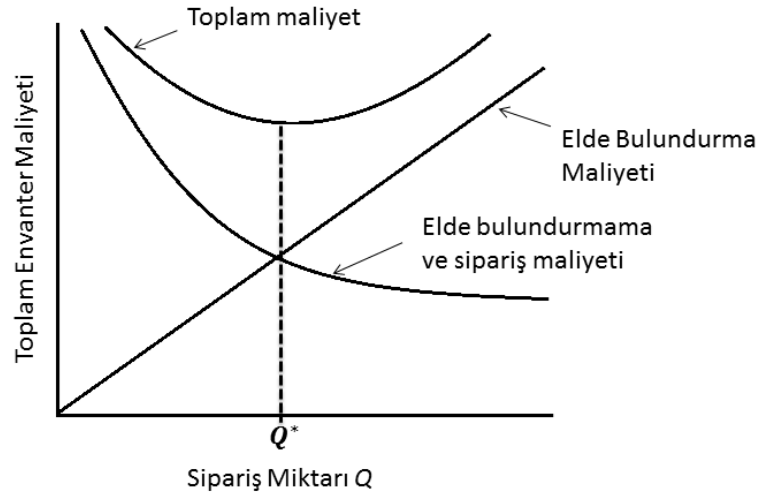
$$Servis\ seviyesi = 1 - \frac{Beklenen\ stoktan\ karşılanamayan\ ürün}{Toplama\ talep} \quad (3.1)$$

Servis seviyesi 0 ile 1 arasında bir değerdir ve belirli bir servis seviyesinde hedef stoktan karşılanamayan ürün miktarını kontrol etmektir. Servis seviyesi iki farklı şekilde ele alınabilir. Birincisi beklenen stok karşılanamayan ürün miktarının toplama talep miktarına oranıdır. İkincisi ise talebin stoktan fazla olma olasılığıdır. Bu iki durumdaki servis seviyeleri tip bir ve tip iki servis seviyesi diye tanımlanır detaylı açıklama ileride gelecektir.

### 3.2.2 İlişkili Maliyetler

Envanter yönetiminin en temel amaçlarında biri de işletmenin temel amaçlarından biri olan karlılığı sağlamak için maliyetleri minimize etmektir.

Envanter yönetimi politikalarında önemli olan üç ana maliyet vardır ve bunlar Şekil 3.2'deki gibi sipariş miktarına göre değişmektedir. Bu maliyetler satın alma maliyeti, elde bulundurma maliyeti ve stoksuz kalma maliyetidir. Bu maliyetler birbirlerini dengeleyecek bir etkileşim içerisindedirler.



Şekil 3.2 Envanter maliyetleri arasındaki ilişki

### 3.2.2.1 Sipariş Verme Maliyeti

Her hangi bir sipariş verildiği zaman işleme, kurulum, taşıma, stoklama ve ürünün satın alınması gibi birçok maliyet ortaya çıkar. Daha özel olarak satın alma maliyeti siparişin miktarından bağımsız olarak her sipariş verildiğinde ortaya çıkan üretim prosesinin kurulum maliyeti, siparişi vermenin muhasebe ve satın alama da oluşturduğu maliyet, siparişin miktarından bağımsız olan siparişe ait taşıma maliyeti gibi ürün miktarında bağımsız olan maliyetleri içerir.

Üretim yapan işletmeler için söz konusu olan üretime hazırlık maliyeti, belirli bir ürünü ya da parçayı üretebilmek için makine, donanım ve tesislerin ilgili düzene getirilmesi sırasında yapılan hazırlıklardan dolayı ortaya çıkan maliyetlerdir. Yeni makinelerin kurulması ve test edilmesi sırasında boşta kalan elemanlara ödenecek paralar ve makine kurulum ve test edilmesi için ödenen giderler üretime hazırlık maliyeti içinde değerlendirilmektedir [12].

### 3.2.2.2 Stok Bulundurma Maliyeti

Elde bulundurulan envanter nedeni ile katlanılan maliyetlerdir. Elde bulundurulan envanter kendisine belirli bir sermayenin yatırılmasını ve belirli bir depolama alanının sağlanmasını gerektirir. Her iki durumda stoka belirli bir miktar sermayenin yatırılmasını

veya stok nedeniyle sürekli olarak belirli bir maliyete katlanılmasını gerektirir. Sermayenin alternatif kazanç getireceği alanlar yerine envantere yatırılması sermayenin alternatif kazanç maliyetidir. Ayrıca envanterin bağlanacağı yere ödenecek maliyet de yine elde bulundurma maliyetine yansiyacaktır. Ürünü zaman içerisinde karşılaştığı çalınma, bozlama gibi risklerde elde bulundurma maliyeti içerisinde girer. Elde bulundurma maliyeti içinde en yüksek paya sahip olan bu fırsat maliyeti, toplam stok değerinin yaklaşık %10-25 arası kısmını oluşturmaktadır [13].

### **3.2.2.3 Stok Bulundurmama Maliyeti**

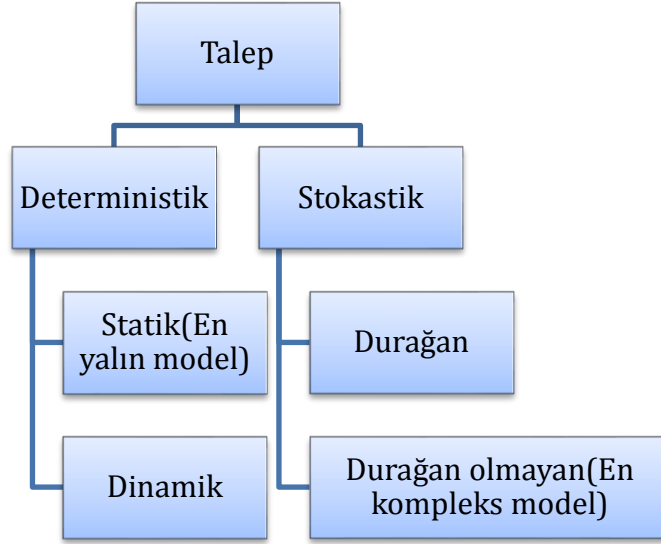
Karşılanamayan talepten dolayı oluşan maliyettir. Stok bulundurmama maliyeti iki şekilde ortaya çıkar. Birincisi kaybedilen satışların maliyeti diğeri ise karşılanamayan talebin tekrar karşılanmasında katlanılan ceza maliyetidir. Her iki durumda da işletme üzerinde müşterinin kaybolan iyi niyeti mevcut olduğu için elde bulundurmama maliyetinin hesaplanması daha zordur.

Müşteriler talepleri karşılanmadığı zaman taleplerini geri çeker ve alternatif bir başka bir noktadan taleplerini karşılarlar. Bu noktada işletmenin stok bulundurmamadan dolayı oluşan maliyeti aslında satıştan kazanılacak olan karın kaybedilmesidir.

Müşteriler durumuna göre talepleri karşılanmadığı zaman taleplerinin karşılanması için bekler bu durumda talep kayıp edilmez ama gecikmeden dolayı katlanılacak ceza maliyetlerin yanında ürünü talebin hemen karşılanması için yapılacak olan ek taşıma ve sipariş faaliyetleri stok bulundurmamadan dolayı katlanılacak maliyetler olacaktır. Her iki durumda da müşterilerin firma üzerindeki algıları değişeceği ve bunun gelecekteki talebe nasıl yansıtacağı tespit edilemeyeceği için hesaplanması zorlaşmaktadır.

### **3.3 Deterministik Envanter Yönetim Politikaları**

Envanter yönetim politikalarında temel belirleyici değişkenler talep ve temin süresi ve planlamanın kapsamıdır. Talebin ve temin süresi deterministik veya stokastik olabilir ayrıca planlama tek bir dönemi veya uzun bir dönemi kapsayabilir. Bu değişkenlere göre envanter yönetim politikaları Şekil 3.3 şeklindeki gibi sınıflandırılabilirler.



Şekil 3.3 Talebin yapısına göre stok modelleri

Yukarıdaki şekilde belirtildiği gibi; talebin ve temin süresinin bilindiği durumda deterministik modeller, bilinmediği durumda ise stokastik modeller kullanılmaktadır.

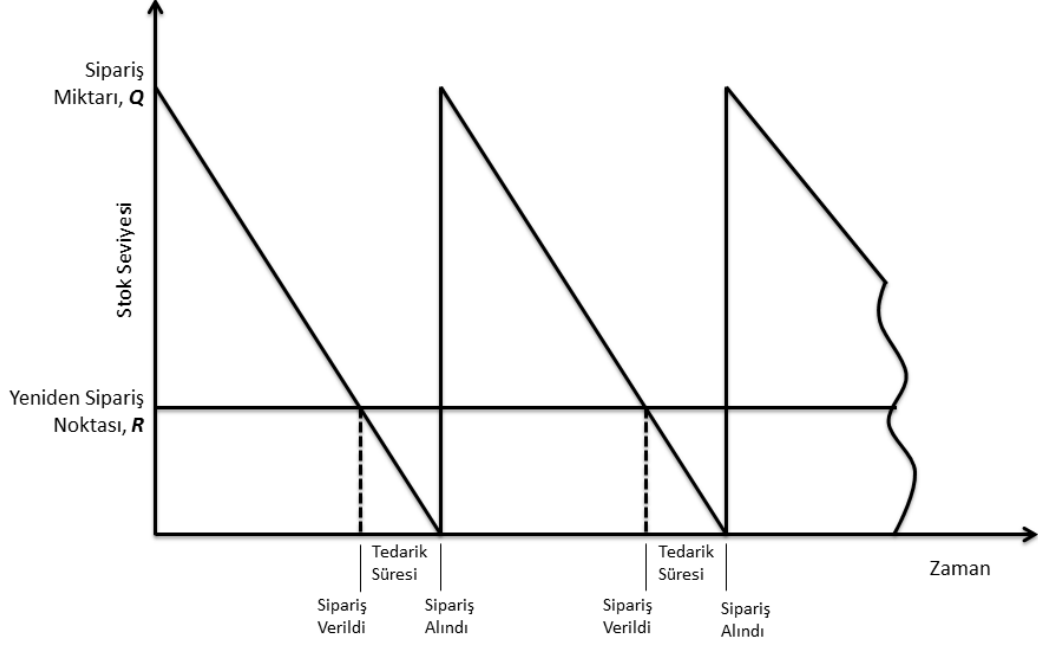
Deterministik talebin ve temin süresinin zamanla sabit olması durumunu yani tek dönemi ele alan modeller, deterministik statik modeller olarak bilinirken, talep oranının ve temin süresinin bir dönemden (periyottan) diğerine değişken olması durumunu yani daha uzun planlama dönemlerini ele alan modeller ise deterministik dinamik modeller olarak nitelendirilmektedir. Olasılıklı talep durumunda ise; talebin ve temin süresinin olasılık yoğunluk fonksiyonu zamanla değişmiyorsa durağan modeller, olasılık yoğunluk fonksiyonu zamanla değişiyorsa durağan olmayan modeller karşımıza çıkmaktadır [12].

### 3.3.1 Ekonomik Sipariş Miktarı (ESM) Modeli

Envanter yönetim politikalarının en temel ve en eski modeli ekonomik sipariş modelidir. İlk olarak 1915'te Ford W. Harris tarafından ortaya konan bu model günümüzde kullanılan pek çok modelin temelini oluşturmaktadır. Kullanımı çok kolay ve basit olan bu teknik pek çok varsayımı da içinde barındırmaktadır [14].

Ekonomik sipariş miktarı modeli elde bulundurma ve sipariş maliyetini minimize eden optimal sipariş miktarının sayısal yöntemler ile belirlenmesine dayanır. Satın alama

maliyeti bu modelde ürün fiyatı sabit olduğu için herhangi bir optimizasyon avantajına sahip değildir. Bu modelde talebin bilindiği ve zaman içerisinde sabit olduğu varsayılmaktadır. Ayrıca talebin karşılanamaması veya geciktirilmesi söz konusu değildir ve siparişe ait temin süresi belirli ve sabittir. Ayrıca siparişlerin tek seferde yenilerek depoya geldiği varsayılır [15]. Bu modelin şematik olarak gösterimi Şekil 3.4'deki gibidir.



Şekil 3.4 Ekonomik sipariş miktarı modeli şematik gösterimi

Şekil 3.4'deki gösterimde yatay eksen zamanı düşey eksen envanter miktarını temsil etmekte ve düşeye eksendeki  $R$  seviyesi yeniden sipariş miktarını temsil etmektedir. Modelin notasyonu aşağıdaki gibidir.

$\lambda$  : Birim dönemdeki beklenen ortalama talep

$K$  : Sipariş maliyeti

$h$  : Bir birim ürünün birim süre elde bulundurma maliyeti

$c$  : Bir birim ürünün satın alma maliyeti

$L$  : Siparişlerin temin süresi

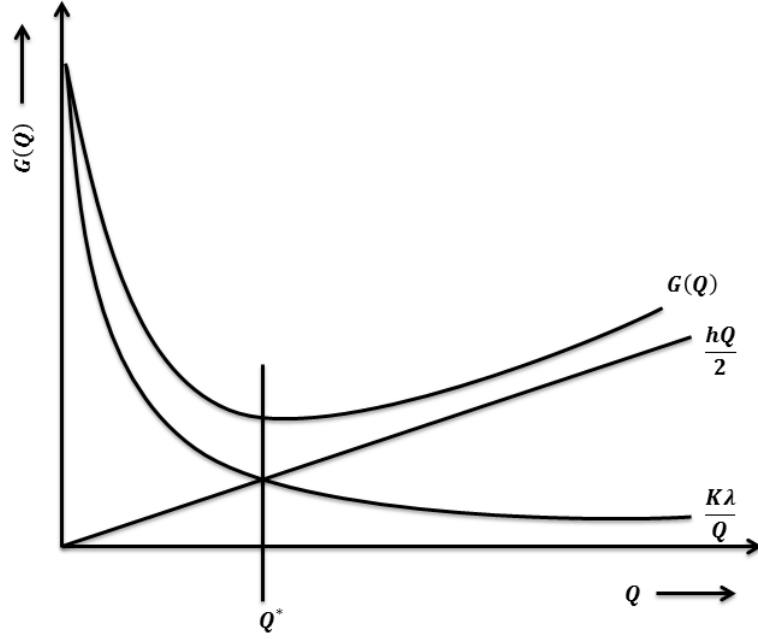
$Q^*$  : Ekonomik sipariş miktarı

$T^*$  : Ekonomik sipariş periyodu

$R$  : Yeniden sipariş noktası

Modelin toplama maliyeti (3.2)' den lot büyüklü  $Q$  ya bağlı olarak elde bulundurma maliyeti sipariş maliyeti ve satın alama maliyetinin toplamı şeklindedir. Toplam maliyet fonksiyonunun şematik gösterimi de Şekil 3.5'deki gibidir.

$$\text{Toplam Maliyet} = G(Q) = \frac{K\lambda}{Q} + \lambda c + \frac{hQ}{2} \quad (3.2)$$



Şekil 3.5 Toplam maliyet fonksiyonu

Toplam maliyet eğrisi iç bükey bir yapıya sahip olduğu için toplam maliyeti minimum yapan  $Q$  değeri toplam maliyet fonksiyonunun birinci türevinin sıfıra eşit olduğu yani teğetinin eğiminin sıfır olduğu noktadadır. Bu neden dolayı toplam maliyet fonksiyonunun birinci türevi alınıp sıfıra eşitlenerek ekonomik sipariş miktarı  $Q^*$  (3.3)'den bulunur.

$$Q^* = \sqrt{\frac{2K\lambda}{h}} \quad (3.3)$$

Bulunan bu ekonomik sipariş miktarı ile ürüne ait ekonomik sipariş periyodu ekonomik sipariş miktarı yıllık periyottaki talep miktarına bölünerek (3.4) ile ve ürüne ait yeniden sipariş noktası da temin süresindeki talep (3.5) ile hesaplanarak bulunur.

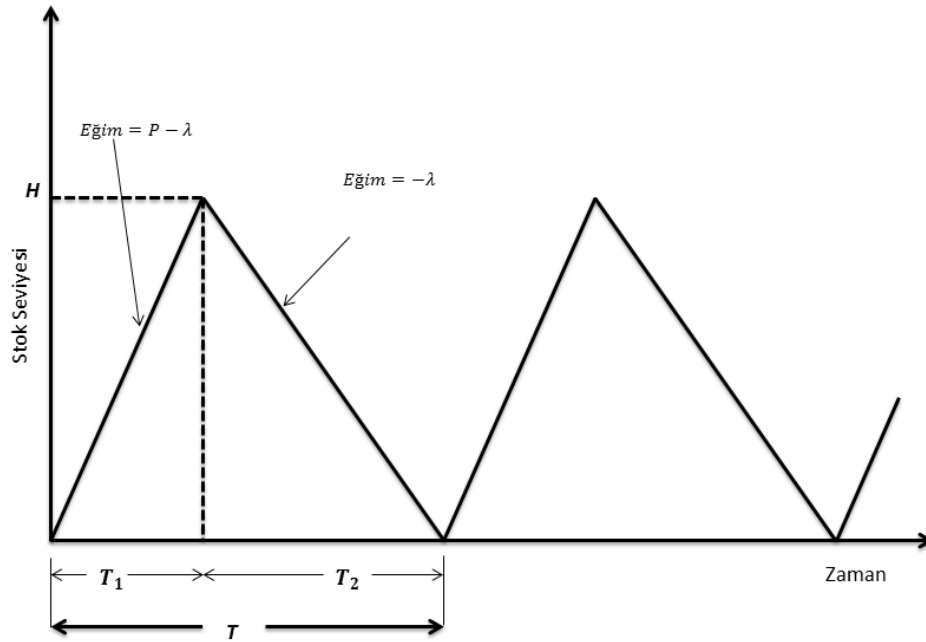


$$T^* = \frac{Q^*}{\lambda} \quad (3.4)$$

$$R = \lambda * L \quad (3.5)$$

### 3.3.2 Ekonomik Üretim Miktarı (EÜM) Modeli

Ekonomik üretim miktarı modeli bir önceki ekonomik sipariş miktarı modelinin sahip olduğu varsayımların aynısına sahiptir fakat ekonomik üretim miktarı modelinde ürünlerin siparişi yerine ürünlerin üretimi yer aldığı için ürünlerin tek seferde takmamamı ile değil belirli bir hızda belirli bir süre içerisinde artarak yenilediği varsayılır. İşletmeler parti büyüklüğü ile aynı türden ürünlerin belirli bir hacimde üretimini yaparken bu parti büyüklüğünü üretim maliyetlerini minimum yapacak şekilde talep, stok seviyesi ve üretim oranına göre belirlerler [16].



Şekil 3.6 Ekonomik üretim miktarı modeli şematik gösterimi

Modelin şematik olarak gösterimi Şekil 3.6'daki gibidir. Burada  $T_1$  süresinde sipariş veya parti büyüklüğü belirli bir hızla üretilerek parti tamamlanmaktadır ve bu süre yenilemenin ve talebin olduğu süreyi  $T_2$  süresi sadece talebin olduğu süreyi göstermektedir. Bu modelde ekonomik sipariş miktarı modeline ek olarak şu notasyonlar bulunmaktadır.

$P$  : Birim zamandaki üretim miktarı

$T_p$  : Partinin yenilenme ile beraber harcanma süresi

$T_\lambda$  : Partinin sadece harcandığı süre

Toplam maliyet  $Q$  miktarının fonksiyonu şeklinde (3.6)'da elde bulundurma ve sipariş hazırlık maliyeti veya sipariş maliyetinin toplamı şeklindedir.

$$\text{Toplam Maliyet} = G(Q) = \frac{K\lambda}{Q} + \frac{hQ}{2} \left(1 - \frac{\lambda}{P}\right) \quad (3.6)$$

Ekonomik parti büyüklüğü de ekonomik sipariş miktarı modelindeki gibi birinci türev sifıra eşitlenerek (3.7) eşitliği ile bulunur. Ayrıca ekonomik yenileme periyodu  $T^*$  (3.8)'den üretim süresi  $T_p$  (3.9) eşitliğinden bulunur. Ayrıca üretim esnasında tüketim de gerçekleşeceği için eldeki ürün miktarı parti büyüklüğüne ulaşamayacaktır. Eldeki ürün miktarının ulaşabileceği maksimum miktarda  $H$  (3.9)'dan elde edilir.

$$Q^* = \sqrt{\frac{2K\lambda}{h(1-\lambda/P)}} \quad (3.7)$$

$$T^* = \frac{Q}{\lambda} \quad (3.8)$$

$$T_p = \frac{Q}{P} \quad (3.9)$$

$$H = Q^* \left(1 - \frac{\lambda}{P}\right) \quad (3.10)$$

$$T^* = T_p + T_\lambda \quad (3.11)$$

### 3.3.3 Talebin Bekletilmesi Durumunda ESM Modeli

Ekonomik sipariş miktarı ve ekonomik üretim miktarı modellerinde oluşan talebin bekletilmeden karşılandığı varsayılmıştır. Fakat bir birim talebi birim zaman boyunca bekletmenin  $p$  gibi bir maliyeti olduğu durumda o talebi belirli bir süre bekletip sonra karşılamak daha optimal olmaktadır. Fakat talebin bekletilmesinin karşılaşılabilecek ceza maliyeti dışında firmanın itibar kaybına ve gelecek satışlardaki kayıplara neden olabileceği düşünüldüğünde talebin bekletilmesinin maliyeti karmaşıklaşmakta ve hesaplanması zor bir hal almaktadır.

Bu modelde önceki modellere ek olarak şu notasyonlar eklenmektedir.

$p$  : Bir birim talebin birim zaman bekletilmesinin maliyeti veya elde bulundurmama maliyeti olarak alınabilir.

$T_B$  : Talebin bekletildiği süre bu süre içerisinde sistem bulundurmama maliyetine katlanır.

$B$  : Maksimum elde bulundurmama miktarı karşılanmayan ve bekleyen talebin maksimum ulaşacağı noktadır.

Bu modelde toplam maliyet  $Q$  sipariş miktarının ve  $B$  maksimum elde bulundurmama miktarının bir fonksiyonu olarak sipariş hazırlım maliyetinin elde bulundurma maliyetinin elde bulundurmama maliyetinin ve satın alma maliyetinin toplamı şeklindedir (3.12).

$$\text{Toplam Maliyet} = G(Q, B) = \frac{K\lambda}{Q} + \lambda c + \frac{h(Q-B)^2}{2Q} + \frac{pB^2}{2Q} \quad (3.12)$$

Ekonomik sipariş miktarı ve bekletilecek maksimum talep miktarı toplama maliyet fonksiyonunun her iki değere göre ayrı ayrı birinci derece türevi alınıp sıfıra eşitlenmesi ile (3.13) ve (3.14) eşitliklerindeki gibi bulunur. Talebin bekletileceği süre  $T_B$  (3.15)'den hesaplanır.

$$Q^* = \sqrt{\frac{2K\lambda(p+h)}{ph}} \quad (3.13)$$

$$B^* = \sqrt{\frac{2K\lambda h}{p(p+h)}} \quad (3.14)$$

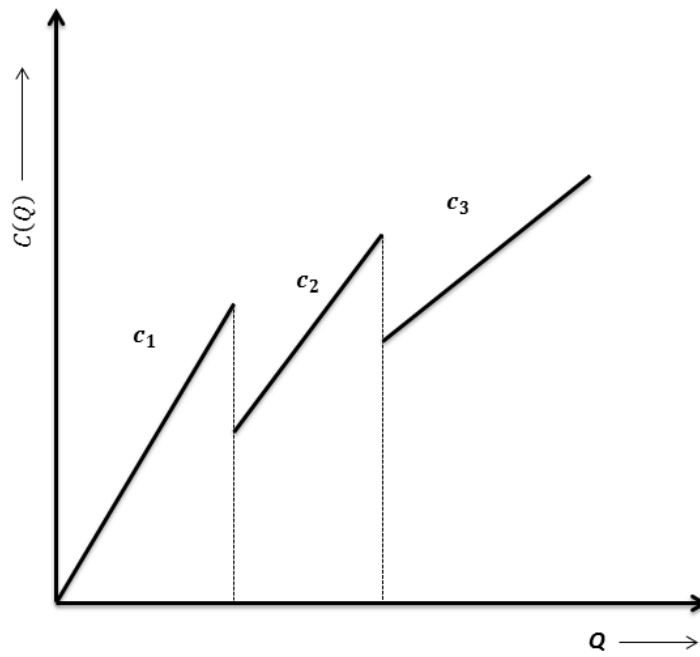
$$T_B = \frac{B^*}{\lambda} \quad (3.15)$$

### 3.3.4 Miktar İskontosu Modeli

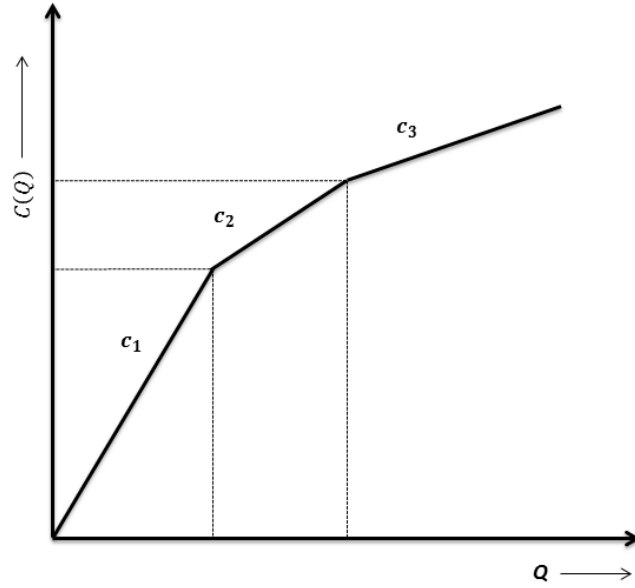
İşletmeler bazen talep daha düzenli hale getirmek bazen de ellerindeki ürünleri çıkarmak birim ürün başına harcanana sabit giderleri azalmak amacı ile satışlarını belirli seviyelere çıkarmak veya o seviyelerde tutmak amacı ile farklı fiyat uygulamasına giderler. Böyle bir durumda stok kaleminin birim fiyatı sipariş edilen miktara göre değişen değerler alır [17]. Genellikle miktarın artmasına veya belirli sınırları geçmesine

bağlı olarak birim fiyatının düşürülmesi şeklinde olur. Toplam maliyeti sipariş büyüklüğü  $Q$  ye bağlı olarak etkilediği için sipariş miktarının belirlenmesinde etkili olur.

Birçok miktar iskonto çizelgesi bulunmakla beraber en temelde kullanılan iki çizelge vardır bunlar tüm birimli ve artışı iskonto modelleri diye isimlendirilebilir. Tüm birimli iskonto modellerinde Şekil 3.7'deki gibi ürün miktarı iskonto için gerekli miktar sağlandığı takdirde iskonto bütün miktara uygulanır. Artışı iskonto modelinde ise Şekil 3.8'deki gibi iskonto için gerekli miktar sağlandıktan sonra bu miktarın üzerine eklenen miktara uygulanır.



Şekil 3.7 Tüm birimli iskonto modeli satın alma maliyeti fonksiyonu



Şekil 3.8 Artışlı iskonto modeli satın alma maliyeti fonksiyonu

Tüm birimli iskonto modeli durumunda ESM modeli ile optimal sipariş miktarı her maliyet grubu için belirlenir ve elde edilen ekonomik sipariş miktarlarından iskonto miktar aralığını sağlayan değer ele alınır. Ele alınan bu sipariş miktarına göre ve diğer iskonto aralıklarındaki bu miktara en yakın değerlere göre kendi iskonto oranları ile toplama maliyet hesaplaması yapılır. Sonuçta elde edilen toplam maliyetler karşılaştırılarak en düşük maliyetli sipariş miktarı tercih edilir.

Artışlı iskonto modelinde ise ürünlerin artışlı iskonto modeline göre önce sipariş miktarlarının maliyet fonksiyonu (3.16)'dan ve ürünlerin birim maliyet fonksiyonları süreklilik özelliğine sahip olarak (3.17)'den elde edilir.

$$C(Q) = \begin{cases} c_1 Q & \text{for } 0 \leq Q \leq Q_1 \\ c_1 Q + c_2(Q - Q_1) & \text{for } Q_1 \leq Q \leq Q_2 \\ c_1 Q + c_2(Q_2 - Q_1) + c_3(Q - Q_2) & \text{for } Q_2 \leq Q \end{cases} \quad (3.16)$$

$$\frac{C(Q)}{Q} = \begin{cases} \frac{c_1 Q}{Q} & \text{for } 0 \leq Q \leq Q_1 \\ \frac{c_1 Q_1 + c_2(Q - Q_1)}{Q} & \text{for } Q_1 \leq Q \leq Q_2 \\ \frac{c_1 Q_1 + c_2(Q_2 - Q_1) + c_3(Q - Q_2)}{Q} & \text{for } Q_2 \leq Q \end{cases} \quad (3.17)$$

Elde edilen birim maliyet fonksiyonu toplama maliyet fonksiyonunda yerine yazılarak (3.18) eşitliği elde edilir. Toplam maliyet fonksiyonu sürekli özelliğe sahip olduğu için

sipariş miktarının bulunduğu aralığa göre üç maliyet durumunu da ifade eder çünkü birim maliyet fonksiyonu sürekli özelliğe sahiptir.

$$G(Q) = \frac{\lambda C(Q)}{Q} + \frac{K\lambda}{Q} + \frac{hQ}{2} \quad (3.18)$$

Optimal sipariş miktarı toplam maliyet eğrilerinden bir tanesinin en düşük miktarında ortaya çıkacağı için bütün aralıklarda toplam maliyet fonksiyonunun türevi alınır ve optimal sipariş miktarları bulunur. En son olarak bu miktarlara göre toplam maliyet hesaplanarak toplama maliyetler karşılaştırılıp optimal miktara karar verilir.

### 3.3.5 Silver-Meal Algoritması

Silver-Meal algoritması Silver ve Meal tarafından [18] geliştirilmiş çok dönemli değişken talebe sahip durumlarda en düşük dönem maliyetine bağlı olarak parti büyüklüğü belirleme algoritmasıdır. İlk dönemde sipariş verilerek onu takip eden dönemlerdeki elde bulundurma ve sipariş maliyetleri göz önüne alınarak dönemlik ortalama maliyetler hesaplanır. Belirlenen başlangıç dönemi için bu dönemi takip eden her dönem için toplam ilgili maliyeti minimum yapacak ve bu dönemlerin gereksinimlerini karşılayacak tam sayı olan bir parti büyüklüğü seçilir. Her dönem başında ortalama dönem maliyeti hesaplanır ve maliyetin ilk arttığı dönem bir sonraki başlangıç dönemi olur.

Bu modelde dönemlerin talebi değişken olmakla beraber kesin olarak bilinmemektedir ve başlangıç stokunun olmadığı varsayılır. Ürünlerin dönemlerde ve miktarlardaki satın alma maliyetlerinin sabit ve siparişlerin temin süresinin olmadığı varsayılmaktadır. Ayrıca talebin karşılanamama gibi bir durumu yoktur ve bir sonraki döneme aktarılan eldeki ürün için elde bulundurma maliyeti işletilir.

Bu modele ait notasyonlar şu şekildedir.

$t$  : Başlangıç periyodundan sonraki gelen ve başlangıç periyodundan sonraki sırayı belirten sıra numarasıdır.

$k$  : Başlangıç dönemini kapsadığı kendisini takip eden dönem sayısıdır.

Bu durumda başlangıç periyodundan sonraki  $t$  inci periyotta ki ortalama dönem maliyeti formül 3.18 deki gibi ifade edilir.

$$\frac{G(k)}{k} = \frac{(K+h \sum_{t=1}^k (t-1)\lambda_t)}{k} \quad (3.19)$$

Ortalama dönem maliyeti artmaya başladığı ilk 3.19 eşitsizliği oluştuğu noktada durulur ve başlangıç dönemini kapsadığı dönem sayısı belirlenir ve bu döneme ait parti büyüklüyü 3.20 eşitliğinden kapsanan dönemlerin talepleri toplanarak bulunur. Sonraki dönemler için tekrar başlangıç dönemi başlatılır.

$$\frac{G(k+1)}{k+1} > \frac{G(k)}{k} \quad (3.20)$$

$$Q = \sum_{t=1}^k \lambda_t \quad (3.21)$$

### 3.3.6 Wagner-Whitin Algoritması

Wagner ve Whitin [19] da talebin zaman içinde değişken fakat kesin olduğu durumlarda temelde toplam maliyeti minimize edecek şekilde parti büyüklüğü belirlemeye dayana bir algoritma geliştirmiştir. Satın alam maliyeti, sipariş maliyetinin ve elde bulundurma maliyetini döneme göre değişmesi söz konusudur. Bu büyük miktarda sonucun içinden tek tek kontrol etmeden en iyi sonucu veren parti büyüklüğünü bulmak amacıyla geliştirilmiştir[19].

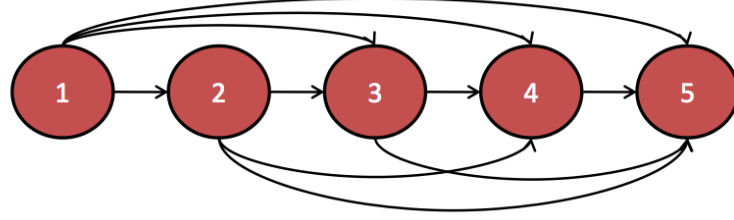
Bu algoritmaya göre en iyi sipariş miktarlarının herhangi bir gelecek talepler kümesinin toplamına tam olarak eşit olduğu noktada olduğunu savunur ve bu değere tam ihtiyaç kuralı adı verilir. Bu noktada her hangi bir periyottaki sipariş miktarı için o dönemin talebi ve takip eden dönemlerin toplamı şeklinde kendinden sonraki dönem sayısı kadar farklı sipariş miktarı (3.22)'deki önerilir.

$$Q_t = \{\lambda_t, \lambda_t + \lambda_{t+1}, \dots, \lambda_t + \dots + \lambda_k\} \quad (3.22)$$

Burada tam ihtiyaç kuralı siparişin verileceği döneme göre ortaya konulmaktadır. Hangi dönemde tam ihtiyaç kuralına göre sipariş verilip verilmeyeceğini temsil etmek üzere de sıfır değerini aldığı takdirde siparişin verilmeyeceğinin bir aldığı takdirde siparişin verileceğini temsil eden  $i_t$  karar değişkeni (3.23)'deki gibi yazılabilir.

$$i_t = \{i_1, \dots, i_k\} \quad (3.23)$$

Bu aşamadan sonra problem düğümler arası geçiş maliyetleri belirli olan ve düğüm sayısı periyot sayısının bir fazlası tek yönlü şebeke problemine çevrilebilir.



Şekil 3.9 Tek yönlü şebeke problemi şeması

Şebeke ki her yol o düğüm numarasındaki tam ihtiyaç kurallarına karşılık gelmektedir. Her hangi bir  $i$  düğüm noktasından diğer  $j$  düğüm noktasına gitmenin maliyeti sipariş ve elde bulundurma maliyetleri ile (3.24)'deki gibi ifade edilir.

$$G(i, j) = K_i + h_i(\lambda_{i+1} + \dots + \lambda_i) + \dots + h_{j-1}(\lambda_j) \quad (3.24)$$

Şebeke problemi elde edilen bu maliyetler ile en kısa yol problemine göre çözülür. Her düğüm noktasında o düğüm noktasına geriden gelen minimum maliyet yolu  $f_l$  formül (3.25)'den bulunur ve bu minimum maliyet yolu bir sonraki düğüm noktasının minimum maliyet yolunu bulmada kullanılır. Son olarak birinci düğüm noktasına gelen minimum maliyet yolu bulunur. Başlangıç maliyet yolu yani son düğüme gelen minimum maliyet yolu sıfır olarak alınır (3.26).

$$f_l = \min_{j>l}(G(l, j) + f_j) \quad (3.25)$$

$$f_k = 0 \quad (3.26)$$

### 3.4 Stokastik Envanter Yönetim Politikaları

Envanter yönetimi ile alakalı birçok parametre, her ne kadar daha önceki modellerde deterministik olarak ele alınsa da aslında bu parametreler belirsizlik özelliğine sahiptir. Müşteri deki belirsizlik, pazardaki belirsizlik, çalışan kaynaklarının bulunabilirliğindeki ve maliyetlerindeki belirsizlik, temin süresindeki belirsizlik, hava koşullarındaki ve bunların lojistik operasyonlarına etkisindeki belirsizlik, finansal değişkenlerdeki



belirsizlik ve ürünlerin talebindeki belirsizlikler envanter yönetimini etkileyen bu parametrelerdendir [4].

Envanter yönetimin en temel parametreleri talep ve temin süresinin belirsiz olduğu bu durumlarda deterministik modeller yerine stokastik modeller tercih edilerek minimum beklenen maliyeti sağlayacak sipariş miktarları ve yeniden sipariş noktaları belirlenir. Tedarik süreci boyunca gerekli stok düzeyinin kesin olarak belirlenmesi mümkün olmadığı için tedarik sürecinde stoksuz kalma riskini azaltmak amacıyla güven stoku bulundurulur [20].

Belirsizlik durumunda envanter yönetim politikaları, envanterin kontrolü açısından iki şekilde ele alınır. Envanter seviyesinin zaman içerisindeki değişiminin anlık olarak takip edildiği envanter yönetimine, sürekli kontrol ve envanter seviyesinin belirli zamana aralıkları ile takip edildiği envanter yönetimine de periyodik kontrol denir. Her iki kontrol modelinde de amaç envanterin fazla gelme ve az gelme maliyetlerini dengelemektir. Bu iki kontrol modeli çok dönemlik planlamada uygulandığı gibi tek dönemlik planlamalarda da tercih edilir.

Tek dönemlik modeller genellikle moda olan ürünlerin ilk sipariş miktarlarının, hızlı bozulabilen ürünlerin sipariş politikalarını belirlenmesinde ve gazete gibi kullanım süresi kısa olana ürünlerin günlük sipariş miktarlarının belirlenmesinde daha kullanışlıdır. Bu nedenle tek dönemlik envanter kontrol modellerinin en temel bilinen modeli gazeteci çocuk modelidir [4].

Periyodik kontrol ve sürekli kontrol envanter modelleri belirsizliği içine alan ekonomik sipariş miktarı modelinin genişletilmiş halleridir. Bu modeller belirsiz bir çok durum altında daha iyi sonuçlar vermektedirler. Ayrıca bu modeller talebin karşılanmadığı durumda oluşan maliyetin belirsizliğinde bu maliyet yerine farklı tipteki servis seviyelerini kullanılmasına müsaade eder.

#### **3.4.1 Gazeteci Çocuk Modeli**

Gazeteci çocuk modeli olarak bilinen model bir gazete bayisinin sahip olduğu envanterin özelliklerine sahip tek dönemlik sipariş edilen veya tek dönemlik planlaması

yapılacak ürünlere sahip sistemlerde uygulanır. Siparişin dönem sonunda diğer döneme belirli bir zarar ile aktarıldığı veya belirli bir zarar ile elden çıkarıldığı varsayılır. Model temel olarak başlangıç stokunun olmadığını varsayar. Fakat başlangıç stoku toplam beklenen maliyette herhangi bir optimizasyon etkisine sahip değildir. Yani başlangıçta elde bulundurulması gereken optimal miktar başlangıç stokundan bağımsız olduğu ve sadece sipariş verilecek miktarda bir etkiye sahip olduğu için başlangıç stokunun olduğu durumlar da bu modelle çözülür. Bu temel modelde temin süresi göz ardı edilmez ileri periyodik modellerde temin süresi de ele alınır.

Modelde iki temel maliyet vardır dönem sonunda eldeki envanter miktarının fazla gelmesinden dolayı katlanılan maliyet ve yine dönem sonunda envanterin talebi karşılayamamasından dolayı kaybedilen karın maliyeti vardır. Dönem başında sipariş verilen ürünlerin sipariş maliyeti, başlangıç modelinde dönem başında elde ürün bulunmadığı ve her şart altında sipariş verileceği ve bu maliyet de sabit olacağı için başlangıç modeline dahil edilmesine gerek yoktur. Fakat başlangıç envanterinin bulunduğu daha ileri modellerde göz önüne alınacaktır. Ayrıca sipariş verilen ürüne ait satın alma maliyeti de dönem sonun beklenen fazla gelme ve kısa kalma maliyetleri içinde ifade edilir. Bunlar ek olarak bir dönem içerisindeki  $D$  talebin  $f(x)$  yoğunluk fonksiyonuna ve  $F(x)$  kümülatif yoğunluk fonksiyonuna sahip negatif olmayan değişken olduğu varsayılır. Dönemlerin uzunlukları belirli ve optimizasyona ait tek parametre sipariş miktarı  $Q$  ve dönem içerisinde oluşacak olan  $D$  talep miktarıdır. Modelin amacı dönem sonundaki beklenen maliyeti minimize edecek  $Q$  miktarını belirlemektir. Bu modele ait notasyonlarından bazıları şunlardır;

$Q$  : Elde envanter bulunmayan durumlar için sipariş miktarı ve aynı zamanda dönem başlangıç envanter miktarı

$c_o$  : Dönem sonunda fazla kalan bir birim ürünün maliyeti bu maliyet ürünün değer kaybına uğrayıp elden çıkarıldığı durumlar için değer kaybı miktarı değer kaybına uğramayıp bir sonraki döneme aktarıldığı durumlarda depolama maliyeti olarak alınabilir.

$c_u$  : Dönem içerisinde talebi karşılanamayan bir birim ürünün maliyeti talebin kayıp edildiği durumlarda bu maliyet elde edilebilecek karı talebin sonraki döneme aktarıldığı durumlarda katlanılan ceza maliyetini temsil eder.

Toplama maliyet fonksiyonu  $Q$  sipariş miktarı ve  $D$  dönem boyunca oluşacak talebin fonksiyonu olarak dönem sonunda ortaya ortalama toplam fazla gelme ve kısa kalma maliyetleri (3.27)'den elde edilir. Elde edilen bu maliyet fonksiyonunun talebe göre beklenen değeri talebin dağılımı formülasyona dahil edilerek (3.28)'deki gibi ifade edilir.

$$G(Q, D) = c_o \max(0, Q - D) + c_u (0, D - Q) \quad (3.27)$$

$$G(Q) = c_o \int_0^{\infty} \max(0, Q - x) f(x) dx + c_u \int_0^{\infty} \max(0, x - Q) f(x) dx \quad (3.28)$$

Talep miktarının ve sipariş miktarının fonksiyonu olan (3.27)'de birinci maliyet dönem sonunda oluşan toplama talep verilen sipariş miktarından küçük olduğu durumdaki ortaya çıkacak fazla gelme maliyetinin ifade etmektedir aksi olduğu durumda yani talebin sipariş miktarından fazla olduğu durumda fazla gelme maliyeti açığa çıkmayacaktır. İkinci kısımdaki maliyette talebin sipariş miktarından fazla olduğu durumda ortaya çıkacak olan kısa kalma maliyetinin ifade etmektedir burada da aksi durumda maliyet açığa çıkmayacaktır. Toplama maliyetin beklenen değerinin ifade eden (3.28)'deki integraller düzenlenip sonucu her durumda sıfır olacak olana integral parçaları atılarak (3.29) beklenen maliyet fonksiyonu elde edilir.

$$G(Q) = c_o \int_0^Q (Q - x) f(x) dx + c_u \int_Q^{\infty} (x - Q) f(x) dx \quad (3.29)$$

Son olarak elde edilen (3.29)'deki beklenen toplama maliyet fonksiyonu sürekli ve iç bükey bir yapıya sahip olduğu için maliyetin minimum olduğu nokta  $Q$  ya göre birinci türevinin sıfıra eşit olduğu yani eğimin sıfır olduğu maliyetin dip noktaya ulaştığı  $Q$  noktasındadır. Ayrıca toplama maliyet fonksiyonunun  $Q$  ya göre ikinci türevi alındığında bu değer sıfırdan büyük olduğu için iç bükey bir yapıya sahip olduğunu söyleyebiliriz. Bu nedenle toplam maliyet fonksiyonun birinci türevi (3.30)'da belirtilen Leibnitz kuralı uygulanarak alınır. Leibnitz kuralı uygulanarak maliyetin birinci kısmını

türevi (3.31)'daki gibi maliyetin ikinci kısmının türevi de daha detaylı bir analiz yapılarak (3.32) bulunur [21].

$$\frac{d}{dy} \int_{a_1(y)}^{a_2(y)} h(x, y) dx = \int_{a_1(y)}^{a_2(y)} \left[ \frac{\partial h(x, y)}{\partial y} \right] dx + h(a_2(y), y) a_2'(y) - h(a_1(y), y) a_1'(y) \quad (3.30)$$

$$c_o \frac{d}{dQ} \int_0^Q (Q - x) f(x) dx = c_o \int_0^Q 1 f(x) dx \quad (3.31)$$

$$c_u \frac{d}{dQ} \int_Q^\infty (x - Q) f(x) dx = c_u \int_Q^\infty (-1) f(x) dx \quad (3.32)$$

Maliyet fonksiyonunun sipariş miktarı  $Q$  ya göre türevi son hali ile (3.33)'deki gibi olur ve bundan sonraki aşama bu eşitliğin sıfır değerinin veren  $Q$  sipariş miktarını belirlemektir. Elde edilen (3.33)'de olasılık yoğunluk fonksiyonları kümülatif olarak yazılarak (3.34) elde edilir ve bu eşitlik sıfıra eşitlenerek  $Q$  yalnız bırakıldığında son olarak minimum beklenen maliyeti sağlayan sipariş miktarını veren (3.35) bulunmuş olur.

$$\frac{dG(Q)}{dQ} = c_o \int_0^Q 1 f(x) dx + c_u \int_Q^\infty (-1) f(x) dx \quad (3.33)$$

$$\frac{dG(Q)}{dQ} = c_o F(Q) - c_u (1 - F(Q)) \quad (3.34)$$

$$F(Q^*) = \frac{c_u}{(c_o + c_u)} \quad (3.35)$$

Optimal sipariş miktarı  $Q^*$  kümülatif olasılık dağılımı (3.35)'in ikinci tarafına eşit olan miktardır.

### 3.4.2 Başlangıç Envanterli ve Sipariş Maliyetli Tek Periyot Model

Başlangıç envanterli ve sipariş maliyetli tek periyot modelinde daha önceki gazeteci çocuk modelinde göz ardı edilen veya olmadığı varsayılan, başlangıç envanteri ve sipariş maliyetlerini de göz önüne alınarak planlama yapılır. Model başlangıç envanteri ve sipariş maliyeti dışında tamamıyla gazeteci çocuk modelindeki varsayımları yapar. Bir önceki modelde başlangıç ve sipariş maliyetleri tek olarak ele alındığı durumlarda bu parametreler modelde optimizasyona etki etmemektedirler. Yani sipariş maliyetinin olduğu varsayıldığında başlangıç envanterinin olmadığı durum için her periyotta sipariş mecburi olacağından bu maliyette herhangi bir optimizasyon sağlanamaz. Yine

başlangıç envanteri verilecek olan sipariş dışında elde bulundurulması gereken optimal miktar bir etkisi olmadığı için ayrı bir model olarak çözümlmesine gerek yoktur. Fakat başlangıç envanteri ve sipariş maliyeti birlikte ele alındığında periyot başında yeni sipariş verilmesi veya verilmemesi gibi bir durum ortaya çıkar. Yani dönem başı elde bulunana envanterin dönem sonunda oluşturacağı maliyet ile yeniden sipariş verilerek dönem başında elde bulundurulan optimal miktarın dönem sonunda oluşturacağı beklenen maliyet ve yeniden siparişin maliyetinin toplamı karıştırılarak bir çözüm elde edilir. Bu modelde eklenen iki tanımın notasyonları şu şekildedir.

$K$  : Yeniden sipariş verme maliyeti

$u$  : Periyot başında elde bulunana envanter miktarı

Toplama beklenen maliyet denklemini başlangıçta elde bulunan miktara ek yeni sipariş vererek elde bulunan miktarı  $Q$  optimal yaparak katlanacağı maliyeti veya yeniden sipariş vermeyerek başlangıçta elde bulunana envanteri periyot için elde bulundurulan miktar yaparak katlanacağı maliyeti ifade edecek şekilde (3.36) oluşturulur.

$$G(Q) = \begin{cases} K + c_o \int_0^Q (Q - x)f(x)dx + c_u \int_Q^\infty (x - Q)f(x)dx & Q > u \text{ ise} \\ c_o \int_0^Q (u - x)f(x)dx + c_u \int_Q^\infty (x - u)f(x)dx & Q = u \text{ ise} \end{cases} \quad (3.36)$$

Yeniden sipariş vermenin gerçekleştiği durum için maliyetin yeniden siparişin gerçekleşmediği durum ile karşılaştırması (3.37)'den yapılır.

$$c_o \int_0^Q (u - x)f(x)dx + c_u \int_Q^\infty (x - u)f(x)dx \leq K + c_o \int_0^Q (Q - x)f(x)dx + c_u \int_Q^\infty (x - Q)f(x)dx \quad (3.37)$$

Eşitsizlikteki karşılaştırma yapılarak yeniden sipariş verme veya vermeme kararı verilir. Eşitsizliğin sağlandığı durumda yeniden sipariş vermeme kararı uygulanacak eşitsizliğin sağlanamadığı durumda yeniden sipariş gerçekleştirilecektir. Eşitsizliğin ikinci tarafındaki optimal elde bulundurma miktarı daha önceki modeldeki (3.35)'den belirlenerek ikinci kısmın toplam maliyeti hesaplanır. Bu noktadan sonra bakılması gereken başlangıçta elde bulunan miktardır ve bu miktara göre eşitsizliğin birinci tarafı değer alacak ve karar oluşturulacaktır. Eşitsizlik (3.38)'deki gibi eşitlik haline getirilerek

eşitsizliği sağlayan başlangıçta elde bulundurulacak miktarın sınır değeri  $U$  belirlenir ve bu değere göre elde bulundurulacak optimal miktar  $Q^*$  (3.39)'deki gibi ifade edilir.

$$c_o \int_0^Q (U - x)f(x)dx + c_u \int_Q^\infty (x - U)f(x)dx \leq K + c_o \int_0^Q (Q - x)f(x)dx + c_u \int_Q^\infty (x - Q)f(x)dx \quad (3.38)$$

$$Q^* = \begin{cases} u & U < u \\ Q & u < U \end{cases} \quad \begin{matrix} 0 \text{ sipariş} \\ Q - u \text{ kadar sipariş} \end{matrix} \quad (3.39)$$

### 3.5 Parti Büyüklüğü-Yeniden Sipariş Noktası Modeli

Parti büyüklüğü yeniden sipariş noktası modeli temin süresi faktörüne sahip ve bu faktör nedeni ile ürünün elde bulundurulmama, elde bulundurma, sipariş ve maliyetlerinin talebin stokastik yapısı altında inceler. Daha önceki modellerde ürünün temin süresi göz ardı edilmekteydi ve ayrıca planlamalar belirlenen periyotlar için gerçekleştirilip ürünün elde bulundurma maliyeti dönem sonunda elde kalan miktardan hesaplanmıştı. Ayrıca daha önceki modeller periyodik kontrole dayalı iken bu modelde envanterin kontrolü sürekli yapılarak envanter seviyesi belirli bir seviyeye ulaştığında sipariş verileceği göz önüne alınarak sipariş miktarı hesaplanır.

Basit ESM modelinde yani talebin deterministik olarak göz önüne alındığı ve temin süresinin olduğu modelde modelin bağımsız değişkeni sipariş miktarıydı ve yeniden sipariş noktası, zamana göre talep sabit olduğu için temin süresindeki talep ile belirleniyordu. Talebin stokastik olduğu durumda ise yeniden sipariş noktası temin süresindeki stokastik talebe göre yeniden sipariş noktasının beklenen kısa kalma ve beklenen uzun gelme maliyetlerine göre şekillenecektir. Bu nedenle talebin stokastik olduğu durumda sipariş miktarı ve yeniden sipariş noktası optimal miktarları hesaplanması gereken değişkenler arasında yer alacaktır. Bu modelde eldeki envanterin sürekli kontrol edildiği ve  $D$  talebinin  $f(x)$  olasılık yoğunluk fonksiyonu ile stokastik olduğu kabul edilmektedir. Ayrıca siparişlerin temin süresi bu modelde göz önüne alınmaktadır. Bu modelde kullanılan bazı notasyonlar şunlardır.

$K$  : Sipariş maliyeti her yeni siparişte karşılaşılan miktardan bağımsız bir maliyettir.

$h$  : Bir birim ürünün birim zaman elde bulundurulmasının maliyeti

$p$  : Bir birim talebin karşılanamamasının maliyeti ayrıca ceza maliyeti

$\tau$  : Siparişlerin temin süresi

$\lambda$  : Birim zamandaki talebin ortalama miktarı yani yıllık talebin ortalama miktarı

Daha önceki modellerde periyot esnasındaki talebin beklenene değeri önemli iken burada temin esnasındaki talebin beklenen değeri önem kazanmakta ve beklenen maliyete etkisi bulunmaktadır. Bu nedenle temin süresindeki talebin  $f(x)$  olasılık yoğunluk fonksiyonu ile sürekli rassal dağıldı varsayılır.

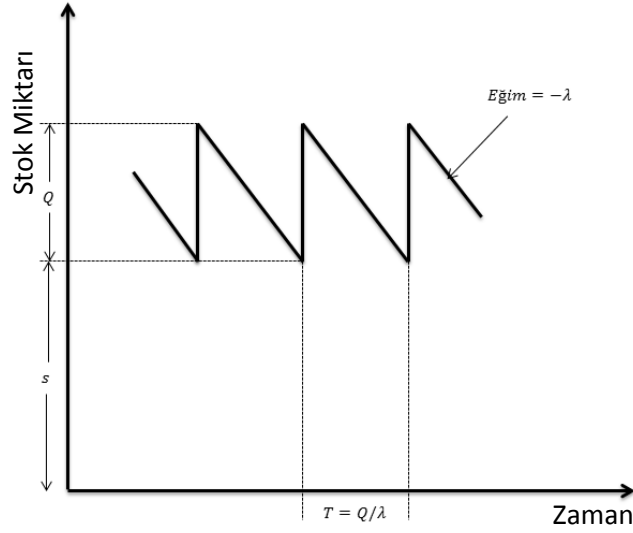
Toplama maliyet fonksiyonu (3.40),  $Q$  sipariş miktarı ve  $R$  yeniden sipariş noktasının fonksiyonu olarak sipariş maliyetini, beklenen elde bulundurma maliyetini ve temin süresinde beklenen kayıp talep maliyetinin toplamı şeklindedir. Eldeki envanter miktarı yeniden sipariş noktasına ulaştığında optimal sipariş miktarı kadar sipariş verilecek ve temin süresi kadar süre sonunda bu sipariş ulaşacaktır. Bu durumda eldeki envanter Şekil 3.10'daki gibi bir yapıya sahip olup birim zamandaki elde bulunan envanter (3.41) ile ifade edilir. Ayrıca her sipariş verilmesinde karşılaşılabilecek olana sipariş maliyeti de (3.42) ile ifade edilir. Son olarak temin süresi içerisinde beklenen birim zamandaki talep kayıp miktarı da (3.43)'de  $n(R)$  fonksiyonu ile ifade edilir [4].

$$G(Q, R) = h \left( \frac{Q}{2} + R - \lambda\tau \right) + \frac{K\lambda}{Q} + \frac{p\lambda n(R)}{Q} \quad (3.40)$$

$$\text{Elde Envanter Miktarı} = R - \lambda\tau + \frac{Q}{2} \quad (3.41)$$

$$\text{Sipariş Sayısı} = \frac{\lambda}{Q} \quad (3.42)$$

$$\frac{n(R)}{T} = \frac{\lambda}{Q} n(R) = \frac{\lambda}{Q} \int_R^{\infty} (x - R) f(x) dx \quad (3.43)$$



Şekil 3.10 (Q,R) envanter modelinde beklenen envanter seviyesi

Sipariş miktarı  $Q$  ve yeniden sipariş noktası  $R$  nin fonksiyonu olan toplam maliyeti minimum yapan değerler her iki değere göre toplam maliyet fonksiyonunun türevi alınıp sıfıra eşitlenerek optimal sipariş miktarı  $Q$  ya ve sipariş noktası  $R$  yi veren (3.44) ve (3.45) elde edilir. Her iki denklemde birbirine bağlı olduğu için optimal sipariş miktarı başlangıç değeri olarak klasik ESM modeli ile bulunur. Buluna bu değer başlangıç değeri olarak alınıp iki formül iteratif olarak çözülür tekrar eden  $Q$  ve  $R$  elde edildiğinde sonuca ulaşılmış olur ve iterasyon durdurulur.

$$Q = \sqrt{\frac{2\lambda[K+pn(R)]}{h}} \quad (3.44)$$

$$F(R) = 1 - \frac{Qh}{p\lambda} \quad (3.45)$$

Temin süresi içerisinde beklenen talep kaybını ifade eden  $n(R)$  belirlenen yeniden sipariş noktasına göre temin süresi içerisindeki talebin bu değerden büyük olduğunda oluşacak olan kaybın beklenen değerini ifade eder ve (3.46)'da ifade edilen standart kayıp  $L(z)$  fonksiyonu ile (3.47)'deki gibi hesaplanır [4].

$$L(z) = \int_z^{\infty} (t - z)\phi(t)dt \quad (3.46)$$

$$n(R) = \sigma L\left(\frac{R-\mu}{\sigma}\right) = \sigma L(z) \quad (3.47)$$



Ayrıca Nahmias [4] de standart kayıp fonksiyonunun standart olasılık yoğunluk fonksiyonu  $\phi(z)$  ile ve standart kümülatif olasılık formülü  $\Phi(z)$  ile hesaplanmasını (3.48)'deki gibi göstermiştir.

$$L(z) = \phi(z) - z(1 - \Phi(z)) \quad (3.48)$$

### 3.6 Servis Seviyesi

Çoğu modelde karşılanamayan talebin oluşturacağı maliyet talebin kaybedilmesinden dolayı oluşan kar kaybı veya talebin geç teslim edilmesinden dolayı katlanılan ceza maliyeti şeklinde ele alınır. Fakat karşılanamayan bu maliyetlerin ötesinde gelecekteki talebe müşterinin sadakatindeki değişmeden dolayı oluşacak etki ile hesaplanamayacak maliyetleri içermektedir. Bu nedenden dolayı karşılanamayan talep maliyeti yerine müşteriye sağlanacak servis seviyesini kullanılır. Servis seviyesi karşılanan talebin olasılığı veya karşılanamaya beklenen talebin dönem sipariş miktarına oranı şeklinde iki tip olarak ele alınır. Servis seviyesi her iki envanter kontrol sisteminde periyodik ve sürekli kontrolde kullanılır.

#### 3.6.1 Birinci Tip Servis Seviyesi

Birinci tip servis seviyesi temin süresi içerisinde talebin yeniden sipariş noktası miktarından fazla olmama olasılığıdır ve  $\alpha$  ile ifade edilir. Bu nedenle aslında stoksuzluk durumunun oluşmadığı çevrimlerin oranını ifade eder. Birinci tip servis seviyesine göre yeniden sipariş noktası talebin kümülatif olasılık fonksiyonundan (3.49)'deki gibi hesaplanır ve sipariş miktarı da ESM den hesaplanır.

$$F(R) = \alpha \quad (3.49)$$

#### 3.6.2 İkinci Tip Servis Seviyesi

İkinci tip servis seviyesi ise stoktan karşılanan talebin oranını ifade eder ve ikinci tip servis seviyesi  $\beta$  ile ifade edilir. Her bir çevrimdeki beklenen kayıp talep miktarı  $n(R)$  ile ifade edildiğinde beklenen talep kaybının oranı da bu ifadenin sipariş miktarına oranı ile bulunur. Beklenen talep kaybının oranın diğer tarafı da karşılanan beklene talep miktarını verir ve ikinci tip servis seviyesi (3.50) ile ifade edilir. İkinci tip servis

seviyesinde sipariş miktarı ESM ile bulunduktan sonra (3.50)'de yerine yazılarak yeniden sipariş noktası hesaplanır.

$$\frac{n(R)}{Q} = 1 - \beta \quad (3.50)$$

### 3.6.3 Parti Büyüklüğü-Yeniden Sipariş Miktarı Modelinde İkinci Tip Servis Seviyesi

Servis seviyelerinin en önemli kullanım nedeni karşılanamayan talebin maliyetinin tam olarak belirlenemediği durumlardır. Parti büyüklüğü ve yeniden sipariş noktası modelinde temin süresi içerisindeki talebin karşılanamaması durumunda karşılaşılabilecek olan maliyet yerine ikinci tip servis seviyesi kullanılarak daha kesin optimal sipariş miktarları ve yeniden sipariş noktaları belirlenebilir. Parti büyüklüğü sipariş noktası modelindeki sipariş noktasını veren eşitlik yerine ikinci tip servis seviyesi eşitliği (3.50) kullanılarak yeniden sipariş noktası belirlenir. Karşılanamayan talep maliyeti de (3.45)'den bulunarak sipariş miktarı denkleminde yerine yazılarak (3.51) elde edilir.

$$Q = \sqrt{\frac{2\lambda \left[ K + \frac{Qh}{(1-F(R))\lambda} n(R) \right]}{h}} \quad (3.51)$$

### 3.6.4 Temin Süresi Talebinin Belirsizliği

Temin süresi uzunluğu deterministik olduğu ve talebin stokastik olduğu durum için temin süresi talebinin ortalama ve standart sapması daha önceki modellerde olduğu gibi birim zaman yani yıllık talebin özelliklerinden bulunuyordu. Gerçek hayatta temin süresinin deterministik olduğu durum sayısı oldukça azdır. Hava koşulları, tedarikçinin durumu, taşıma koşulları, sipariş miktarının büyüklüğü gibi temin süresini etkileyebilecek bir çok faktör bulunmaktadır. Bu nedenle temin süresinin belirlenmesindeki belirsizlik temin süresinin stokastik olarak alınıp belirli bir müşteri servis seviyesine göre yönetilmesi firmalar için daha tercih edilebilir olmaktadır. Ortalaması  $\mu_\tau$  ile ve varyansı  $\sigma_\tau^2$  ile verilen bir temin süresindeki oluşacak ortalama  $\lambda$  ile ve varyansı da  $\nu^2$  ile verilen bir talebin temin süresi içerisindeki ortalama talebi (3.52) ile ve varyansı (3.53) ile hesaplanmaktadır.

$$\mu = \lambda \mu_\tau \quad (3.52)$$

$$\sigma^2 = \mu_\tau v^2 + \lambda^2 \sigma_\tau^2 \quad (3.53)$$

Temin süresinin farklı etmenlerden etkilenme durumu ve farklı maliyetlere katlanarak ortalama uzunluğunun veya değişkenliğinin değiştirildiği koşullar temin süresi ile ilgili ileri çalışmalara girmektedir. Bu konularla ilgili bir çok farklı model önerilmiş ve çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

### 3.7 Literatürdeki Diğer Çalışmalar

Envanter yönetimi üretim ve hizmet sektöründeki önemi ve sahip olduğu bir çok parametre nedeniyle başlı başına bir yönetim alanı halini almıştır. Bu nedenle envanter yönetimi ile alakalı ulusal ve uluslar arası bir çok çalışma gerçekleştirilmiş ve modeller farklı problemlerin çözümü için farklı modeller önerilmiştir.

Bu çalışmalardan mevcut anlatılan literatürün bir kısmını da içeren ulusal olarak yayınlanmış olanlarından bazıları şunlardır.

Özçakar ve Akyurt [22] de stokastik envanter yönetim politikalarında sürekli kontrole ve periyodik kontrole dayalı stok politikalarının Markov karar süreci özelliği taşıdığını ispatlamış ve bu politikaları ortalama dönem maliyetleri açısından karşılaştırmıştır. Uygulama aşamasında Türkiye’de poliüretan alanında faaliyet gösteren bir firmada veri toplanarak talebin olasılık yapısı incelenip sürekli kontrol ve periyodik kontrol politikalarına uygun bir şekilde durum uzayları oluşturulup geçiş olasılıkları hesaplanarak Markov zinciri oluşturulmuştur. Her politika ile stok kaleminin maliyet fonksiyonu ile Markov karar problemi olarak gösterilmiş ve birim zamanda beklenen ortalama maliyetler hesaplanarak karşılaştırılmıştır.

Taşkın Gümüş [11] de literatürdeki çok aşamalı envanter yönetimine yönelik çalışmaların karşılaştırmalı analizi yapılmış ve envanter yönetiminde talep ve temin süresinin belirsizliğinin giderecek maliyet hesaplamasına ve performans analizini destekleyen yeni modellere ihtiyaç olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada belirsizlik ortamında çok aşamalı envanter yönetimi için bütünlük bir metodoloji ve bu metodoloji kapsamında deterministik, stokastik ve sinirsel bulanık modeller sunulmuştur. Modellerde gereksinim duyulan değişkenler sinirsel bulanık hesaplamalar

ve uzman tespitleri ile belirlenmiştir. Modelin literatüre katkısı talep ve temin sürelerine daha gerçekçi bir açıdan yaklaşmasıdır.

Temel envanter modelleri noktasında Selçuk [23] de temel envanter modelleri genel olarak ele alınmış ve miktar indirimli modeller üzerine durulmuştur. Uygulama aşamasında temel ESM modeline göre hesaplanan parti büyüklükleri depo kastının ve miktar indirimlerinin olduğu duruma göre yeniden çözümlenerek hesaplanmıştır. Kılıç [24] de envanter kontrol modelleri üzerine durulmuş ve envanter sınıflandırmasında kullanılan ABC analizi belirlenen envanter gruplarının belirli ve belirsiz talep altındaki stok kontrol modelleri anlatılmıştır. Envanter grubunun en fazla önem arz eden A grubu için sürekli kontrole dayalı envanter modeli kullanılarak yeniden sipariş noktaları ve sipariş miktarları belirlenmiştir.

Yılmaz [25] de literatürdeki çalışmalar incelenerek stok yıpranmaları ve depo kapasiteleri sürekli kontrole dayalı stokastik envanter modelleri ile ele alınarak model geliştirilmiştir. Farklı servis seviyeleri ile maliyetteki ve talep karşılama oranlarındaki değişimler incelenmiştir ve stok yıpranmaları ve stok kapasite kısıtları göz önüne alınarak farklı servis seviyelerindeki maliyeti minimize edecek ek kapasite ihtiyaçları belirlenmeye çalışılmıştır. Çokoy [26] da ABC sınıflandırmasında önem derecesi yüksek olan A grubu ürünler için envanter yönetiminin en önemli parametrelerinden olan talep tahminini gerçekleştirmiş ve bu tahminlerden yola çıkarak deterministik ve stokastik modellere göre üretim parti büyüklükleri belirlenmiş ve maliyetler karşılaştırılmıştır.

Özkan [27] de sürekli kontrole ve anlık siparişe dayalı ve çok ürünlü ve çok eşolonlu bir sistem incelenerek sistemdeki onarılabilir ürünler için olasılıksal envanter kontrol mekanizması geliştirilmiştir. Sistem içerisindeki her stok bekletme noktalarının belirli bir ürün bekletme kısıtı olmakla amaç toplam maliyeti minimize edecek politikaların belirlenmesidir. Her stok noktasındaki stok seviyesi yaklaşık bir metot ile belirlenmiş ve diğer metotlar ile karşılaştırılmıştır. Tomsuk [28] de tedarik belirsizliği ve çok aşamalı envanter yönetimi ile alakalı literatür incelenmiş ve iki farklı problem analiz edilmiştir. İlk problem iki aşamalı ve tedarikin belirsiz olduğu durum incelenmiş ve analiz edilmiştir. Bu problemde bir üretici ve bu üreticiye ürün sağlayan ve sadece yeniden

sipariş maliyetleri farklı olan iki tedarikçi göz önüne alınmıştır. Tedarikler tam olarak belirli bir olasılıkla mevcut yada belirli bir olasılıkla mevcut değildir ve bu olasılıklar zamana bağlı olarak değişmektedir. Problem bütün tedarikçilerdeki envanter miktarı ve maliyetler bilindiği ve sistemin merkezi olarak entegre bir sistem olduğu var sayılır. Her hangi bir periyotta belirli bir planlama ufku için tedarikçinin belirsizliğini göz önüne alacak ve maliyetleri minimize edecek sipariş ve tedarikçilere atama kararları verilir. İkinci problemde stokastik talep ve tedarik yapısına sahip bir problem analiz edilmiştir. İlk probleme benzer olarak tedarik belirsiz fakat sistem tek aşamalı ve talep de belirsizdir.

Çınar ise [29] da stokastik talebe sahip ve kapasitesi kısıtlı ve belirsiz tedarike sahip bir sistemde erken kapasite bilgisinin sipariş kararlarının ve yönetim kararlarının verilmesinde nasıl kullanılabileceği göstermiştir. Sistemde tedarikçiler belirli bir süre için kapasite bilgilerini paylaştığı kabul edilmiştir ve bu koşullar altında üç farklı problem göz önüne alınmıştır. İlk problemde elde bulundurmama maliyetine göre sınıflandırılmış iki müşteri sınıfına hizmet veren envanter sisteminin veya üretim sisteminin problemi ele alınmıştır. İkinci problemde ortalama maliyet kriteri altında envanter sipariş politikaları değerlendirilmiş ve kapasite bilgisine dayalı sipariş miktarlarını belirlemek için sezgisel bir model geliştirilmiştir. Son olarak da kapasite yeterli gelmediğinde hizmet alımı gerçekleştiren bir firma ele alınmıştır. Bu son problemde firmanın kapasite dağılımına göre belirlenen kapasite bilgilerine bağlı sipariş politikaları belirlenmiştir.

Elde stok bulundurmama durumunda direk veya dolaylı olarak oluşacak maliyetin belirlenmesinin zorluğu bu durumun daha detaylı incelenmesini gerektirmiştir. Bir çok çalışmada bu maliyet yerine servis seviyesi kullanılması tercih edilir. Servis seviyesinin tercih edilmesi bu maliyet için daha basit bir önlem oluştururken elde bulundurma gibi maliyetlerin yükselmesine neden olmaktadır. Helvacıoğlu [30] da elde bulundurmama durumunda talebin eşdeğer başka bir ürün ile karşılanması veya talebin kaybedilmesi durumunda sipariş miktarlarının belirlememesine yönelik bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu model ile oluşacak talebe karşılık verilen yerine kullanma kuralları çerçevesinde ürünler arasında oluşacak yerine kullanmaları ve ürün ve sistemin servis seviyeleri

hesaplanmıştır. Hesaplama sonu elde edilen veriler simülasyon modeli ile elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır ve yaklaşım karı maksimize edecek şekilde sipariş miktarlarının belirlenmesinde kullanılmıştır.

Satır [31] de envanter ve servis havuzlamanın ve bilgi paylaşımının faydaları bir yedek parça ağı içerisindeki yedek parça tedarikçisi için analiz edilmiştir. Tedarik ağının iki tedarikçiden oluştuğu ve diğer tedarikçinin yönetim politikasının bilindiği varsayılmaktadır. Tedarikçilerin bilgi servis ve envanter paylaşımı altında tedarikçilerin kendi politikaları bütün bu bilgiler doğrultusunda belirlenmektedir. Fraklı havuzlama stratejileri ve bilgi paylaşım seviyeleri altında bilgi paylaşımının faydaları analiz edilmiştir. Temel bulgularda optimal politikalar merkezi ve merkezi olmayan sistem yapılarının taşıma ve stok atama seviyelerinde zıt davranışlar gösterdiğini ortaya çıkarmıştır. Merkezi olmayan sistemde birkaç miktardaki örnek için monoton olmayan optimal politika davranışı elde edilmiştir. Bu durum göz önüne alınan tedarikçinin diğer tedarikçinin stok hedefine bağlı olarak uç ödeme miktarlarını tercih ettiğini ortaya koymuştur. Gözlenen tedarikçide müşteri gelişlerinin oranının kara etkisi azalırken diğer dağıtıcıda bu oranın kara etkisi gelir paylaşım miktarına bağlı olduğu görülmüştür ve havuzlama stratejileri karşılaştırıldığında havuzlama yapılmayan bir durumun kötü tasarlanmış bir havuzlama yapılan durumdan daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak da diğer tedarikçinin bilgisinin odaklanılan tedarikçinin kendi bilgisinden daha değerli olduğu bulunmuştur.

Tedarik bulunabilirliğinin sabit olmayıp tedarik bulunabilirliği ön bilgisi ve dinamik deterministik talep bilgisi altında tek ürünlü periyodik envanter kontrol yönetim modelinin ele alındığı tez çalışmasında belirli bir planlama dönemi için beklenen maliyeti minimize etmek ve tedarik kısıtlarını sağlamak amaçlanmıştır. Yapılan bir çalışmada tedarik bulunabilirliğinin tamamen mevcut veya hiç mevcut değil şeklinde binomial bir yapıya sahip olduğunu varsaymıştır. Öncelikle problemin dinamik programlama formülasyonu verilmiş ve yönetim politikasının optimal durumu Silver-Meal Sezgisel metodundan elde edilen bir sezgisel algoritma ile sipariş stratejisi belirlenerek gösterilmiştir. Sonra sabit satın alma maliyeti bulunmayan model analiz edilerek bu modelin envanter tamamlama miktarları ve bu miktarların farklı özellikleri

gösterilmiştir. Belirli bir planlama ufku için envanter tamamlama miktarlarını hesaplayan bir algoritma bulunmuş ve son olarak tedarik ön bilgisini içeren numerik analizler verilmiş ve önemli yönetim bilgileri elde edilmiştir[32].

Ulusal çalışmalarda olduğu gibi uluslar arası makalelerde de envanter yönetim önemli çalışma alanı olarak farklı durumlar için farklı modeller geliştirilmiştir. Geliştirilen modellerde deterministik yapılar her ne kadar gerçek hayat koşullarında uzak olsalar da gerçek koşulların çözümünde kullanılacak modellere başlangıç noktası oluşturmuşlardır. Gerçek koşullara daha uygun sonuçlara ulaşmak amacı ile stokastik yapılar deterministik parametreler ile geliştirilen modeller kullanılarak yeni modeller oluşturulmaya çalışılmıştır. Stokastik envanter yönetim problemlerinin çözümünde talep ve tedarik belirsizliği ve bu belirsizliklerin probleme dahil edilmesi bu alandaki çalışmaları ne önemli uğraşlarındadır. Temin veya tedarik süresindeki belirsizliğin dinamik envanter yönetim politikası içerisinde ilk olarak Kaplan tarafından [33] de ele alınmıştır. Bu çalışmada birbirleri ile çakışmadıkları kabul edilen ve temin olasılıkları bekleyen sipariş sayısı ve büyüklüğünden bağımsız olan bekleyen siparişlerin temin süreleri ile alakalı bir olasılık modeli geliştirilmiştir. Çalışmada sıralı çok yönlü rassal temin süresi minimizasyon modelinin tek yönlü minimizasyon modelleri dizisine indirgenebileceği gösterilmiştir. Optimal sipariş politikaları da elde bulundurma, bulundurmama, sipariş ve satın alma maliyetleri altında hesaplanmıştır. Stokastik temin süresi altında bir ESM modeli Liberatore tarafından [34] de geliştirilmiştir. Liberatore [34] de talebin deterministik ve temin süresinin stokastik olduğunu dikkate alarak optimal sipariş miktarı ve zamanı kararlarını veren eşitlikleri türetmiştir ve örnek bir uygulama yapılmıştır. Ehrhardt [35] de literatürde mevcut olan Kaplan'ın [33] çalışmasını sınırlı zaman versiyonu geliştirir ve bütün temin sürelerinin sıfırda sabit olan dönüştürülmüş modelde geçerli olabilecek modele benzer bir dinamik programlama sunar ve bu şekilde sabit temin süresi modellerinden elde edilecek sonuçlar kolaylıkla genelleştirilebilmesini sağlar. Kısa dönemli taban stok politikalarının ve (s,S) politikalarının optimize edilmesi için gerekli koşullar sınırsız ve sınırlı planlama dönemleri için belirlenmiştir.

Stokastik temin süresi ve talebin dışında stokastik operasyonlara sahip üretim sistemlerini modellemede bir yaklaşımda Zipkin tarafından [36] da yapılmıştır. Standart envanter ve kuyruklama alt modellerinin klasik optimizasyon problemlerinde birleştirildiği bir yaklaşım sunulur. Bu çalışmada ele alınan üretim sistemi tek hizmet noktalı bir kuyruk sistemi ile veya kuyruklar ağı ile ifade edilir. Geliştirilen model basit uygulanabilir politikalar üzerinden sistemin yaklaşık maliyetini optimize eder. Song [37] de belirsiz temin süresinin stokastik envanter modelindeki etkisini basit sürekli kontrol envanter modeliyle ortaya koymuştur. Modelin performansı uzun planlama periyotlarının ortalama maliyetleri ile ölçülmüştür. Ayrıca optimal stok seviyesinin temin süresinin belirsizlik seviyesine karşı davranışını ve ortalama maliyetteki değişimi araştırmışlardır ve sonuç olarak belirsizliğin artması ile optimal stok seviyelerinin arttığı ve daha fazla ortalama maliyete neden olduğu gözlemlenmiştir ve sonuç olarak temin süresindeki belirsizliğin sadece ceza maliyetinin yüksek olduğu durumlarda daha fazla stoka neden olduğu tespit edilmiştir. Benzer bir çalışmada Ouyang ve Shan Wu tarafından [38] de yapılmış ve temin süresi ve talep karar değişkenleri olarak alınıp ceza veya elde bulundurmama maliyeti yerine stoksuzluğu sınırlayan servis seviyesi kullanılmıştır. Öncelikle temin süresinin normal dağıldığı varsayılarak temin süresindeki talebin dağılım fonksiyonu problemi çözmek için minmaks serbest dağılım prosedürü olarak kabul edilmiştir. Optimal sipariş miktarı ve temin süresini bulmak için bir algoritma geliştirilmiştir. Axsater [39] da klasik ESM modelinin stokastik envanter kontrolünde kullanılmasına örnek bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada stokastik talep yapısına sahip sürekli kontrol envanter yönetimi göz önüne alınmıştır ve Axsater daha önceki bir çalışmada problemin deterministik olarak çözülmesiyle oluşacak 0,125 hata sınır oranının daha düşük 0,118 hata sınırı olduğunu eklemiş ve hangi sınırın daha sıkı olduğu karşılaştırılmıştır.

Temin süresinin belirsizliği envanter yönetim politikalarında en önemli problemlerden biri olduğu gibi temin süresinin kısaltılması da ayrı bir çalışma alanı olarak önem arz etmektedir. Hariga ve Ben-Daya [40] da bazı stokastik envanter yönetim modellerinde optimal sipariş kararları ile temin sürelerindeki optimal kısaltmaları belirlemiştir. Temin süresine ait dağılım kısmi veya tam bilgi ile geliştirilen stokastik sürekli kontrol ve



periyodik kontrol modelleri analiz edilmiştir. Tedarik belirsizliği altındaki envanter sistemi analizi çalışmasına bir örnek de Güllü vd. [41] de yapmışlardır.. Çalışmada tedarik belirsizliği altında periyodik kontrol tek ürün envanter yönetimi analiz edilmiştir. Modelin amacı belirli bir planlama periyodu için tedarik kısıtları altında beklenen elde bulundurma ve yeniden sipariş maliyetlerinin optimize etmektir. Tedarik belirsizliği üç olasılık yığın fonksiyonu ile modellenmiş ve bunlar tedarikin mevcut olması kısmen mevcut olması ve mevcut olmaması şeklindedir. Stokastik dinamik programlama kullanılarak envanter politikaların optimal durumları ve beklenen maliyet elemanları gösterilmiştir. Dinamik ve deterministik talep ve Bernoulli tipi tedarik yapısı altında gazeteci çocuk modeli benzer bir model ile sipariş miktarları belirlenmiştir. Optimal envanter miktarlarını belirleyen bir algoritma oluşturulmuş ve tedarikin kısmen mevcut olma olasılığının olduğu durumlar için sayısal analizler yapılmıştır.

Envanterin sistem elemanları arasında koordinasyon sağlanarak entegre bir şekilde yönetildiği çalışmalara örnek olarak Axsater ve Zhang [42] de iki seviyede bir merkezi depo sistem ve ona bağlı farklı perakendecileri olan bir problemi ele almıştır. Perakendeciler Poisson dağılımına uyan sabit bir talebe sahip ve envanter seviyesi sürekli kontrol envanter yönetimi ile yönetilmektedir. Merkezi depo da normal parti sipariş envanter yönetimi uygulanırken tedarikçilerde yeni bir yönetim sistemi uygulanmaktadır ve bu yönetimde perakendecilerin toplam envanter miktarı ortak olarak belirlenmiş bir yeniden sipariş miktarının altına düştüğünde en az envantere sahip perakendeci bir parti sipariş verir. Çalışmada eşolon yani entegre olmayan model ile kurulum entegre modellerin maliyetlerini hesaplanması ve karşılaştırılması yapılmıştır.

Genel çalışmalarda tedarik temin süresinin sipariş miktarından bağımsız olduğu kabulüne zıt olarak Gerchak vd. [43] de büyük siparişlerin temin süresinin daha uzun olduğu kabulünü yapmıştır. Envanter kontrol modeli olarak elde bulundurmama veya yeniden sipariş maliyeti ile sipariş miktarı yeniden sipariş noktası modeli kullanılmıştır ve yeniden sipariş maliyeti birim zamanda birim başına olarak alınmıştır. Her birimin işlem süresi sabit ve her partinin işlem süresi o partinin büyüklüğü ile ilişkilidir. Temin

süresi parti büyüklüğüne oransal olarak alındığında kapalı form bir çözüm elde edilir. Klasik sipariş miktarı yeniden sipariş noktası modeli aksine bu modelde iterasyona gerek yoktur. Optimal durumları sağlayan sipariş miktarları ve temin süreleri belirlenerek analiz edilmiştir. Son olarak tedarikçi firma üretim sisteminde kapasite ayırarak kısa temin sürelerinin sağlandığı durum göz önüne alınmıştır.

Ortalama servis seviyesi ve yenileme frekansı kısıtı altında ekipman bakım operasyonlarına yedek parça sağlayan çok ürünlü bir dağıtım merkezinin envanter yatırımını optimize edecek stok politikalarının geliştirilip test edildiği bir çalışma Zhang vd. tarafından [6] de yapılmıştır. Çalışmada formülasyon ürünleri yeni bir ABC metodolojisine göre sınıflandırarak ve klasik sipariş miktarı yeniden sipariş noktası modelinde sezgisel kabullerle basitleştirilmiştir. Çalışma sonuçlarında önerilen ABC metodolojisinin büyük hatalar oluşturmadığı ve herhangi basit bir kontrol modelinin servis seviyesi mevcut formülasyona göre kontrol edildiği müddetçe çok ürünlü karışık durumlar için uygulanabilir envanter kontrol tablolarına temel teşkil edebileceği savunulmuştur.

Her taşeronu ve tesisi farklı kapasite, maliyet ve temin süresine sahip bir üreticinin stokastik çok periyotlu üretim planlama problemi Karaesmen vd. tarafından [44] de çalışılmıştır. Çalışmada her ürün için miktarı zamana göre değişken olan ve müşterisi tarafından belirlenen belirli bir servis seviyesine sahip talebi karşılamaya yönelik üreticinin ne kadar üretilcek ne zaman üretilcek nerede üretilcek ve ne kadar stok tutulacak gibi üretim kararlarında kullanabileceği bir metodoloji sunulmuştur. Metodoloji talep belirsizliğinin ve buna bağlı olasılıksal servis seviyesi kısıtlarının ek lineer kısıtlar eklenerek entegre edildiği deterministik matematik programlama yaklaşımına dayanmaktadır. Mevcut veri ile deterministik eş problemin yaklaşık planlama ufku yaklaşımı kullanılarak çözülmesi orijinal dinamik problem için yaklaşık bir çözüm sunar. Ayrıca bu yaklaşımın, baz stok politikasının sabit talebe sahip tek tesiste verdiği sonuçların aynısını sağladığı gösterilmiştir.

Depolama kapasitesinin yetersiz olduğu ve taşıma kapasitesinin de kısıtlı alındığı çözülmesi zor fakat daha gerçekçi ve pratikte daha uygulanabilir bir çalışmada Miranda ve Garrido [45] de envanter yönetimi ve tesis yerleşimi ile ilgili kararları analiz etmek

için bir model geliştirmişlerdir. Model envanter yönetimi ve tesis yerleşim kararlarını veren iki ayrı kapasite kısıtı bulunan nonlineer tam sayılı programlama modelidir. Birinci kapasite kısıtı depoya gelecek siparişlerin büyüklüklerini kısıtlarken ikinci kısıt depo için stokastik bir envanter kapasitesi kısıtıdır. Modelin çözümü için Lagrange yöntemine dayalı bir sezgisel çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Sayısal analizler çözümün iyi sonuç verdiği göstermiştir. Önerilen modelin en önemli sonuçlarından biri de envanter kapasitesindeki düşüşün kurulması gereken depo sayısında yükselmeye neden olmamasıdır. Bununla birlikte siparişlerdeki kısıtın düşürülmesi optimal sistem maliyetini düşürecek şekilde müşterilerin farklı depolara atanmasını sağlar.

Belirli bir planlama dönemi için ileri düzeyde bilindiği varsayılan tahmin ve tahmin belirsizliklerine dayalı bir dinamik envanter yönetim yaklaşımı Babai vd. tarafından [46] da önerilmiştir. Kontrol parametreleri belirli prosedürler ile elde edilmiş ve klasik yaklaşımlara göre avantajları ele alınmıştır. Çalışmada tek seviyeli ve tek ürünlü sabit olmayan talebe ve belirsiz temin süresine sahip bir sisteme odaklanılmıştır. Yeni yaklaşıma göre dinamik yeniden sipariş noktası kontrol politikası analiz edilmiş ve parametreleri belirli bir hedef servis seviyesi için hesaplanmıştır. Önerilen politikanın performansı bir ecza firmasından elde edilen geniş bir data üzerinde deneyerek ölçülmüştür.

Teunter vd. [47] de pratikte genişçe kullanılan ABC envanter sınıflandırma yönteminde ürünlerin talep yapılarına ve talep miktarlarına göre sınıflandırma yaparak her sınıf için sabit bir servis seviyesi belirledikleri bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışma ile her ürün grubunun kendi kritik olma durumu hesaba katılmıştır. Her ürünün grubuyla ilgili yönetimsel bilgiler üst ve alt servis seviyesi bilgileri elde edilmiştir.

Temin süresinin rassal değişken ve tedarik bulunamama durumunun bilinen bir süre içerisindeki aralıklarla gerçekleştiği durum Zufferey ve Silver [48] de yaptıkları çalışmada ele alınmıştır. Talebin sabit olduğunu ve karşılanmayan talebin kayıp edildiğini varsaymışlardır. Bu durumlar altında envanter tamamlama miktarlarını ve bu tamamlamaların zamanlarını belirleyecek bir sezgisel bir model geliştirmişlerdir. Simülasyon kullanılarak modelin küçük problemlerde iyi performans gösterdiği görülmüştür. Daha gerçek büyüklüklere sahip problemlerin büyük çoğunluğunda basit

baz stok modellerine göre daha iyi sonuç vermiştir. Son olarak toplam maliyetin farklı parametrelerdeki duyarlılık analizleri yapılmıştır.

Birçok çalışmada bağımlı veya bağımsız değişken olarak alınan temin süresinin karar değişkeni olarak ele alındığı bir çalışmada Glock tarafından [49] da yapılmıştır. Çalışmasında temin süresini ve onun güvenlik stoku üzerindeki etkisini ve toplama beklenen maliyeti minimize edecek bir sürekli kontrol envanter yönetim modelini ele almıştır. Sistemde tek satıcı ve satın alanın entegre envanter yönetim modeli geliştirilmiş ve talebin stokastik temin süresinin üretim kurulum ve taşımayı içeren parti büyüklüğüne bağlı olduğu kabul edilmiştir. Temin süresi üretim miktarını arttırıp kurulum ve taşıma sürelerini dağıtarak veya parti miktarları düşürülerek azaltılabilir. İleri aşamalarında temin süresini düşürmenin avantajları sayısal örnekler gösterilmiş ve talep belirsizliğinin yüksek olduğu durumlardaki temin süresini kısaltmanın daha da önemli olduğu gösterilmiştir.

Temin süresinin karar değişkeni olarak kullanıldığı bir başka çalışmada Kouvelis ve Tang tarafından [50] de yapılmış ve temin süresi iki rassal sürecin toplamı olarak alınmıştır. Satın alıcı teminin ilk aşamasının tamamlanması ile siparişin belirli bir oranını alternatif daha hızlı bir yol ile hızlandırma opsiyonuna sahiptir. Çalışmada optimal hızlandırma politikası ne kadar ve ne zaman olacağı şeklinde belirlenmiş ve optimal politika üzerinde istatistiksel karşılaştırmalarla maliyet ve temin süresi elemanlarındaki değişiklikler analiz edilmiştir. Aynı zamanda hızlandırmanın yeniden sipariş miktarları ve zamanı kararlarını nasıl etkilediği analiz edilmiştir. Hızlandırma opsiyonu ile büyük siparişlerin satış sezonlarına daha yakın sipariş edildiği gözlemlenmiştir. Bunun nedeni bu opsiyonun satıcılara güvenlik temin sürelerini destekleme ve miktar ekonomisi avantajlarında daha fazla imkan sağlamasıdır.

**ÖNERİLEN MODELLER****4.1 Mevcut Önerilen Kapasite Kısıtlı ESM Modeli**

Klasik ESM modelinde tek bir ürünün envanter optimizasyonu sağlanır. Fakat Nahmias [4] de çoğu işletme birden fazla ürün ile çalıştığını ve bu ürünlerin envanter seviyelerini bir birinden bağımsız olarak hesaplamak kapasite ve benzeri kısıtlardan dolayı fizibil olmadığını önermektedir. Bu nedenle ESM de birden fazla ürünün envanter seviyeleri hesaplanırken dikkate alınması gereken bu kısıtlarda modele dahil edilmelidir. Optimize edilecek maliyet modeli (4.1) de verilmiştir ve kapasite kısıtı da (4.2) de verilmiştir.

$$G(Q_i) = \frac{K_i \lambda_i}{Q_i} + \frac{h_i Q_i}{2} \quad (4.1)$$

$$\sum_{i=1}^n w_i Q_i \leq W \quad (4.2)$$

Burada ESM miktarları klasik modelde olduğu gibi amaç fonksiyonunun türevi alınıp sıfıra eşitlenerek belirlenir(4.3).

$$ESM_i = \sqrt{\frac{2K_i \lambda_i}{h_i}} \quad (4.3)$$

Burada hesaplanan ESM miktarlarının kısıtı sağladığı durumda (4.4) çözüm sonuçları hesaplanan ESM miktarları olmaktadır(4.5).

$$\sum_{i=1}^n ESM_i w_i \leq W \quad (4.4)$$

$$Q_i^* = ESM_i \quad (4.5)$$

Hesaplanan ESM miktarlarının kapasite kısıtını aştığı durumda (4.6) optimal ve fizibil çözümün, hesaplanan envanter seviyelerinin kapasitesinin mevcut kapasiteye eşit olduğu durumda ortaya çıkacağı kabul edilir(4.7) ve bu kısıt olarak ilk kısıtın yerine probleme yerleştirilir. Problem tek minimumlu olduğu için böyle bir kabul yapılır.

$$\sum_{i=1}^n ESM_i w_i > W \quad (4.6)$$

$$\sum_{i=1}^n Q_i^* w_i = W \quad (4.7)$$

Bu durumda Lagrange katsayısı  $\theta$  devreye sokularak kısıt amaç fonksiyonun içine dahil edilir. Artık problem kısıtsız olarak (4.8) deki şeklini alır ve bu problemde amacı minimize edecek  $Q_i$  ve  $\theta$  değerlerinin hesaplanması şeklini alır.

$$G(Q_1, Q_2, \dots, Q_n, \theta) = \sum_{i=1}^n \left( \frac{K_i \lambda_i}{Q_i} + \frac{h_i Q_i}{2} \right) + \theta (\sum_{i=1}^n (w_i Q_i) - W) \quad (4.8)$$

Önceki ESM modellerinin çözümünde olduğu gibi bu problemde de optimal durum fonksiyonun  $Q_i$  ve  $\theta$  değerlerine göre türev alınıp sıfıra eşitlendiği (4.9),(4.10) noktada ortaya çıkmaktadır.

$$\frac{\partial G}{\partial Q_i} = \frac{h_i}{2} - \frac{K_i \lambda_i}{Q_i^2} + \theta w_i = 0 \quad (4.9)$$

$$\frac{\partial G}{\partial \theta} = \sum_{i=1}^n w_i Q_i - W = 0 \quad (4.10)$$

Optimal durumu lot büyüklüğünü belirlemek için (4.9)'deki  $Q_i$  değeri yalnız bırakılarak (4.11) elde edilir ve (4.10)'daki eşitlik düzenlenerek (4.12) elde edilir.

$$Q_i^* = \sqrt{\frac{2K_i \lambda_i}{h_i + 2\theta w_i}} \quad (4.11)$$

$$\sum_{i=1}^n w_i Q_i^* = W \quad (4.12)$$

Burada optimal lot büyüklükleri  $Q_i^*$  ler (4.12)'yi sağlayacak şekilde  $\theta$  ya sabit bir değer verilerek hesaplanır. Lagrange katsayısı olarak bilinen  $\theta$  değeri elde bulundurma maliyetini yükselterek lot büyüklüklerinin düşmesini sağlar. Optimal sonucu veren  $\theta$  değeri deneme yanılma veya farklı arama teknikleri ile bulunur. Burada  $\theta$  değeri eklenecek olan bir birim kapasitenin toplan maliyette oluşturacağı düşüş olarak varsayılabilir yani bir birim kapasitenin karını temsil eder[4].

#### 4.2 Rasgele Depolama Durumunda Kapasite Kısıtlı ESM Modeli

Bu önerilen modelde ürünlerin kapasite ataması ürünlere özel olarak yapıldığı için her ürünün ulaşacağı maksimum stok durumuna göre her ürüne ayrı bir stok kapasitesi atanarak kısıt oluşturulmuştur. Ürünlerin zaman içerisindeki stoklarının dalgalanması ve ürün siparişlerinin aynı anda gerçekleştirilmemesi nedeniyle özel olarak atama yapılan durumlarda bir kısım stok atıl olarak zamanın büyük bir kısmında atıl olarak kalmaktadır. Bu nedenle kapasitenin aktif bir şekilde kullanımını sağlayacak farklı stoka atama modelleri önerilmiştir.

Ürünlere ataması konusunda Hausman vd. [51] de ürüne özel stoklama, sınıfa dayalı stoklama ve rasgele stoklama durumunda depo içindeki toplam taşıma sürelerini hesaplamış karşılaştırmışlardır.

Rasgele stok atama, sınıfa dayalı stok atama ve özel stok atama durumlarındaki kapasite ihtiyaçlarının belirlenip karşılaştırıldığı bir çalışmada Eldemir vd. tarafından [52] de yapılmıştır. Çalışmada özel stok atama durumunun daha kolay fakat sınıfa dayalı veya rasgele stok atamanın daha zor olabileceği belirtilmiştir.

Özel atama durumunda ürünlerin stok durumlarının maksimum durumları göz önüne alınarak stok kapasitesi belirlendiği için rasgele stok atamaya göre belirli bir avantaj sağlar. Rasgele stok atama veya sınıfa dayalı stok atamanın avantajı ise ürünlerin belirli bir alana stoklanması kısıtını kaldırarak toplam stok kapasite gereksiniminde düşüş sağladığı için veya mevcut kapasitenin daha fazla kullanımını sağladığı içindir. Rasgele stok ataması modelinde aynı alana farklı ürünlerin farklı zamanlarda stoklanması imkanı olduğu için toplama alan kapasite ihtiyacında düşüş sağlanabilir.

Rasgele ve sınıfa dayalı stok atama modellerinin her ikisinde de kapasite ihtiyacı, her ürünün kapasite ihtiyacını tanımlayan dağılımlar ile hesaplanabilir. Her  $i$  ürünün maksimum stok gereksiniminin  $Q_i$  olduğu durumda ve  $i$  ürünün  $j$  kadar stok kapasitesi gereksiniminin olasılığı  $\phi_{ij}$  ile ifade edilir. Ürün  $i$  nin stok kapasite gereksinim olasılığı da  $\{\phi_{i0}, \phi_{i1}, \dots, \phi_{iQ_i}\}$  şeklinde olur [52].

Aynı çalışmada kapasite ihtiyaç dağılımı verilen ürünlerin, rastgele stok ataması durumundaki kapasite ihtiyaçları merkezi limit teoremi ile hesaplanmıştır. Merkezi limit

teoremi ile ürünlerin kapasite ihtiyaç dağılımları kullanılarak rasgele stok ataması modeli için toplam stok kapasite ihtiyacı olasılığı  $N(\mu_T, \sigma_T)$  şeklindedir ve şu şekilde hesaplanırlar.

$$\mu_T = \sum_{i=1, \dots, n} \mu_i \quad (4.13)$$

$$\sigma_T = \left( \sum_{i=1, \dots, n} \sigma_i^2 \right)^{1/2} \quad (4.14)$$

Ürünlerin kapasite ihtiyaç dağılımlarından da  $\mu_i$  ve  $\sigma_i^2$  değerleri şu şekilde hesaplanır.

$$\mu_i = \sum_{x=0, \dots, \infty} x \phi_{i,x} \quad (4.15)$$

$$\sigma_i^2 = \sum_{x=0, \dots, \infty} (x - \mu_i)^2 \phi_{i,x} \quad (4.16)$$

Toplam kapasite ihtiyacı olasılığı dağılımı ile belirli bir servis seviyesi için gerekli olan toplama kapasite ihtiyacı belirlenir. Bu servis seviyesi ( $\varepsilon$ ) zamanın  $100(1 - \varepsilon)\%$  lik kısmında atanan ürünler için gerekli kapasitenin sağlanacağı olasılığını ifade eder. Toplama kapasite ihtiyacı  $\mu_T + k\sigma_T$  ile hesaplanır buradaki  $k$  değeri  $\varepsilon$  servis seviyesi ile aşağıdaki normal dağılım formülü ile hesaplanır [52].

$$1 - \varepsilon = \int_{-\infty}^k (1/\sigma_T \sqrt{2\pi}) e^{-((x-\mu_T)/\sigma_T)^2/2} \quad (4.17)$$

Ayrıca değeri EK-A'daki standart normal dağılım tablosunda  $1 - \varepsilon$  değerini veren  $k$  değeri ile bulunabilir.

$$z_k = 1 - \varepsilon \quad (4.18)$$

Mevcut kapasite kısıtlı ESM modelindeki kapasite kısıtı yerine daha esnek ve daha az kapasite gerektirmesi nedeniyle rasgele stok atamalı modeldeki belirli bir servis seviyesi için kapasite kısıtı belirlenebilir. Ürünlerin taleplerinin sabit olduğu durum için ürünlerin kapasite ihtiyacı dağılımı ürünlerim maksimum miktar kapasitesi ve sıfır kapasite  $(0, w_i Q_i)$  arasındaki uniform dağılımına uyar. Sabit talebe sahip ve  $(0, w_i Q_i)$  arasında uniform dağılan ürünlerin kapasite ihtiyacı dağılımı ortalama ( $\mu_i$ ) ve varyansı ( $\sigma_i^2$ ) uniform dağılımdan şu şekilde bulunur.

$$\mu_i = \frac{0+w_i Q_i}{2} \quad (4.19)$$

$$\sigma_i^2 = \frac{(w_i Q_i - 0)^2}{12} \quad (4.20)$$



Ürünlerin kapasite ihtiyaç dağılımları ile merkezi limit teoreminden toplam kapasite ihtiyaç dağılımı ortalama ve varyansı (4.13) ve (4.14)'den bulunarak belirlenen servis seviyesi için gereken kapasite ihtiyacı hesaplanır (4.21). Belirlenen kapasite ihtiyacı (4.12) deki kısıt yerine konularak (4.21) kısıtı elde edilir. Son durumda (4.11) çözümündeki  $\theta$  değerinin (4.21) kısıtını sağlayacak şekilde araması yapılır ve kısıt sağlayan lot büyüklükleri bulunur.

$$\mu_T + k\sigma_T = W \quad (4.21)$$

### 4.3 Kapasite Kısıtlı Parti Büyüklüğü-Yeniden Sipariş Noktası Envanter Modeli

Bir çok ürünün kontrolünün sağlandığı sürekli kontrole dayalı stokastik envanter yönetim modelleri içerisinde de kapasite kısıtı göz ardı edilmemesi gereken ve sipariş miktarlarının ve yeniden sipariş noktalarının belirlenmesinde probleme dahil edilmesi gereken kısıtlardır. Klasik ESM modelinde olduğu gibi sürekli kontrole dayalı stokastik modellerden parti büyüklüğü-yeniden sipariş noktası envanter modelinde kontrol edilecek ürünlere ait kapasite kısıtı modele dahil edilmelidir. Daha önce tek ürün için ele alındığı gibi birden fazla ürün için parti büyüklüğü-yeniden sipariş noktası envanter modeline ait maliyet amaç fonksiyonu ürünlerin sipariş miktarı  $Q_i$  ve yeniden sipariş noktaları  $R_i$  nin fonksiyonu olarak (4.22)'deki gibidir. Daha önceki kapasite kısıtlı ESM modelinde her ürünün miktarı o ürüne ait sipariş miktarı olarak alınırken stokastik modelde sipariş ile ürünün beklenen miktarı yani sipariş öncesi ürünün beklenen miktarı ile siparişin toplamı  $R_i - \tau_i \lambda_i + Q_i$  olarak alınacaktır. Her ürünün birim kapasitesi  $w_i$  ve mevcut kapasite  $W$  olarak alınarak kapasite kısıtı (4.23)'deki gibi oluşturulur.

$$G(Q_i, R_i) = h_i \left( \frac{Q_i}{2} + R_i - \tau_i \lambda_i \right) + \frac{K_i \lambda_i}{Q_i} + \frac{p_i \lambda_i n_i(R_i)}{Q_i} \quad (4.22)$$

$$\sum_{i=1}^n w_i (R_i - \tau_i \lambda_i + Q_i) \leq W \quad (4.23)$$

Kapasite kısıtı optimal durumda toplam kapasitenin kapasite kısıtını geçmesi durumunda aktif olacak ve bu durumda optimal fizibil durum problem tek minimumlu olduğu için toplam kapasitenin kapasite kısıtına eşit olduğu durumda gerçekleşecektir. Bu durumda problem (4.24)'deki kısıda sahip bir problem olacaktır.

$$\sum_{i=1}^n w_i(R_i - \tau_i \lambda_i + Q_i) = W \quad (4.24)$$

Bu durumda daha önceki uygulamadaki gibi Lagrange katsayısı  $\theta$  devreye sokularak kısıt amaç fonksiyonun içine dahil edilir. Artık problem kısıtsız olarak (4.25)'deki şeklini alır ve bu problemde amacı minimize edecek  $Q_i$ ,  $R_i$  ve  $\theta$  değerlerinin fonksiyonu olarak hesaplanması şeklini alır.

$$G(Q_i, R_i, \theta) = h_i \left( \frac{Q_i}{2} + R_i - \tau_i \lambda_i \right) + \frac{K_i \lambda_i}{Q_i} + \frac{p_i \lambda_i n_i(R_i)}{Q_i} + \theta (\sum_{i=1}^n (w_i(R_i - \tau_i \lambda_i + Q_i)) - W) \quad (4.25)$$

Daha önceki modellerde olduğu gibi problemin optimal çözümü fonksiyonun  $Q_i$ ,  $R_i$  ve  $\theta$  göre türevinin alınıp sıfıra eşitlendiği noktalarda ortaya çıkar. Fonksiyonun  $Q_i$  ye göre türevi alınarak sıfıra eşitliği (4.26)'de  $R_i$  ye göre türevinin sıfıra eşitliği (4.27)'da ve  $\theta$  göre türevinin sıfıra eşitliği de (4.28)'de gösterilmiştir.

$$\frac{\partial G}{\partial Q_i} = \frac{h_i}{2} - \frac{K_i \lambda_i}{Q_i^2} - \frac{p_i \lambda_i n_i(R_i)}{Q_i^2} + \theta w_i = 0 \quad (4.26)$$

$$\frac{\partial G}{\partial R_i} = h_i + \frac{p_i \lambda_i n_i'(R_i)}{Q_i} + \theta w_i = 0 \quad (4.27)$$

$$\frac{\partial G}{\partial \theta} = \sum_{i=1}^n w_i(R_i - \tau_i \lambda_i + Q_i) - W = 0 \quad (4.28)$$

Optimal sipariş miktarı ve yeniden sipariş noktası belirlemek için sıfıra eşitlenen denklemlerdeki  $Q_i$  ve  $R_i$  yalnız bırakılarak (4.29) ve (4.30) denklemleri elde edilir. Bu iki denklem  $\theta$  değerine çözüm sonucunda kapasite kısıtının sağlanabilmesi için bir değer verilerek daha önceki modelde olduğu gibi iteratif olarak çözülerek verilen  $\theta$  değerine göre optimal miktarlar verilir. Kapasite kısıtının sağlanıp sağlanmadığı araştırılıp kullanılan kapasitenin az çıkması durumunda bu değer düşürülerek büyük çıkması durumunda arttırılarak kapasite kısıtının sağlan optimal miktarları veren  $\theta$  değeri ve optimal miktarlar belirlenir.

$$Q_i = \sqrt{\frac{2\lambda_i[K_i + p_i n_i(R_i)]}{h_i + 2\theta w_i}} \quad (4.29)$$

$$F_i(R_i) = 1 - \frac{Q_i(h_i + \theta w_i)}{p_i \lambda_i} \quad (4.30)$$

Burada optimal sipariş miktarları  $Q_i^*$  ve yeniden sipariş noktaları  $R_i^*$  daha önce deterministik modeldeki gibi kapasite kısıtı (4.28)'yi sağlayacak şekilde  $\theta$  ya sabit bir değer verilir ve iterasyon ile hesaplanır. Lagrange katsayısı olarak bilinen  $\theta$  değeri elde bulundurma maliyetini yükselterek lot büyüklüklerinin ve yeniden sipariş noktalarını yani güvenlik stoklarının düşmesini sağlar. Optimal sonucu veren  $\theta$  değeri deneme yanılma veya farklı arama teknikleri ile bulunur. Burada  $\theta$  değeri eklenecek olan bir birim kapasitenin toplan maliyette oluşturacağı düşüş olarak varsayılabılır yani bir birim kapasitenin karını temsil eder.

Geliştirilen parti miktarı yeniden sipariş noktası modeli bazı yaklaşımlar ile geliştirildiği için probleme sadece yaklaşık bir çözüm sunar. Birinci yaklaşım ortalama beklenen stokun beklenen ortalama stoka yaklaşımla belirlenmesidir. Çünkü beklenen ortalama stokta stok miktarı negatif olduğunda elde bulundurma maliyeti hesaplanmaz. Ayrıca güvenlik stoğunun negatif olduğu durumlarda yeniden sipariş noktasını belirlemek için kullanılan ikinci iterasyonun sağ tarafı bir değerinden büyük olabilir ve bu durumda model iflas eder. Bu nedenle güvenlik stokunun negatife düşmesine neden olacak şekilde elde bulundurma maliyetinin büyük, elde bulundurmama maliyetinin küçük ve kapasite kısıtı durumunda kapasite katsayısının büyük olduğu durumlarda da model çalışmaz hale gelir.

Daha önce stokastik modellerde ele alındığı gibi parti büyüklüğü ve sipariş noktası miktarı modelinde elde bulundurmama maliyetindeki belirsizlik nedeni ile bunun yerine servis seviyesi kullanımı tercih edilebilmektedir. İkinci tip servis seviyesinin kullanıldığı ve kapasite kısıtının mevcut olduğu durumda önceki modellerde olduğu gibi iteratif çözüm ile sonuç elde edilir. Bu durumda sipariş miktarlarını veren (4.31) ve yeniden sipariş noktasını veren ve aynı zamanda servis seviyesi kısıtı olan (4.32) eşitlikleri  $\theta$  değeri (4.28) kısıtını sağlayacak şekilde değiştirilip iteratif olarak çözümlenerek optimal miktar elde edilir. Kısıtı sağlayan ve optimal sonucu veren  $\theta$  değeri farklı arama metodları ile aranarak sonuç elde edilir.

$$Q_i = \frac{(h_i + \theta w_i)n(R_i)}{(h_i + 2\theta w_i)(1 - F_i(R_i))} + \sqrt{\frac{2\lambda_i K_i}{(h_i + 2\theta w_i)} + \left(\frac{(h_i + \theta w_i)n(R_i)}{(h_i + 2\theta w_i)(1 - F_i(R_i))}\right)^2} \quad (4.31)$$

$$n_i(R_i) = (1 - \beta_i)Q_i \quad (4.32)$$

Çözüm sunucunda kapasite kısıtını sağlayan optimal fizibil sonucun elde edilmesi için bulunan  $\theta$  değeri ile her bir ürün için kullanılan servis seviyesinin o ürün için nasıl bir elde bulundurmama maliyeti varsayıldığı analizi (4.33) eşitliğinden yapılarak her hangi bir ürün bu değere bakılarak beklenenin üstünde bir değer çıktığında servis seviyesi düşürülerek düşük çıktığında ise servis seviyesi yükseltilerek ürünler için yeniden servis seviyesi belirlenebilir.

$$p_i = \frac{Q_i(h_i + \theta w_i)}{\lambda_i(1 - F_i(R_i))} \quad (4.33)$$

#### 4.4 Rasgele Depolama Durumunda Parti Büyüklüğü Yeniden Sipariş Miktarı Modeli

Klasik ESM modeli için kapasite kısıtı olduğu durumlarda mevcut kapasitenin büyük bir kısmının, kullanılan kapasitenin her ürün için ulaşacağı maksimum miktarlara göre belirlendiğinden zamanın büyük bir kısmında atıl olarak kalacağını belirtilmişti. Aynı durumun sipariş miktarı yeniden sipariş noktası modelinde kapasite kısıtı belirlenirken de ortaya çıkacağı tespit edilmiştir. Daha önceki modelde ele alınan rasgele depolamaya dayalı stok ataması modeli kullanılarak ürünlerin belirli bir alana stoklanması kısıtı kaldırılır ve toplam stok kapasite gereksiniminde düşüş sağlanır veya mevcut kapasitenin daha fazla kullanımını sağlar.

Rasgele depolama durumunda ürünler için gerekli olan toplam kapasite ihtiyacı olasılığı  $N(\mu_T, \sigma_T)$  ürünlerin kapasite ihtiyacı dağılımları merkezi limit teoreminden daha önce gösterildiği gibi (4.34) ve (4.35) den hesaplanır.

$$\mu_T = \sum_{i=1, \dots, n} \mu_i \quad (4.34)$$

$$\sigma_T = \left( \sum_{i=1, \dots, n} \sigma_i^2 \right)^{1/2} \quad (4.35)$$

Ürünlerin kapasite ihtiyacı dağılımları da kullanılan kapasitenin ürünlerin maksimum kapasitesi ve minimum kapasitesi arasında uniform dağıldığı varsayılmaktadır. Sipariş miktarı-yeniden sipariş noktası modelinde her bir ürünün kapasite ihtiyacı minimum olarak  $w_i(R_i - \tau_i \lambda_i)$  ve maksimum  $w_i(R_i - \tau_i \lambda_i + Q_i)$  arasında uniform dağılmaktadır

ve  $(w_i(R_i - \tau_i \lambda_i), w_i(R_i - \tau_i \lambda_i + Q_i))$  arasında uniform dağılan ürünlerin kapasite ihtiyaç dağılımı ortalama  $(\mu_i)$  ve varyansı  $(\sigma_i^2)$  uniform dağılımdan şu şekilde bulunur.

$$\mu_i = \frac{w_i(R_i - \tau_i \lambda_i) + w_i(R_i - \tau_i \lambda_i + Q_i)}{2} = \frac{w_i Q_i}{2} + w_i(R_i - \tau_i \lambda_i) \quad (4.36)$$

$$\sigma_i^2 = \frac{(w_i(R_i - \tau_i \lambda_i + Q_i) - w_i(R_i - \tau_i \lambda_i))^2}{12} = \frac{(w_i Q_i)^2}{12} \quad (4.37)$$

Elde edilen bu toplam kapasite ihtiyaç olasılığı ile belirli bir servis seviyesi için gerekli olan toplama kapasite ihtiyacı belirlenir. Daha önceki modeldeki gibi servis seviyesi  $(\varepsilon)$  zamanın  $100(1 - \varepsilon)\%$  lik kısmında atanan ürünler için gerekli kapasitenin sağlanacağı olasılığını ifade eder. Standart normal dağılım tablosundan (4.38) de verildiği şekilde belirlenen servis seviyesine karşılık gelen  $z_k$  dan  $k$  servis seviyesi katsayısı bulunur ve toplam kapasite ihtiyacı (4.38)'den hesaplanır. Bu hesaplama ile belirli bir servis seviyesi için toplam kapasite ihtiyacı belirlenir ve bu belirlenen kapasite kısıtı deterministik kapasite kısıtı yerine kullanılarak mevcut kapasitenin kullanımı artar ve toplam maliyette iyileşme sağlanır.

$$\mu_T + k\sigma_T = W \quad (4.38)$$

$$z_k = 1 - \varepsilon \quad (4.39)$$

#### 4.5 İkinci Kuvveti Katsayıları Politikalarında Kapasite Kısıtı

Ürünlerin koordineli olarak sipariş verilmesi birbirine zıt olan iki temel neden vardır. Birinci neden ürünleri koordineli sipariş verilerek daha düzgün stoka akışı sağlamaktır. Diğer temel neden ise birinci nedenin tam zıttı şekilde ürünlerin beraber sipariş edilmesinden doğacak olan maliyet avantajından faydalanmaktır [53]. Kapasite kısıtının bulunduğu sistemlerde koordineli sipariş bu sistemlerde düzgün stok akışı sağlamak için kullanılabileceğinden dolayı önem arz etmektedir. Koordineli sipariş ile ürünlerin siparişleri manuel veya matematik algoritmalarla planlanarak kapasite kullanımı zamana dağıtılıp kapasitenin daha düzgün kullanımı sağlanmış olur.

Ürün siparişlerinin hem manuel hem de matematik algoritmalarla koordineli olarak planlanmasında en yaygın kullanım ikinci kuvveti(power-of-two) politikalarıdır. İkinci kuvveti olmayan tamsayı kuvvetleri belirlenen bir temel periyot  $(q)$  ile çarpılarak bu

temel periyodun ikinin kuvveti katsayıları elde edilir (4.40) ve bu politika da ürünlerin çevrim sürelerinin bu katsayılar ile sınırlandırılmasıdır. Ürünlerin çevrim süreleri bu şekilde sınırlandırılarak daha basit ve toplamada tekrarlı bir şekilde planlanabilir çevrim süresi avantajı sağlamasıdır. Ayrıca ürünlerin çevrim sürelerinin bu temel periyodun katları ile sınırlandırılmasıyla uygun planlamanın yapılmasını sağlarken maliyette optimale yakın sonuçlar vermektedir.

$$T = 2^m q \quad (4.40)$$

İkinin kuvveti politikalarında temel periyodun sabit olarak alınması durumunda maliyette en fazla % 6 sapma gerçekleşeceği maliyet duyarlılık analizi ile hesaplanmıştır. Burada en kötü senaryo bütün ürünler için en kötü durumun yani en fazla sapmanın olduğu durum ele alınarak yapılmıştır. Bir ürün için en fazla sapmanın gerçekleştiği durum da ürünün optimal periyodunun ardışık iki temel periyot katının geometrik ortasında gerçekleştiği durumda meydana gelir ve bu durumda maliyetteki sapma % 6 olarak gerçekleşir. Temel periyodun mevcut duruma göre belirlenmesi durumunda maliyetteki sapmanın en fazla % 2 olarak gerçekleşeceği de aynı şekilde hesaplanmıştır. Bu durumda en kötü senaryo ürünlerin optimal çevrim süresinin ikinin katına göre nominal olarak dağıldığı durumda gerçekleşir ve bu durumda maliyetteki sapma en fazla % 2 olur[53].

İkinin kuvveti politikasında ürünlerin daha önceki klasik ekonomik sipariş modelinin aksine ürünlerin çevrim süreleri üzerine düzenlemeler gerçekleştirilir. Klasik ESM modelinde elde edilen optimal sipariş miktarı aynı zamanda optimal bir çevrim süresini ifade etmektedir. Çevrim süresi ile sipariş miktarı ve birim talep arasındaki (4.41) bağıntısını ele alarak çevrim süresine bağlı toplam maliyet denklemini (4.42) ve optimal çevrim süresini de (4.43)'den elde edilir. Optimal çevrim durumunda meydana gelecek olan maliyet de (4.44)'den bulunur.

$$Q_i = T_i \lambda_i \quad (4.41)$$

$$G(T_i) = \frac{K_i}{T_i} + \frac{h_i \lambda_i T_i}{2} \quad (4.42)$$

$$T_i = \sqrt{\frac{2K_i}{h_i \lambda_i}} \quad (4.43)$$

$$G(T_i^*) = \sqrt{2K_i h_i \lambda_i} \quad (4.44)$$

Her bir ürüne ait optimum çevrim süresi ürünler bir birinden bağımsız olarak ele alındığında bu eşitlikler ile elde edilir. İkinin katları politikasında ürünlerin çevrim süreleri ikinin katları politikasına göre sınırlandırılarak elde edilmesine ve bu çevrim sürelerine göre optimal temel çevrim süresinin belirlenmesine yönelik olarak şu sezgisel metot önerilmiştir [54]. Öncelikle ürünlerin çevrim süreleri ürünler biri birinden bağımsız olarak ele alınıp belirlenir ve bu çevrim sürelerinden en kısa olanı başlangıç temel çevrim süresi ( $q$ ) olarak alınır. Belirlene bu temel çevrim süresi ile (4.44)'den her bir ürün için toplama maliyeti minimum yapacak şekilde ikinin kuvveti katsayısı ( $n_i = 2^m, m \geq 0$ ) belirlenir. Toplam maliyeti minimum yapacak şekilde katsayıların belirlenmesinde ürüne ait bağımsız optimal çevrim süresine geometrik olarak en yakın değeri verecek ikinin kuvveti katsayısı belirlenir.

$$T_i = n_i q \quad (4.45)$$

Elde edilen bu katsayı değerleri ile birlikte temel periyodun ve katsayıların fonksiyonu olan maliyet fonksiyonunu (4.46) minimize edecek temel periyot uzunluğu (4.47)'den elde edilir. Elde edilen yeni temel periyoda göre ürünlerin periyotlarını veren temel periyot katsayıları tekrar kontrol edilir ve değişiklik yapıldığı takdirde tekrar optimal periyot hesaplanır. Katsayılarda değişikli gerekmediği takdirde optimal durum elde edilmiş olur.

$$G(q, n_i) = \sum_{i=1} \left( \frac{K_i}{qn_i} + \frac{h_i \lambda_i n_i q}{2} \right) \quad (4.46)$$

$$q = \sqrt{\frac{2 \sum_{i=1} \frac{K_i}{n_i}}{\sum_{i=1} h_i \lambda_i n_i}} \quad (4.47)$$

Elde edilen katsayılara göre siparişlerin planının tekrar edeceği aynı zamanda daha düzgün iş yükü için bütün ürünlerin siparişlerini kapsayacak şekilde planlamanın yapılacağı periyot sayısı belirlenir. Burada maksimum katsayı kadar periyot alınır. Ürünlerin kapasite kullanımlarında kapasite düzgünleştirme gerçekleştirileceği içi planlama ürünlerin siparişlerinin kapasitelerine (4.48) göre yapılır.

$$W_i = Q_i w_i \quad (4.48)$$

Ürün siparişlerinin kapasite kullanımlarına göre belirlenen periyot uzunluğu için planlaması matematiksel algoritmalarla veya manuel olarak yapılır ve daha düzgün bir kapasite kullanımı elde edilmiş olur.

Kapasite kısıtının mevcut olduğu durumda basit bir yaklaşım olarak bütün ürünlerin sipariş miktarlarının maksimum kapasite kullanımı ile orantılı olacak şekilde düşürülmesi uygulanabilir. Ürünlerin temel periyot katsayılarında herhangi bir değişiklik gerçekleştirilmeden maksimum kapasite kullanımının kapasite kısına oranı kadar temel periyot uzunlu (4.49)'deki gibi azaltılarak kapasite kısıtı sağlanmış olur.

$$q_{fizibil} = q \frac{W}{\max(W_t)} \quad (4.49)$$

Elde edilen sonuç bütün ürünlerin siparişlerini aynı oranda azaltarak elde edildiği için ürünler arasındaki birim kapasiteden kaynaklanan farkın doğuracağı durumları göz ardı eder. Ürünlerin birim hacimleri göz önüne alındığında fizibil durumu sağlayacak daha iyi sonuçlar elde edilebilir bu nedenle elde edilen bu sonuç mevcut problem için maliyette bir üst limit olarak ele alınabilir.

Kapasite kısıtlı bu problem ürünlerin birim kapasitelerindeki farklılık göz önüne alınarak çözülmek istendiğinde problem daha karmaşık bir probleme dönüşmektedir. Bu problemin çözümüne yönelik bir hibrit genetik algoritma önerilerek kapasite kısıtını sağlayacak fizibil bir sipariş planı elde edilmeye çalışılmıştır. Genetik algoritmaların çok boyutlu arama özelliği kullanılarak çözüm uzayından adaylar katsayı dizileri seçilip önerilen sezgisel metot ile fizibiliteleri belirlenerek fizibil olan dizilerin maliyetleri belirlenmiş ve kaydedilmiştir [55].



## BÖLÜM 5

### UYGULAMALAR

Birden fazla ürünün ele alındığı kapasite kısıtı altında ürünlerin sipariş miktarlarının ve planlamalarının belirlendiği 4. Bölümdeki modeller gerekli bütün parametreleri verilen bir örnek problem verileri üzerinde uygulanarak modellerin maliyet ve diğere performansları karşılaştırılacaktır [53]. Ele alınan veriler 10 adet ürünü ve bu ürünlere ait maliyet, talep ve fiziksel özelliklere aiti verileri içermektedir. Modellerin performans sonuçları sonuç maliyetleri, kapasite kullanım durumları ve uygulanabilir olmalarında göre değerlendirilecektir. Deterministik ve stokastik modeller ayrı verilerle çalışılacak ve sonuçları ayrı bir şekilde değerlendirilecektir.

#### 5.1 Deterministik Kapasite Kısıtlı ESM Modeli Uygulaması

Klasik ESM modelinin kapasite kısıtı ile çözümünde ürünlerin klasik ESM modelindeki verilere ek olarak ürünlerin her birine ait birim kapasite miktarları gerekmektedir. Bu modelde kullanılacak ürünlere ait örnek veri her ürünün birim zamandaki talebi, birim zamanda birim elde bulundurma maliyeti, sipariş maliyeti ve o ürünün birim kapasite kullanımı Çizelge 5.1’de verildiği gibidir.

Çizelge 5.1 Deterministik örnek problem verileri

| Ürün        | 1    | 2    | 3    | 4    | 5     | 6    | 7     | 8     | 9     | 10  |
|-------------|------|------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|-----|
| $h_i$       | 0,3  | 7,4  | 5,3  | 4,2  | 116,0 | 11,2 | 62,5  | 245,8 | 37,5  | 1,7 |
| $K_i$       | 15,0 | 20,0 | 30,0 | 10,0 | 110,0 | 50,0 | 310,0 | 130,0 | 200,0 | 5,0 |
| $\lambda_i$ | 2000 | 1000 | 8000 | 5333 | 160   | 160  | 80    | 1133  | 3400  | 800 |
| $w_i$       | 0,7  | 6,0  | 2,0  | 9,0  | 5,0   | 1,0  | 7,0   | 3,5   | 2,0   | 4,0 |

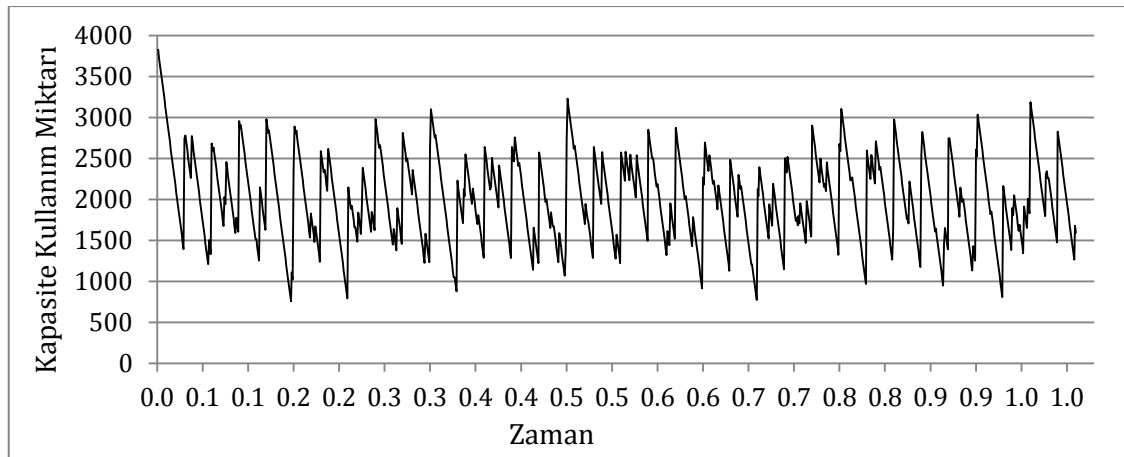
Öncelikle problem kapasite kısıtı yokmuş her ürün için ayrı bir şekilde çözülerek optimal durum belirlenir ve bu durumda kullanılan kapasitenin mevcut kapasiteyi aşmadığı test edilir. Her biri ürünün ESM modeline göre çözümü sonucunda elde edilen optimal sipariş miktarları, bu miktarlara göre her bir ürünün kullandığı kapasite Çizelge 5.2'deki gibidir. Ayrıca bu sipariş verilerine göre birim zamanın binde biri zaman aralıkları ile bir birim zaman içi simule edilmiş kapasite kullanım seviyeleri Sekil 5.1'de gösterilmiştir. Yapılan bu simülasyonda başlangıçta bütün ürünlerin siparişleri ile başlanılmıştır. Elde edilen bu sonuçlara göre toplam kapasite kullanımı ve toplam maliyet (5.1) ve (5.2)'deki gibi gerçekleşir.

Çizelge 5.2 Deterministik kapasite kısıtsız çözüm sonuçları

| Ürün        | 1     | 2     | 3      | 4      | 5      | 6     | 7      | 8      | 9      | 10    |
|-------------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|
| $Q_i^*$     | 470,7 | 73,5  | 300,6  | 160,0  | 17,4   | 37,9  | 28,2   | 34,6   | 190,4  | 69,3  |
| $w_i Q_i^*$ | 329,5 | 441,2 | 601,1  | 1439,9 | 87,1   | 37,9  | 197,2  | 121,2  | 380,9  | 277,1 |
| $G(Q_i^*)$  | 127,5 | 543,9 | 1596,9 | 666,7  | 2020,7 | 422,4 | 1760,7 | 8510,5 | 7141,4 | 115,5 |

$$\sum w_i Q_i^* = 3913,1 \quad (5.1)$$

$$\sum G(Q_i^*) = 22906,2 \quad (5.2)$$



Şekil 5.1 Kısıtsız çözüm kapasite kullanım grafiği

Bu aşamadan sonra ürünlerin bağımsız olarak ele alınıp optimal miktarlarının belirlenmesi ile gerçekleşen kapasite kullanımının kapasite kısıtı  $W = 1000$  olarak alan

değeri aştığı görülmektedir. Bu durumda kapasite kısıtını sağlayacak fizibil durum kapasite kullanımının kapasite kısıtına eşit olduğu noktada (5.3)'in sağlandığı noktada ortaya çıkacaktır.

$$\sum w_i Q_i^* = 1000 \quad (5.3)$$

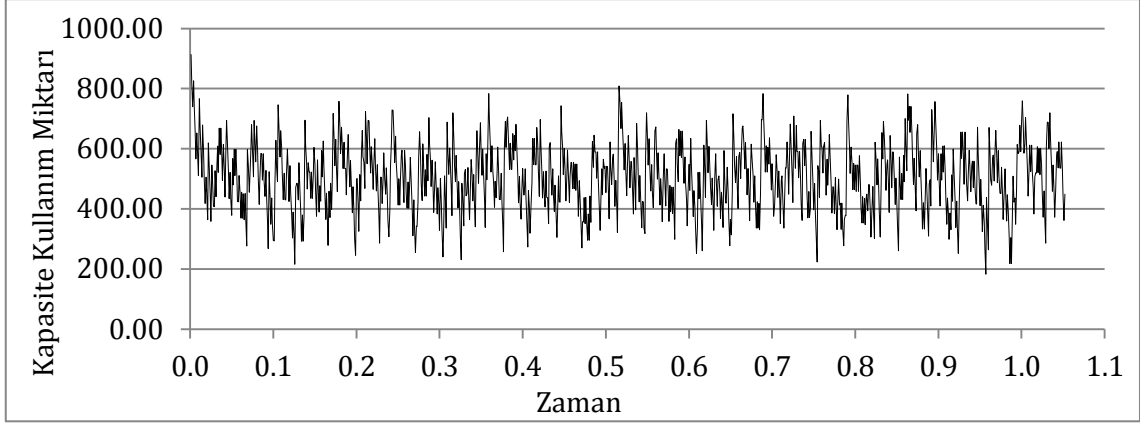
Kapasite kısıt modelde Lagrange çarpanı  $\theta$  ile dahil edildikten sonra elde edilen sipariş miktarı formülünde  $\theta$  ya uygun değerler verilerek kapasite kısıtını sağlayacak sipariş miktarları bulunur. Lagrange çarpanı belirlenmesinde farklı arama algoritmaları kullanılabilir veya excel programından kullanılan kapasiteyi hedeflenen kapasiteye ulaştıracak şekilde hedef arama aracı ile uygun  $\theta$  değeri bulunabilir. Excel programı ile arama sonucunda  $\theta = 15,61$  değeri ile kapasite kısıtını sağlayan optimal sipariş miktarları kapasite kullanımları ve maliyetler Çizelge 5.3 deki gibi gerçekleşmiştir. Ayrıca bu sipariş verilerine göre birim zamanın binde biri zaman aralıkları ile bir birim zaman içi simule edilmiş kapasite kullanım seviyeleri Sekil 5.2'de gösterilmiştir. Yapılan bu simülasyonda başlangıçta bütün ürünlerin siparişleri ile başlanılmıştır. Elde edilen bu sonuçlara göre toplam kapasite kullanımı ve toplam maliyet (5.4) ve (5.5)'deki gibi gerçekleşir.

Çizelge 5.3 Deterministik kapasite kısıtlı çözüm sonucu

| Ürün      | 1     | 2      | 3      | 4      | 5      | 6     | 7      | 8      | 9      | 10    |
|-----------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|
| $Q_i$     | 52,1  | 14,3   | 84,2   | 19,3   | 11,4   | 19,4  | 13,3   | 28,8   | 116,6  | 8,0   |
| $w_i Q_i$ | 36,4  | 86,0   | 168,3  | 174,0  | 56,9   | 19,4  | 93,0   | 100,8  | 233,3  | 31,8  |
| $G(Q_i)$  | 583,2 | 1448,6 | 3075,3 | 2798,1 | 2207,2 | 520,0 | 2282,1 | 8654,9 | 8016,7 | 509,8 |

$$\sum w_i Q_i = 1000,0 \quad (5.4)$$

$$\sum G(Q_i) = 30095,8 \quad (5.5)$$



Şekil 5.2 Kısıtlı çözüm kapasite kullanım grafiği

Ürünlerin kapasite kullanımları ürünlerin envanter seviyelerinin ulaştığı en yüksek seviyeden alınarak her bir ürüne ayrı bir kapasite ataması yapılarak bu sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kapasite kısıtı olmayan duruma göre ( $W = 1000$ ) kapasite kısıtı olan durumda maliyet  $(G(Q_i)/G(Q_i^*) = 1,31)$  % 31 artış göstermiştir. Mevcut kapasitenin sınırlı olması ve bu kapasitenin kullanımında her ürüne ayrı bir stok ataması yapılarak katı davranılması sipariş miktarlarının optimal durumda daha fazla sapmasına ve dolayısı ile maliyetinde sapmasına neden olmuştur. Ayrıca simule edilmiş stok kullanım grafiğinden görüldüğü gibi ilk sipariş sonrasında bir birim zaman içerisinde stokun ulaşabildiği maksimum miktar yaklaşık ( $W = 8000$ ) birim civarlarındadır. Stokun belirli bir miktarı zamanın büyük bir kısmında atıl olarak kalamaktadır.

## 5.2 Rastgele Depolama Durumunda Kapasite Kısıtlı ESM Modeli Uygulaması

Deterministik kapasite kısıtlı modelde her ürünün kapasite kullanımının o ürünün maksimum ulaşacağı seviyeden alınarak ürünlere kapasite atanması noktasında katı davranılması mevcut kapasitenin zamanın belirli bir kısmında yeteri kadar kullanılmamasına neden olurken sipariş miktarında optimalden daha fazla sapmaya neden olarak ürün siparişlerinde daha fazla maliyete neden olmaktadır. Ele alınan modelde her biri ürünün kapasite ihtiyacı, ürünlerin sahip oldukları sabit talep neticesinde sipariş miktarı ile sıfır stok seviyesi arasında düzgün dağılan bir dağılım olarak ele alınmıştır. Toplama kapasite ihtiyacı da bütün ürünlerin kapasite ihtiyaç

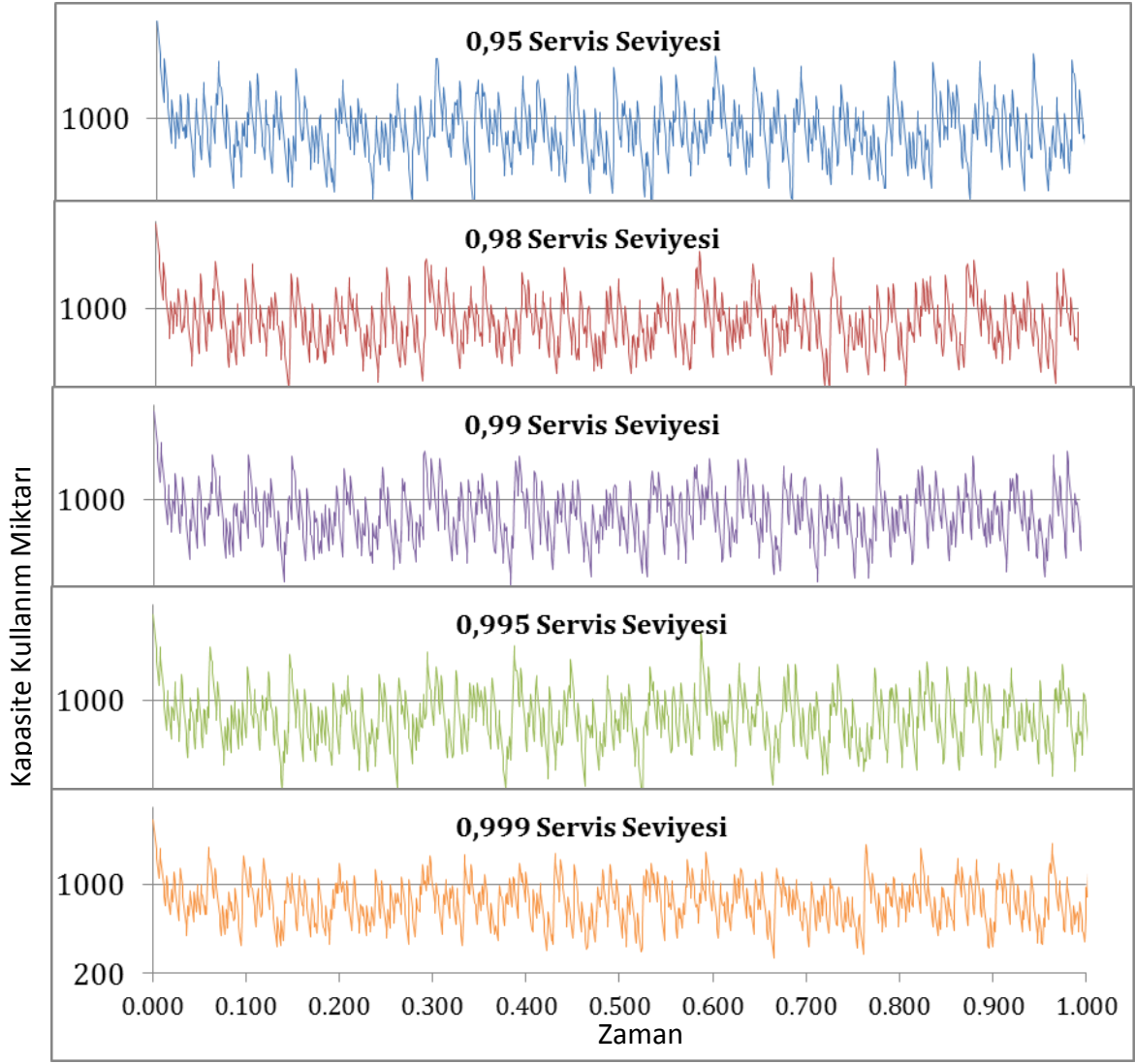
dağılımlardan merkezi limit teoremi ile normal dağılım olarak elde edilmiştir ve belirlenen sipariş miktarlarına göre toplam kapasite ihtiyacı belirli bir servis seviyesine göre bu dağılımdan elde edilmiştir.

Bir önceki uygulamada deterministik olarak bulunan siparişler için gerekli kapasite miktarı bu modelde farklı servis seviyeleri için normal dağılım üzerinden belirlenip kapasite kısıtı oluşturularak farklı servis seviyeleri için ( $\theta$ ) Lagrange çarpanı ve toplam maliyet Çizelge 5.4 deki gibi hesaplanmıştır.

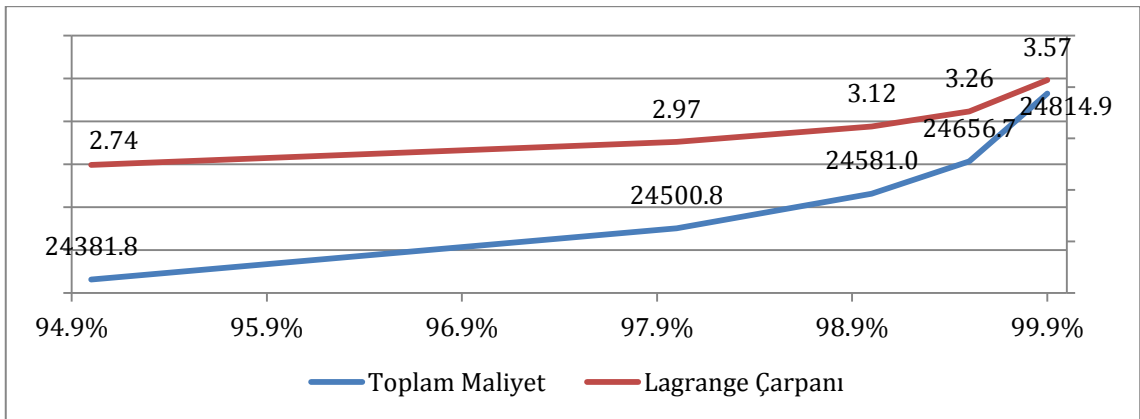
Çizelge 5.4 Rastgele depolama durumunda farklı depo servis seviyeleri çözüm sonuçları karşılaştırması

| Servis Seviyesi ( $1 - \varepsilon$ ) | 95,0%   | 98,0%   | 99,0%   | 99,5%   | 99,9%   |
|---------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $z'_{(1-\varepsilon)} = k$            | 1,65    | 2,06    | 2,33    | 2,58    | 3,09    |
| $\theta$                              | 2,74    | 2,97    | 3,12    | 3,26    | 3,57    |
| $\sum G$                              | 24381,8 | 24500,8 | 24581,0 | 24656,7 | 24814,9 |

Modelde Servis seviyesi arttıkça maliyetin ve Lagrange katsayısının arttığı Şekil 5.1'den görülmektedir. Servis seviyesi arttıkça belirlenen sipariş miktarları için hesaplanan kapasite kullanımı miktarı da artış göstereceği için bu hesaplanan kapasite kullanımını mevcut kapasite kullanımına eşitleyecek şekilde Lagrange katsayısı ve maliyette artacaktır. Deterministik modele göre kapasite kullanımı önemli derecede artacağı için maliyette önemli derecede düşüş gerçekleşmiştir. Ayrıca farklı servis seviyelerindeki ortalama kapasite ve maksimum kapasite kullanımları birim zamanın binde biri zaman aralıkları ile bir birim zamana için yapılan simülasyonlarda görülmektedir (Şekil 5.3). Kapasite kullanım seviyelerini gösteren simülasyonlara başlangıçta bütün ürünler sipariş verilerek başlanır. Ayrı olarak simülasyon grafikleri incelendiğinde ortalama kapasite kullanımları servis seviyesi arttıkça azalmaktadır. Maksimum kapasite kullanımı ise servis seviyesi arttıkça azalmakla birlikte maksimum kapasite kullanımı daha çok ürünlerin siparişlerinin aynı ana rastlaması yani ürünlerin çevrimleri ile alakalı olduğu için 0,995 servis seviyesinde azalmamış ve artmıştır.



Şekil 5.3 Servis seviyesi kısıtlı çözümler kapasite kullanım grafikleri karşılaştırması



Şekil 5.4 Rastgele depolama durumu farklı servis seviyeleri Lagrange katsayısı ve toplam maliyet grafiği

### 5.3 Parti Büyüklüğü-Yeniden Sipariş Noktası Modelinde Kapasite Kısıtı Uygulaması

Parti büyüklüğü-yeniden sipariş noktası modeli stokastik modellerde sürekli kontrole dayalı başlıca modellerdendir ve temelde klasik ESM modelinin stokastik duruma göre geliştirilmiş halidir. Bu modelin kapasite kısıtı ile çözümünde daha önceki modellerde olduğu gibi ek olarak her bir ürünün birim kapasiteleri ile o ürünlerin kapasite kullanımları hesaplanır. Bu modelde kullanılacak olan örnek uygulamadaki ürünlere ait birim zamandaki ortalama talep, birim zamanda birim elde bulundurma maliyeti, birim zamanda birim elde bulundurmama maliyeti, sipariş maliyeti, ürünün birim kapasite kullanımı, temin süresi talep ortalaması ve standart sapması ve elde bulundurmama maliyetinin ele alınmadı durumlarda kullanılan her bir ürünün müşteri servis seviyesi Çizelge 5.5’de verilmiştir.

Çizelge 5.5 Stokastik örnek problem verileri

| Ürün              | 1     | 2     | 3     | 4      | 5     | 6    | 7     | 8     | 9     | 10    |
|-------------------|-------|-------|-------|--------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| $h_i$             | 0,3   | 7,4   | 5,3   | 4,2    | 116,0 | 11,2 | 62,5  | 245,8 | 37,5  | 1,7   |
| $p_i$             | 0,2   | 4,0   | 6,0   | 3,6    | 200,0 | 30,0 | 80,0  | 90,0  | 40,0  | 5,0   |
| $K_i$             | 15,0  | 20,0  | 30,0  | 10,0   | 110,0 | 50,0 | 310,0 | 130,0 | 200,0 | 5,0   |
| $\lambda_i$       | 2000  | 1000  | 8000  | 5333   | 160   | 160  | 80    | 1133  | 3400  | 800   |
| $\tau_i$          | 0,2   | 0,4   | 0,1   | 0,3    | 0,5   | 0,5  | 0,3   | 0,3   | 0,1   | 0,5   |
| $\lambda_i\tau_i$ | 400,0 | 400,0 | 800,0 | 1600,0 | 80,0  | 80,0 | 24,0  | 340,0 | 340,0 | 400,0 |
| $\sigma_{\tau_i}$ | 30,0  | 50,0  | 100,0 | 350,0  | 70,0  | 20,0 | 15,0  | 20,0  | 60,0  | 150,0 |
| $w_i$             | 0,7   | 6,0   | 2,0   | 9,0    | 5,0   | 1,0  | 7,0   | 3,5   | 2,0   | 4,0   |
| $\beta_i$         | 0,80  | 0,85  | 0,95  | 0,95   | 0,80  | 0,90 | 0,80  | 0,90  | 0,95  | 0,95  |

Problem kapasite kısıtı olmadan çözümlenerek optimal sipariş miktarları ve yeniden sipariş noktaları Çizelge 5.6 daki gibi bulunur. Hesaplanan bu değerler ile kapasite kullanımı deterministik modelden hesaplanarak mevcut kapasiteyi aşp aşmadığı test edilir. Toplam maliyet ve toplam kapasite kullanımı sırasıyla (5.6) ve (5.7)’deki gibi gerçekleşmiştir.

Çizelge 5.6 Stokastik kapasite kısıtsız çözüm sonucu

| Ürün    | 1         | 2         | 3         | 4          | 5         | 6         | 7    | 8         | 9         | 10        |
|---------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|------|-----------|-----------|-----------|
| $Q_i^*$ | 490,<br>9 | 106,<br>4 | 343,<br>3 | 386,<br>4  | 97,8      | 48,8      | 40,8 | 45,6      | 218,<br>0 | 161,<br>5 |
| $R_i^*$ | 413,<br>0 | 442,<br>7 | 977,<br>4 | 2082,<br>9 | 106,<br>1 | 104,<br>2 | 27,9 | 364,<br>5 | 433,<br>2 | 624,<br>4 |

|   |           |            |            |            |             |           |            |             |             |            |
|---|-----------|------------|------------|------------|-------------|-----------|------------|-------------|-------------|------------|
| $w_i(Q_i^* + R_i^* - \lambda_i \tau_i)$ | 352,<br>7 | 894,<br>4  | 1041<br>,5 | 7823<br>,1 | 619,<br>6   | 73,0      | 312,<br>6  | 245,<br>5   | 622,<br>5   | 1543<br>,7 |
| $G(Q_i^*, R_i^*)$                       | 136,<br>5 | 1102<br>,5 | 2766<br>,6 | 3622<br>,1 | 1437<br>5,2 | 813,<br>9 | 2790<br>,9 | 1724<br>1,2 | 1167<br>2,1 | 643,<br>3  |

$$\sum w_i(Q_i^* + R_i^* - \lambda_i \tau_i) = 13528,5 \quad (5.6)$$

$$\sum G(Q_i^*, R_i^*) = 55164,3 \quad (5.7)$$

Stokastik modellerde temin süresi belirsizliği nedeni ve elde bulundurmamandan kaynaklı maliyetler oluşacağı için optimal durumda kullanılan kapasite deterministik modellere göre daha yüksek olacaktır. Optimal durumda oluşan kapasite kullanımı stokastik model için belirlenen kapasite kısıtı  $W = 5000$  den yüksek çıkmıştır. Kapasite kullanımının kapasite kısına eşit olduğu durum Lagrange çarpanı modele dahil edilip bu kısıtı sağlayan sipariş miktarlarını ve yeniden sipariş noktası miktarlarını veren Lagrange katsayısı belirlenerek sağlanır. Kapasite kısıtını sağlayan Lagrange katsayısı  $\theta = 3,41$  ile elde edilen sonuçlar Çizelge 5.7 deki gibidir ve toplam maliyet ve kullanılan kapasite (5.8) ve (5.9)'daki gibidir.

Çizelge 5.7 Stokastik kapasite kısıtlı çözüm sonucu

| Ürün                                | 1         | 2          | 3          | 4           | 5           | 6         | 7          | 8           | 9           | 10         |
|-------------------------------------|-----------|------------|------------|-------------|-------------|-----------|------------|-------------|-------------|------------|
| $Q_i$                               | 134,<br>3 | 55,4       | 187,<br>7  | 409,<br>0   | 87,5        | 38,8      | 31,5       | 43,5        | 187,<br>0   | 126,<br>7  |
| $R_i$                               | 362,<br>5 | 414,<br>5  | 966,<br>9  | 1370<br>,6  | 104,<br>3   | 103,<br>7 | 26,8       | 364,<br>5   | 432,<br>8   | 405,<br>3  |
| $w_i(Q_i + R_i - \lambda_i \tau_i)$ | 67,8      | 419,<br>0  | 709,<br>4  | 1615<br>,8  | 559,<br>3   | 62,5      | 240,<br>3  | 238,<br>3   | 559,<br>6   | 528,<br>1  |
| $G(Q_i, R_i)$                       | 347,<br>5 | 1651<br>,5 | 3167<br>,6 | 1332<br>7,5 | 1447<br>2,5 | 829,<br>8 | 2898<br>,7 | 1725<br>3,2 | 1177<br>1,3 | 1952<br>,4 |

$$\sum w_i(Q_i + R_i - \lambda_i \tau_i) = 5000 \quad (5.8)$$

$$\sum G(Q_i, R_i) = 67672,1 \quad (5.9)$$

Deterministik olarak hesaplanan kapasite kullanım miktarı ürünlerin maksimum ve minimum kapasite durumlarından belirlenen kapasite ihtiyaç dağılımları ile farklı servis seviyeleri için normal dağılım üzerinden belirlenip kapasite kısıtı oluşturularak farklı

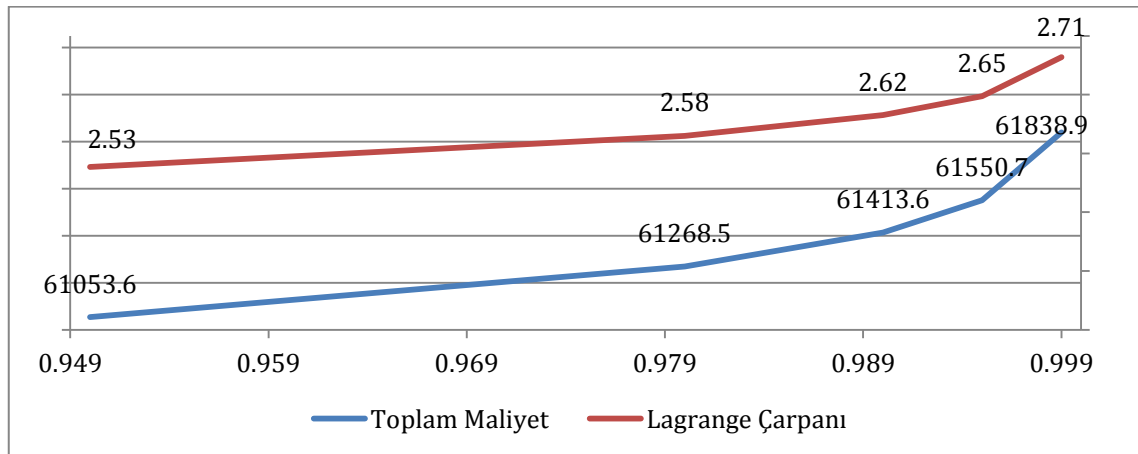


servis seviyeleri için ( $\theta$ ) Lagrange çarpanı ve toplam maliyet Çizelge 5.8 deki gibi hesaplanmıştır.

Çizelge 5.8 Stokastik problemde rastgele depolama kapasite kısıtı farklı servis seviyeleri çözüm sonuçları karşılaştırması

| Servis Seviyesi ( $1 - \varepsilon$ ) | 95,0%   | 98,0%   | 99,0%   | 99,5%   | 99,9%   |
|---------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $z'_{(1-\varepsilon)} = k$            | 1,65    | 2,06    | 2,33    | 2,58    | 3,09    |
| $\theta$                              | 2,53    | 2,58    | 2,62    | 2,65    | 2,71    |
| $\sum G$                              | 61053,6 | 61268,5 | 61413,6 | 61550,7 | 61838,9 |

Kapasite kullanımı için belirlenen servis seviyesi arttıkça Lagrange katsayısının ve toplam maliyetin arttığı Şekil 5.2'den görülmektedir. Servis seviyesinin artması ile hesaplanan sipariş miktarı ve yeniden sipariş noktası miktarı için kapasite kullanımı hesabı artacağı için bu kullanımı kapasite kısıtı seviyesine indirmek için Lagrange katsayısı artacak ve sipariş miktarı ve yeniden sipariş noktası miktarları seviyesin düşürecektir.



Şekil 5.5 Stokastik problemde rastgele depolama durumu farklı servis seviyeleri Lagrange katsayısı ve toplam maliyet grafiği

Stokastik modellerde elde bulundurmama maliyetinin belirsizliği nedeni ile bu maliyet yerine her bir ürün için müşteri servis seviyesi tercih edilebilmektedir. Temin süresi içerisinde karşılanamaması beklenen talebin sipariş miktarına oranını ifade eden ikinci tip müşteri servis seviyeleri kullanılarak aynı hesaplamalar deterministik kapasite kısıtıyla ve rasgele depolama durumundaki kapasite kısıtıyla hesaplanabilir. Müşteri servis seviyeleri ile yapılan hesaplamalar sonucunda belirlenen müşteri servis

seviyelerine göre elde bulundurmama maliyetleri elde edilen yeniden sipariş noktası miktarlarından hesaplanarak bu maliyeti yüksek çıkan ürünlerin servis seviyeleri düşürülerek yeniden hesaplamalar yapılabilir.

#### 5.4 İkinci Kuvveti Katsayıları Politikalarında Kapasite Kısı Uygulaması

Ürünlerin koordineli olarak sipariş edilmesi sonucunda da kapasite kullanımında etkinlik sağlanılarak maliyetlerde iyileştirme gerçekleştirilebilir. Çevrim süreleri minimum maliyeti sağlayarak ikinci katları politikasına göre düzenlenmiş ürünlerin siparişleri planlanan sipariş periyotlarına her periyotta bir birine yakın sipariş kapasiteleri oluşturulacak şekilde manuel veya matematiksel algoritmalar ile yerleşilerek kapasite yükü düzgünleştirilmiş olur. İkinci katları politikasında verileri Çizelge 5.9 da verilen ve klasik ESM modelinde ele alınan örnek uygulama ele alınarak kapasite kısıtlı ESM modelleri ile karşılaştırma yapılacaktır.

Çizelge 5.9 İkinci kuvveti politikaları örnek problemi verileri

| Ürün        | 1    | 2    | 3    | 4    | 5     | 6    | 7     | 8     | 9     | 10  |
|-------------|------|------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|-----|
| $h_i$       | 0,3  | 7,4  | 5,3  | 4,2  | 116,0 | 11,2 | 62,5  | 245,8 | 37,5  | 1,7 |
| $K_i$       | 15,0 | 20,0 | 30,0 | 10,0 | 110,0 | 50,0 | 310,0 | 130,0 | 200,0 | 5,0 |
| $\lambda_i$ | 2000 | 1000 | 8000 | 5333 | 160   | 160  | 80    | 1133  | 3400  | 800 |
| $w_i$       | 0,7  | 6,0  | 2,0  | 9,0  | 5,0   | 1,0  | 7,0   | 3,5   | 2,0   | 4,0 |

İkinci kuvveti politikalarında optimal temel periyod ve ürünlere ait temel periyot katsayılarının belirlenmesinde önerilen sezgisel metotta öncelikle ürünlerin bağımsız olarak optimal çevrim süreleri elde edilmektedir. Ürünlerin bağımsız olarak ele alınmaları sonucu elde edilen optimal çevrim süreleri, optimal sipariş miktarları, sipariş kapasite miktarı ve maliyetleri Çizelge 5.10 daki gibidir.

Çizelge 5.10 İkinci kuvveti politikaları örnek problemi bağımsız çözüm sonuçları

| Ürün n   | 1          | 2          | 3          | 4          | 5          | 6          | 7          | 8          | 9          | 10         |
|----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| $Q^*$    | 470,7      | 73,5       | 300,6      | 160,0      | 17,4       | 37,9       | 28,2       | 34,6       | 190,4      | 69,3       |
| $Q^*w_i$ | 329,5      | 441,2      | 601,1      | 1439,9     | 87,1       | 37,9       | 197,2      | 121,2      | 380,9      | 277,1      |
| $T^*$    | 0,235<br>3 | 0,073<br>5 | 0,037<br>5 | 0,029<br>9 | 0,108<br>8 | 0,236<br>7 | 0,352<br>1 | 0,030<br>5 | 0,056<br>0 | 0,086<br>5 |
| $G(T^*)$ | 127        | 543        | 1596       | 666        | 2020       | 422        | 1760       | 8510       | 7141       | 115        |

ikinci aşamada elde edilen bu optimal periyot süreleri içerisinde en küçük olanı başlangıç temel periyot olarak seçilerek diğer ürünler her biri için ( $n_i = 2^m, m \geq 0$ ) kuralını sağlayacak ve toplama maliyeti minimize edecek şekilde temel periyot katsayısı belirlenir. Burada toplam maliyeti minimum sağlayacak katsayı optimal periyoda en yakın periyodu elde ettiren katsayıdır.

Bu örnek uygulamada başlangıç temel periyoduna göre ürünleri için belirlenen katsayılar ve bu katsayılar neticesindeki periyot uzunlukları Çizelge 5.11 de verilmiştir.

Çizelge 5.11 İkinin kuvveti politikaları örnek problemi temel periyot ve katsayı sonuçları

| Ürün    | 1          | 2          | 3          | 4          | 5          | 6          | 7          | 8          | 9          | 10         |
|---------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| $T^*$   | 0,235<br>3 | 0,073<br>5 | 0,037<br>5 | 0,029<br>9 | 0,108<br>8 | 0,236<br>7 | 0,352<br>1 | 0,030<br>5 | 0,056<br>0 | 0,086<br>5 |
| $n_i$   | 8          | 2          | 1          | 1          | 4          | 8          | 16         | 1          | 2          | 4          |
| $n_i q$ | 0,239<br>9 | 0,060<br>0 | 0,030<br>0 | 0,030<br>0 | 0,120<br>0 | 0,239<br>9 | 0,479<br>9 | 0,030<br>0 | 0,060<br>0 | 0,120<br>0 |

Elde edilen yeni temel periyot katsayılarına göre maliyeti minimize eden temel periyot (5.10)'dan hesaplanarak yeni hesaplanana bu temel periyoda göre toplam maliyeti minimize etmek amacı ile mevcut verilen katsayılarda değişiklik gerçekleştirilir. Herhangi bir değişikliğin gerekmediği durumda model yakınsamış olur ve optimal temel periyot ve katsayılar elde edilmiş olur. Değişikliğin gerektiği durumda değişiklik gerçekleştirilerek yeniden maliyeti minimize edecek optimal temel periyot hesaplanır aynı kontroller tekrarlanır.

$$q = \sqrt{\frac{2 \sum_{i=1}^{10} \frac{K_i}{n_i}}{\sum_{i=1}^{10} h_i \lambda_i n_i}} = 0,02915 \quad (5.10)$$

Elde edilen optimal temel periyoda göre katsayılarda herhangi bir değişikliğe gerek olmadığı için çözüm yakınsamış ve temel periyot ve katsayılar elde edilmiş olur. Elde edilen bu katsayılar ve temel periyoda göre toplam maliyet (5.11)'den hesaplanmıştır.

$$G(q, n_i) = \sum_{i=1}^{10} \left( \frac{K_i}{qn_i} + \frac{h_i \lambda_i n_i q}{2} \right) = 23068,0 \quad (5.11)$$

Optimal durum elde edildikten sonra yeni çevrim sürelerine göre ürünlere ait sipariş miktarları ve sipariş kapasite miktarlarına hesaplanır (Çizelge 5.12). Hesaplanan sipariş

kapasite miktarlarına göre siparişler en uzun periyoda sahip ürünün uzunluğu olan planlama periyodunda eşit kapasite kullanımı sağlanacak şekilde manuel veya matematiksel algoritmalar planlanır. Manuel olarak gerçekleştirilen planlama neticesinde her periyotta hangi ürünlerin sipariş verileceği Çizelge 5.13'deki gibi belirlenmiştir ve bu siparişler neticesinde periyot başlarında eldeki stok ve siparişlerle birlikte toplam kapasite kullanımı da verilmiştir.

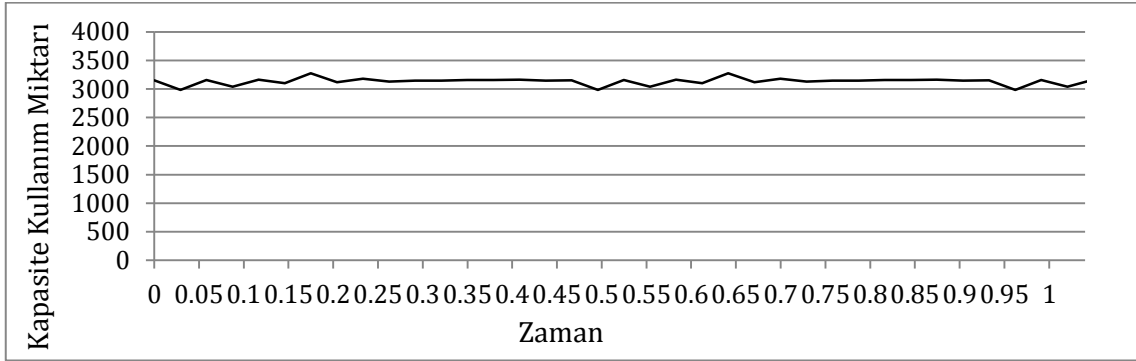
Çizelge 5.12 İkinin kuvveti politikaları örnek problemi sipariş miktarı ve sipariş kapasitesi sonuçları

| Ürün      | 1     | 2     | 3     | 4      | 5    | 6    | 7     | 8     | 9     | 10    |
|-----------|-------|-------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| $Q_i$     | 466,4 | 58,3  | 233,2 | 155,5  | 18,7 | 37,3 | 37,3  | 33,0  | 198,2 | 93,3  |
| $Q_i w_i$ | 326,5 | 349,8 | 466,4 | 1399,3 | 93,2 | 37,3 | 261,2 | 115,6 | 396,4 | 373,1 |

Çizelge 5.13 İkinin kuvveti politikaları periyotlarda sipariş edilecek ürünler ve kullanılan toplam kapasite miktarları

| Periyot | Sipariş Edilen Ürünler | Sipariş Kapasite Miktarı | Toplam Kullanılan Kapasite |
|---------|------------------------|--------------------------|----------------------------|
| 1       | 4,3,8,9,5              | 2471,20                  | 2985,37                    |
| 2       | 4,3,8,2,10             | 2704,43                  | 3156,80                    |
| 3       | 4,3,8,9,6              | 2415,23                  | 3039,04                    |
| 4       | 4,3,8,2,1              | 2657,78                  | 3163,82                    |
| 5       | 4,3,8,9,5              | 2471,20                  | 3102,03                    |
| 6       | 4,3,8,2,10             | 2704,43                  | 3273,47                    |
| 7       | 4,3,8,9                | 2377,91                  | 3118,38                    |
| 8       | 4,3,8,2,7              | 2592,48                  | 3177,66                    |
| 9       | 4,3,8,9,5              | 2471,20                  | 3127,07                    |
| 10      | 4,3,8,2,10             | 2704,43                  | 3144,78                    |
| 11      | 4,3,8,9,6              | 2415,23                  | 3143,28                    |
| 12      | 4,3,8,2,1              | 2657,78                  | 3156,31                    |
| 13      | 4,3,8,9,5              | 2471,20                  | 3155,37                    |
| 14      | 4,3,8,2,10             | 2704,43                  | 3162,04                    |
| 15      | 4,3,8,9                | 2377,91                  | 3148,11                    |
| 16      | 4,3,8,2                | 2471,20                  | 3151,83                    |

Elde edilen toplam kapasite kullanımlarına bakıldığında her periyotta birbirine yaklaşık değerlerle kapasite kullanımı vardır ve maksimum kapasite kullanımı ( $max(W_t) = 3273,5$ ) şeklinde gerçekleşmiştir. Ayrıca bir birim periyot için kapasite kullanım grafiği de Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



Şekil 5.6 Kısıtsız ikinin kuvveti politikası kapasite kullanım grafiği

Klasik ESM modeli ile karşılaştırıldığında az miktarda maliyet sapması ile berber kapasite kullanımında ciddi anlamda iyileşme sağlanmıştır. Klasik ESM modeli ile maliyet ve kapasite kullanımı açısından karşılaştırması Çizelge 5.14'de verilmiştir.

Çizelge 5.14 Klasik ESM ve ikinin kuvveti modeli maliyet ve kapasite kullanım sonuçları karşılaştırması

|                     | Klasik ESM Model | İkinin Kuvvetleri Modeli |
|---------------------|------------------|--------------------------|
| Toplam Maliyet      | 22906,2          | 23068,0                  |
| Kullanılan Kapasite | 3913,1           | 3273,5                   |

Probleme kapasite kısıtı dahil edildiğinde basit yaklaşım olarak bütün ürünlerin sipariş miktarlarını kapasite kısıtının maksimum kapasiteye oranı kadar düşürülerek çözüm sağlanabilir. Fakat bu çözümde ürünlerin birim kapasiteleri arasındaki farklılıklar göz önüne alınarak çözülmeği için fizibil optimal durumda uzak olabilir. Problem bu birim kapasite farklılıkları da göz önüne alınarak çözümüne bir yaklaşım olarak genetik hibrit algoritmalar önerilmiştir [55].

Planlama dönemi toplam kapasite kısıtını kullanarak elde edilecek bir çözüm yaklaşımı ile planlama dönemi toplam kapasite kısıtını sağlayan ve toplam maliyeti minimize eden temel periyot ve ürünlerin temel periyot katsayıları ve bu değerlere bağlı olarak

sipariş kapasite miktarları elde edilir. Elde edilen katsayılara ve sipariş kapasite miktarlarına göre ürünlerin siparişleri maksimum katsayı olan planlama dönemi için manuel veya matematiksel algoritmalar ile planlanarak kapasite kısıtını kısmen veya tamamen sağlayan periyot kapasiteleri elde edilir.

Planlama dönemi kapasite kullanımı her ürünün temel periyot katsayısına ve planlama periyodu boyunca sipariş adedine göre hesaplanır. Bir ürünün sipariş den sonra diğer bir siparişe kadar kullanacağı ortalama kapasite sipariş verildiği periyot kapasite kullanımı ve sipariş verilmeden önceki kullandığı kapasitenin ortalaması şeklinde olacaktır. Bu ortalama değeri toplam planlama periyodu uzunluğu ile çarptığımızda toplam kapasite bir ürünün toplam kapasite kullanımını  $TW$  elde edilir(5.12). Denklem düzenlendiği zaman (5.13) elde edilerek toplam maliyeti (5.14) minimum yapacak ve planlanan periyot kapasite kısıtı (5.15)'i sağlayacak ( $n_i = 2^m, m \geq 0$ ) kuralını sağlayan temel periyot katsayıları ve temel periyot uzunluğu elde edilir.

$$TW = \sum_i \max(n_i) \left( \frac{w_i q \lambda_i n_i + \frac{w_i q \lambda_i n_i}{n_i}}{2} \right) \quad (5.12)$$

$$TW = \sum_i \max(n_i) q \lambda_i w_i \left( \frac{n_i + 1}{2} \right) \quad (5.13)$$

$$G(q, n_i) = \sum_{i=1} \left( \frac{K_i}{q n_i} + \frac{h_i \lambda_i n_i q}{2} \right) \quad (5.14)$$

$$\sum_i \max(n_i) q \lambda_i w_i \left( \frac{n_i + 1}{2} \right) \leq \max(n_i) * W \quad (5.15)$$

Ürünlerin temel periyot katsayılarının artarak temel periyot uzunluğunu azalması kullanılan kapasite miktarını azaltacak ve daha düşük toplam maliyet değerlerine ulaşacaktır. Fakat bu durum planlaması zor periyotlar oluşturulacağı maksimum periyot katsayısı sınırlandırılacaktır.

Örnek problem seti Excel solve programı ile maksimum periyot katsayısı ( $\max(n_i \leq 32)$ ) kısıtlanarak çözüldüğünde her ürünün temel periyot katsayısı, çevrim süresi, sipariş kapasite miktarı ve maliyetleri Çizelge 5.15 de verilmiştir. Toplam maliyet (5.16)'da ve temel periyot uzunluğu (5.17)'de verilmiştir.

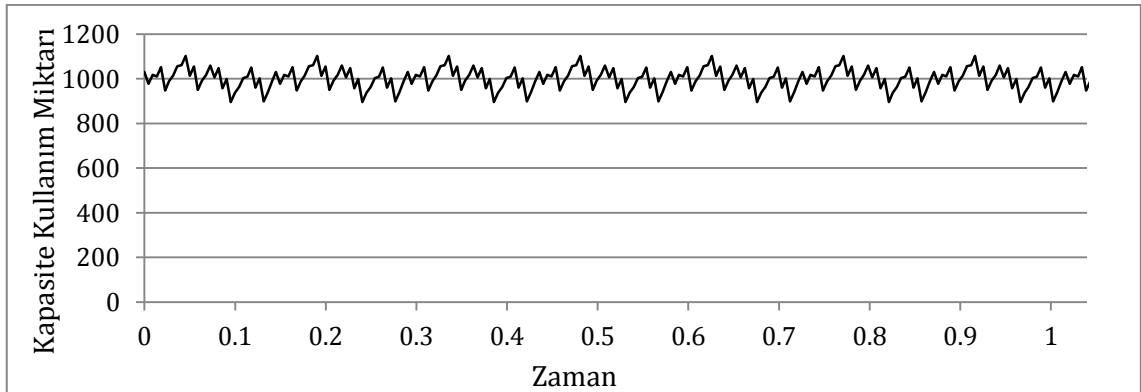
Çizelge 5.15 Kapasite kısıtlı ikinin kuvvetleri politikası çözüm sonuçları

| Ürün        | 1     | 2     | 3      | 4      | 5      | 6     | 7      | 8      | 9      | 10    |
|-------------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|
| $n_i$       | 8     | 8     | 4      | 2      | 16     | 32    | 32     | 8      | 8      | 4     |
| $T_i$       | 0,036 | 0,036 | 0,018  | 0,009  | 0,073  | 0,145 | 0,145  | 0,036  | 0,036  | 0,018 |
| $Q_i w_i$   | 50,8  | 217,8 | 290,3  | 435,5  | 58,1   | 23,2  | 81,3   | 144,0  | 246,8  | 58,1  |
| $G(q, n_i)$ | 423,1 | 685,3 | 2038,9 | 1203,0 | 2189,0 | 473,9 | 2498,3 | 8637,1 | 7824,4 | 287,6 |

$$G(q, n_i) = 26260,69 \quad (5.16)$$

$$q = 0,0045 \quad (5.17)$$

Elde edilen bu temel periyot katsayılarına göre 10 farklı ürünü siparişlerinin 32 döneme her ürünün kendi periyot uzunluklarına yani periyot katsayılarına göre ve sipariş kapasite miktarlarına göre her periyodun kapasite kullanımı minimum olacak şekilde atanması problemi EK-B'de gösterilen model ile Gams programında çözümlenerek sipariş atamaları aynı kısımda da verilmiştir ve sipariş dönemlerine ürünlerin kapasite kullanımları periyotlara dağıtılarak periyot kapasite kullanım miktarları bulunmuştur. Periyot stok dağılımlarına göre birim zamandaki kapasite dağılımı Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Maksimum kapasite kullanım miktarı  $\max(W_t) = 1102,36$  olarak 10. periyotta gerçekleşmiştir.



Şekil 5.7 Kısıtlı ikinin kuvveti politikası kapasite kullanım grafiği

Kapasite kullanımı bazı periyotlarda kapasite kısıtını aşmış bulunmaktadır. Burada toplam kapasite kullanım kısıt tam olarak mevcut kapasite kısıtı üzerinden yapılması ve ürünlerin siparişlerinin periyotlara tam eşit olarak dağıtılamamasından

kaynaklanmaktadır. Planlanan periyottaki kapasite kullanım kısıt mevcut kapasite kısıtından daha düşük bir değer alınarak mevcut kapasite kısıtı sağlanabilir.

Klasik kapasite kısıtlı ESM modeli ile karşılaştırıldığında yaklaşık olarak kapasite kısıtı sağlanırken maliyetteki sapma klasik modeldeki kadar olmamaktadır(Çizelge 5.16).

Çizelge 5.16 Kapasite kısıtlı klasik ESM ve ikinin kuvvetleri politikası karşılaştırması

|                     | Kısıtlı Klasik ESM Model | (1102,3)Kısıtlı Klasik ESM | Kısıtlı İkinin Kuvvetleri Modeli |
|---------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| Toplam Maliyet      | 30095,8                  | 28688,9                    | 26260,6                          |
| Kullanılan Kapasite | 1000                     | 1102,3                     | 1102,3                           |

### 5.5 Uygulamaların Değerlendirilmesi

Kapasite kısıtı altında ele alınan bütün modeller göz önüne alındığında önerilen modeller envanter yönetimine farklı açılardan yaklaşarak maliyette iyileşme sağlamayı amaçlamışlardır. Rasgele depolama durumuna göre kapasite kısıtı belirlenen modellerde depolama da servis seviyesi içererek zamanın belirli bir diliminde kapasite aşım riskini göz önüne alarak maliyette iyileşme sağlamışlardır. Depo servis seviyesi arttırılarak bu risk azaltılmaya çalışılabilmekle maliyette artışa neden olmaktadır. Fakat her durumda klasik kapasite kısıtı belirleme durumlarına göre daha iyi maliyet performansı gerçekleştirmişlerdir.

Koordineli sipariş politikaları maliyette çok küçük sapmalar ile kapasite kullanımı düzgünleştirilerek kapasitenin daha etkin kullanımı sağlanmıştır. Kapasite kısıtı altında ürünlerin koordine siparişi göz önüne alındığında klasik modele göre kapasitenin daha etkin kullanımı sağlanmakla birlikte mali olarak klasik modelden daha iyi performans göstermiştir.



### SONUÇ VE ÖNERİLER

Envanter yönetim modelleri genel anlamda amacı direkt ve dolaylı maliyetleri minimize faydayı maksimize edecek şekilde satın alma, sipariş, elde bulundurma ve elde bulundurmama maliyet parametreleri gibi buna benzer birçok parametreyi göz önüne alarak mevcut kısıtları sağlayacak şekilde bütün envanterlerin sipariş zaman ve miktarlarını belirlemektir. Bu noktada kullanılan modeller sistemin yapısına göre şekillenmektedir.

Yapılan çalışmada operasyonel seviyede kabul edilebilecek, lokal optimizasyon hedefleri altında anlık stok bilgisi ve kapasite kısıtlı deterministik genel bir optimizasyon ve planlama problemi ele alınmıştır. Problemin çıkış noktası kapasite kullanımı kapasite kısıtını aşan ve farklı yollarla depolamaya ve bu depolama neticesinde işlemleri aksayan bir sistemdir. Ele alınan problem farklı yönetim amaçlarına göre farklı modeller önerilerek çözülmeye çalışılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu iki modelden birincisinde kapasite kullanımında servis seviyesi kullanılarak kapasite aşımına belirli bir seviyede müsaade eden fakat kapasitenin daha etkin ve yüksek oranda kullanımını sağlayan bir amaç ele alınmıştır. İkinci siparişlerin koordinasyonu ile daha düzgün kapasite kullanımı sağlayan bir amaç ele alınmıştır. Farklı yönetim amaçlarına göre farklı maliyetler gerçekleşmiş ve her durumun performansı yönetim amacına göre değerlendirildiğinde genel modele göre daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Problem daha farklı planlama boyutlarında göz önüne alınarak uzun vadede yani stratejik düzeyde sipariş miktar ve zamanları dışında kapasite artırımı gibi stratejik

kararlar ile ilgili sonuçlar elde edilebilir. Taktik düzeyde sistemin diğer elemanları ile koordinasyon sağlanarak entegre bir envanter yönetim modeli ile istenilen kısıtlarda daha iyi maliyet performansları elde edilebilir.

## KAYNAKLAR

---

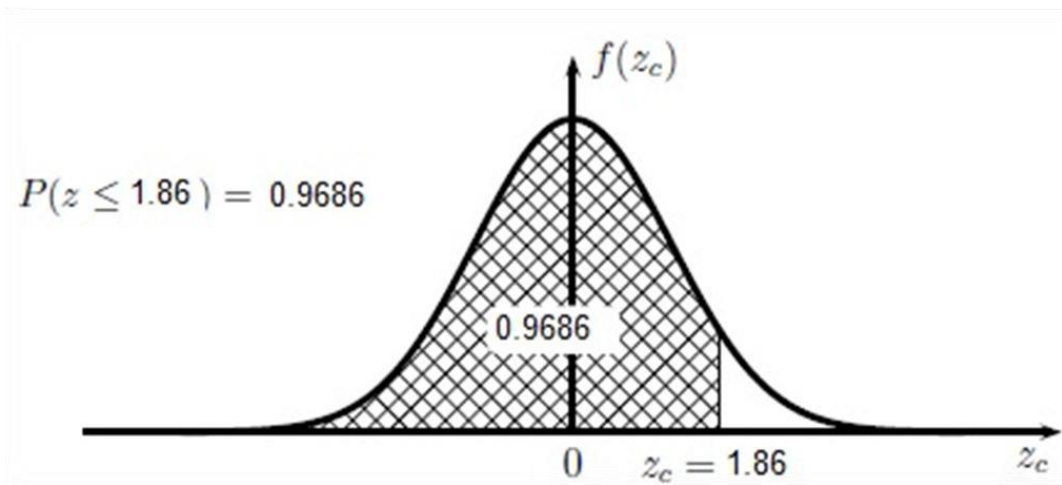
- [1] Ballou, R.H., (2004). Business Logistics: Supply Chain Management, Fifth Edition, Pearson/Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J.
- [2] Gençyılmaz, G., (1988). Stok Sistemlerinin Yönetimi I, İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi, İstanbul.
- [3] Yenersoy, G., (1990). Malzeme Yönetim Sistemleri, MAPA Yayınları, İstanbul
- [4] Nahmias, S., (2009). Production and Operations Analysis, Sixth Edition, McGraw-Hill/Irwin, New York, NY.
- [5] Özdemir, A. ve Özveri, O., (2004). “Çok kriterli stok sınıflandırılması, analitik hiyerarşi sürecinin analizini uygulanması”, D.E.Ü.İ.İ.B.F. Dergisi, 19 (2):137-154.
- [6] Zhang, R.Q., Hopp, W.J. ve Supatgiat, C., (2001). “Spreadsheet Implementable Inventory Control for a Distribution Center”, Journal of Heuristics, 7:185–203.
- [7] Syntetos, A.A., Boylan, J.E. ve Croston, J.D., (2005). “On the categorization of demand patterns”, Journal of the Operational Research Society, 56: 495–503.
- [8] Williams, T.M., (1984). “Stock control with sporadic and slow moving demand”, Journal of the Operational Research Society, 35: 939–948.
- [9] Eaves A.H.C. ve Kingsman, B.G., (2004). “Forecasting for the ordering and stock-holding of spare parts”, Journal of the Operational Research Society, 55: 431–437.
- [10] Şenyiğit, E., (2008). “Belirsiz Fiyat ve Talep Koşulları Altında Satın Alma Politikaları”, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 24:165-176.
- [11] Gümüş, A.T., (2007). Tedarik Zincirlerinde Talep ve Temin Sürelerine Duyarlı Çok Aşamalı Envanter Kararlarının İncelenmesi ve Endüstriyel Bir Uygulama, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [12] Eroğlu, A., (2002). Deterministik Stok Modelleri, Fakülte Kitabevi, Isparta
- [13] Martinich, J.S., (1997). Production and Operations Management: An Applied Modern Approach, Wiley, Kanada.

- [14] Zipkin, P.H., (2000). Foundations of Inventory Management, First Edition, McGraw-Hill, Boston.
- [15] Gökğöz, F., (2009). Stok Kontrol Yönetimi, Yayınlanmamış ders notu, Ankara Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi İşletme Bölümü, Ankara.
- [16] Tersine, R.J., (1988). Principles of Inventory and Material Management, Third Edition, Elsevier Science Publishing, New York.
- [17] Kobu, B., (2005). Üretim Yönetimi, Beta Yayınları, İstanbul.
- [18] 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 an Inventory Management, 14:64-74.
- [19] Wagner, H.M. ve Whitin, T.M., (1958). "Dynamic version of the economic lot size model", Management science, 5:89-96.
- [20] Erdoğan, K. ve Küçük, R., (2006). "Stokastik Stok Kontrol Modellerinde Güven Stoğunun Elektronik Çalışma Sayfası Yardımıyla", Analiz, 16:25-34
- [21] Demirel T., (2002). Envanter Yönetimi, Yayınlanmamış ders notu, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [22] Özçakar, N. ve Akyurt, İ.Z.,(2007). "Stokastik (R,s,S) ve Stokastik (R,S) Stok Kontrol Politikalarının Poliüretan Sektöründe Markov Karar Süreci Yardımıyla Karşılaştırılması", Yönetim, 56:10-23.
- [23] Selçuk, Ö., (2007). Stok Kontrol Yöntemlerinin İncelenmesi ve İnşaat Malzemeleri Sektöründe Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [24] Kılıç, N., (2009). Bir Mobilya Endüstrisinde Stok Kontrol Modeli Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sakarya.
- [25] Yılmaz, Ö.F., (2012). Bekleyen Sipariş Durumunda Sürekli Gözden Geçirmeye Dayalı Olasılıklı (R,Q) Stok Kontrol Modeli ve Depo Yapısı, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [26] Çokoy, B., (2013). Üretim ve Stok Kontrol Politikalarının Belirlenmesi: Plastik Sektöründe Bir uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [27] Özkan, E., (2010). Stochastic Inventory Modelling, Yüksek Lisans Tezi, OTDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [28] Tomsuk, D., (2011). Analysis Of Single And Two-Echelon Inventory Systems Under Disruption in Supply, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [29] Çınar, E., (2011). Inventory Policies Under Advance Capacity Information, Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [30] Helvaciođlu, F., (2009). Multi-Product Inventory Control Under Stock-Out Based Substitution, Yüksek Lisans Tezi, Koç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [31] Satır, B., (2010). An Analysis Of Benefits Of Inventory And Service Pooling And Information Sharing In Spare Parts Management Systems, Doktora Tezi, OTDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [32] Küçük, B., (2009). A Deterministic Demand Inventory Model With Advance Supply Information, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [33] Kaplan, R.S., (1970). "A Dynamic Inventory Model With Stochastic Lead Times", *Management Science*, 16(7):491-507.
- [34] Liberatore, M.J., (1978). "The EOQ Model Under Stochastic Lead Time ", *Operation Research*, 27(2):391-396.
- [35] Ehrhardt, R., (1983). "(s, S) Policies for a Dynamic Inventory Model with Stochastic Lead Times ", *Operation Research*, 32(1):121-132.
- [36] Zipkin, P.H., (1985). "Models For Design And Control Of Stochastic, Multi-Item Batch Production Systems", *Operation Research*, 34(1):91-104.
- [37] Song, S.S., (1994). "The Effect of Leadtime Uncertainty in a Simple Stochastic Inventory Model", *Management Science*, 40(5):603-613.
- [38] Ouyang, L.Y. ve Wu, K.S., (1996). "Mixture Inventory Model Involving Variable Lead Time With a Service Level Constraint", *Computers Operation Research*, 24(9):875-882.
- [39] Axsater, S., (1996). "Using the Deterministic EOQ Formula in Stochastic Inventory Control", *Management Science*, 42(6):830-834.
- [40] Hariga, M. ve Ben-Daya, M., (1997). "Some stochastic inventory models with deterministic variable lead time", *European Journal of Operational Research*, 113:42-51.
- [41] Güllü, R., ÖnoI, E. ve Erkip, N., (1999). "Analysis of an inventory system under supply uncertainty ", *Int. J. Production Economics*, 59:377-385.
- [42] Axsater, S. ve Zhang, W.F., (1999). "A joint replenishment policy for multi-echelon inventory control ", *Int. J. Production Economics*, 59:243-250.
- [43] Gerchak, Y., Çakanyıldırım, M. ve Bookbinder, J.H., (2000). "Continuous review inventory models where random lead time depends on lot size and reserved capacity ", *Int. J. Production Economics*, 68:217-228
- [44] Karaesmen, F., Yıldırım, I. ve Tan, B., (2005). "A multiperiod stochastic production planning and sourcing problem with service level constraints", *OR Spectrum*, 27:471-489.

- [45] Miranda, P.A. ve Garrido, R.A., (2006). "A Simultaneous Inventory Control and Facility Location Model with Stochastic Capacity Constraints", *Netw Spat Econ*, 6:39-53.
- [46] Babai, M.Z., Syntetos, A.A., Dallery, Y. ve Nikolopoulos, K., (2007). "Dynamic re-order point inventory control with lead-time uncertainty/ analysis and empirical investigation", *International Journal of Production Research*, 47(9):2461-2483.
- [47] Teunter, R.H., Babai, M.Z. ve Syntetos, A.A., (2009). "ABC Classification Service Levels and Inventory Costs", *Production And Operations Management*, 19(3):343-352.
- [48] Zufferey, N. ve Silver, A.E., (2011). "Inventory control of an item with a probabilistic replenishment lead time and a known supplier shutdown period", *International Journal of Production Research*, 49(4):923-947.
- [49] Glock, C.H., (2012). "Lead time reduction strategies in a single-vendor–single-buyer integrated inventory model with lot size-dependent lead times and stochastic demand", *Int. J. Production Economics*, 136:37-44.
- [50] Kouvelis, P. ve Tang, S.Y., (2012). "On Optimal Expediting Policy for Supply Systems with Uncertain Lead-Times", *Production And Operations Management*, 21(2):309-330.
- [51] Hausman, W.H., Schwarz, L.B. ve Graves, S.C., (1976). "Optimal storage assignment in automatic warehousing systems", *Management Science*, 22(6):629-638.
- [52] Eldemir, F., Graves, R.J. ve Malmberg, C.J., (2004). "New cycle time and space estimation models for automated storage and retrieval system conceptualization", *Int. J. Prod. Res.*, 42(22):4767-4783.
- [53] Axsater, S., (2006). *Inventory Control, Second Edition*, Springer Science Bussines Media, New York.
- [54] Doll, C.L. ve Whybark, D.C., (1973), "An Iterative Procedure for the Singe-Machine Multi-Product Lot Scheduling Problem", *Management Science*, 20:50-55.
- [55] Yao, M.J., (2010). "Solving The Joint Replenishment Problem With Warehouse-Space Restrictions Using A Genetic Algorithm", *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 24(2):128-141.

## STANDART MÜMÜLATİF NORMAL DAĞILIM TABLOSU



Çizelge EK-A.17 Standart kümülatif normal dağılım tablosu

| z   | 0      | 0,01   | 0,02   | 0,03   | 0,04   | 0,05   | 0,06   | 0,07   | 0,08   | 0,09   |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0   | 0,5000 | 0,5040 | 0,5080 | 0,5120 | 0,5160 | 0,5199 | 0,5239 | 0,5279 | 0,5319 | 0,5359 |
| 0,1 | 0,5398 | 0,5438 | 0,5478 | 0,5517 | 0,5557 | 0,5596 | 0,5636 | 0,5675 | 0,5714 | 0,5753 |
| 0,2 | 0,5793 | 0,5832 | 0,5871 | 0,5910 | 0,5948 | 0,5987 | 0,6026 | 0,6064 | 0,6103 | 0,6141 |
| 0,3 | 0,6179 | 0,6217 | 0,6255 | 0,6293 | 0,6331 | 0,6368 | 0,6406 | 0,6443 | 0,6480 | 0,6517 |
| 0,4 | 0,6554 | 0,6591 | 0,6628 | 0,6664 | 0,6700 | 0,6736 | 0,6772 | 0,6808 | 0,6844 | 0,6879 |
| 0,5 | 0,6915 | 0,6950 | 0,6985 | 0,7019 | 0,7054 | 0,7088 | 0,7123 | 0,7157 | 0,7190 | 0,7224 |
| 0,6 | 0,7257 | 0,7291 | 0,7324 | 0,7357 | 0,7389 | 0,7422 | 0,7454 | 0,7486 | 0,7517 | 0,7549 |
| 0,7 | 0,7580 | 0,7611 | 0,7642 | 0,7673 | 0,7704 | 0,7734 | 0,7764 | 0,7794 | 0,7823 | 0,7852 |
| 0,8 | 0,7881 | 0,7910 | 0,7939 | 0,7967 | 0,7995 | 0,8023 | 0,8051 | 0,8078 | 0,8106 | 0,8133 |
| 0,9 | 0,8159 | 0,8186 | 0,8212 | 0,8238 | 0,8264 | 0,8289 | 0,8315 | 0,8340 | 0,8365 | 0,8389 |
| 1,0 | 0,8413 | 0,8438 | 0,8461 | 0,8485 | 0,8508 | 0,8531 | 0,8554 | 0,8577 | 0,8599 | 0,8621 |
| 1,1 | 0,8643 | 0,8665 | 0,8686 | 0,8708 | 0,8729 | 0,8749 | 0,8770 | 0,8790 | 0,8810 | 0,8830 |
| 1,2 | 0,8849 | 0,8869 | 0,8888 | 0,8907 | 0,8925 | 0,8944 | 0,8962 | 0,8980 | 0,8997 | 0,9015 |
| 1,3 | 0,9032 | 0,9049 | 0,9066 | 0,9082 | 0,9099 | 0,9115 | 0,9131 | 0,9147 | 0,9162 | 0,9177 |
| 1,4 | 0,9192 | 0,9207 | 0,9222 | 0,9236 | 0,9251 | 0,9265 | 0,9279 | 0,9292 | 0,9306 | 0,9319 |

|            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>1,5</b> | 0,9332 | 0,9345 | 0,9357 | 0,9370 | 0,9382 | 0,9394 | 0,9406 | 0,9418 | 0,9429 | 0,9441 |
| <b>1,6</b> | 0,9452 | 0,9463 | 0,9474 | 0,9484 | 0,9495 | 0,9505 | 0,9515 | 0,9525 | 0,9535 | 0,9545 |
| <b>1,7</b> | 0,9554 | 0,9564 | 0,9573 | 0,9582 | 0,9591 | 0,9599 | 0,9608 | 0,9616 | 0,9625 | 0,9633 |
| <b>1,8</b> | 0,9641 | 0,9649 | 0,9656 | 0,9664 | 0,9671 | 0,9678 | 0,9686 | 0,9693 | 0,9699 | 0,9706 |
| <b>1,9</b> | 0,9713 | 0,9719 | 0,9726 | 0,9732 | 0,9738 | 0,9744 | 0,9750 | 0,9756 | 0,9761 | 0,9767 |
| <b>2,0</b> | 0,9772 | 0,9778 | 0,9783 | 0,9788 | 0,9793 | 0,9798 | 0,9803 | 0,9808 | 0,9812 | 0,9817 |
| <b>2,1</b> | 0,9821 | 0,9826 | 0,9830 | 0,9834 | 0,9838 | 0,9842 | 0,9846 | 0,9850 | 0,9854 | 0,9857 |
| <b>2,2</b> | 0,9861 | 0,9864 | 0,9868 | 0,9871 | 0,9875 | 0,9878 | 0,9881 | 0,9884 | 0,9887 | 0,9890 |
| <b>2,3</b> | 0,9893 | 0,9896 | 0,9898 | 0,9901 | 0,9904 | 0,9906 | 0,9909 | 0,9911 | 0,9913 | 0,9916 |
| <b>2,4</b> | 0,9918 | 0,9920 | 0,9922 | 0,9925 | 0,9927 | 0,9929 | 0,9931 | 0,9932 | 0,9934 | 0,9936 |
| <b>2,5</b> | 0,9938 | 0,9940 | 0,9941 | 0,9943 | 0,9945 | 0,9946 | 0,9948 | 0,9949 | 0,9951 | 0,9952 |
| <b>2,6</b> | 0,9953 | 0,9955 | 0,9956 | 0,9957 | 0,9959 | 0,9960 | 0,9961 | 0,9962 | 0,9963 | 0,9964 |
| <b>2,7</b> | 0,9965 | 0,9966 | 0,9967 | 0,9968 | 0,9969 | 0,9970 | 0,9971 | 0,9972 | 0,9973 | 0,9974 |
| <b>2,8</b> | 0,9974 | 0,9975 | 0,9976 | 0,9977 | 0,9977 | 0,9978 | 0,9979 | 0,9979 | 0,9980 | 0,9981 |
| <b>2,9</b> | 0,9981 | 0,9982 | 0,9982 | 0,9983 | 0,9984 | 0,9984 | 0,9985 | 0,9985 | 0,9986 | 0,9986 |
| <b>3,0</b> | 0,9987 | 0,9987 | 0,9987 | 0,9988 | 0,9988 | 0,9989 | 0,9989 | 0,9989 | 0,9990 | 0,9990 |
| <b>3,1</b> | 0,9990 | 0,9991 | 0,9991 | 0,9991 | 0,9992 | 0,9992 | 0,9992 | 0,9992 | 0,9993 | 0,9993 |
| <b>3,2</b> | 0,9993 | 0,9993 | 0,9994 | 0,9994 | 0,9994 | 0,9994 | 0,9994 | 0,9995 | 0,9995 | 0,9995 |
| <b>3,3</b> | 0,9995 | 0,9995 | 0,9995 | 0,9996 | 0,9996 | 0,9996 | 0,9996 | 0,9996 | 0,9996 | 0,9997 |
| <b>3,4</b> | 0,9997 | 0,9997 | 0,9997 | 0,9997 | 0,9997 | 0,9997 | 0,9997 | 0,9997 | 0,9997 | 0,9998 |



---

## SİPARİŞ ATAMASI PROBLEMİ MODELİ SONUÇLARI

### EK-B.1 Sipariş Atama Problemi Gams Modeli

set i ürün /1\*10/

t periyot /1\*32/

parameter n(i) i ürünü periyot katsayı

/1 8

2 8

3 4

4 2

5 16

6 32

7 32

8 8

9 8

10 4/

s(i) sipariş adedi

/1 4

2 4

3 8

4 16

5 2

6 1

7 1

8 4  
 9 4  
 10 8/  
 q(i) sipariş miktarları  
 /1 51.80  
 2 217.75  
 3 290.34  
 4 435.51  
 5 58.06  
 6 23.22  
 7 81.29  
 8 143.96  
 9 246.79  
 10 58.06/;  
 variable  
 z  
 mak;  
 binary variables  
 x(i,t);  
 equations  
 amac  
 k1(t)  
 k2(i)  
 k3(i,t);  
 amac..z=e=mak;  
 k1(t)..mak=g=sum(i,x(i,t)\*q(i));  
 k2(i)..sum(t,x(i,t))=e=s(i);  
 k3(i,t)..x(i,t)=e=x(i,t++n(i)) ;  
 model uygulama /all/  
 solve uygulama using mip minimizing z;

**EK-B.2 Gams Sonuçları**

Çizelge EK-B.18 Periyot Sipariş Atamaları

| Periyot | 1    | 2     | 3     | 4     | 5    | 6    | 7    | 8     | 9     | 10   |
|---------|------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|------|
| 1       | 50,8 |       | 290,3 |       |      |      |      |       |       |      |
| 2       |      |       |       | 435,5 |      |      |      |       |       |      |
| 3       |      |       |       |       |      |      | 81,3 |       | 246,8 | 58,1 |
| 4       |      |       |       | 435,5 |      |      |      |       |       |      |
| 5       |      |       | 290,3 |       |      |      |      |       |       |      |
| 6       |      |       |       | 435,5 |      |      |      |       |       |      |
| 7       |      | 217,8 |       |       |      |      |      | 144,0 |       | 58,1 |
| 8       |      |       |       | 435,5 |      |      |      |       |       |      |
| 9       | 50,8 |       | 290,3 |       | 58,1 |      |      |       |       |      |
| 10      |      |       |       | 435,5 |      |      |      |       |       |      |
| 11      |      |       |       |       |      |      |      |       | 246,8 | 58,1 |
| 12      |      |       |       | 435,5 |      |      |      |       |       |      |
| 13      |      |       | 290,3 |       |      |      |      |       |       |      |
| 14      |      |       |       | 435,5 |      |      |      |       |       |      |
| 15      |      | 217,8 |       |       |      |      |      | 144,0 |       | 58,1 |
| 16      |      |       |       | 435,5 |      |      |      |       |       |      |
| 17      | 50,8 |       | 290,3 |       |      |      |      |       |       |      |
| 18      |      |       |       | 435,5 |      |      |      |       |       |      |
| 19      |      |       |       |       |      |      |      |       | 246,8 | 58,1 |
| 20      |      |       |       | 435,5 |      |      |      |       |       |      |
| 21      |      |       | 290,3 |       |      |      |      |       |       |      |
| 22      |      |       |       | 435,5 |      |      |      |       |       |      |
| 23      |      | 217,8 |       |       |      |      |      | 144,0 |       | 58,1 |
| 24      |      |       |       | 435,5 |      |      |      |       |       |      |
| 25      | 50,8 |       | 290,3 |       | 58,1 |      |      |       |       |      |
| 26      |      |       |       | 435,5 |      |      |      |       |       |      |
| 27      |      |       |       |       |      |      |      |       | 246,8 | 58,1 |
| 28      |      |       |       | 435,5 |      |      |      |       |       |      |
| 29      |      |       | 290,3 |       |      |      |      |       |       |      |
| 30      |      |       |       | 435,5 |      |      |      |       |       |      |
| 31      |      | 217,8 |       |       |      | 23,2 |      | 144,0 |       | 58,1 |
| 32      |      |       |       | 435,5 |      |      |      |       |       |      |

Çizelge EK-B.19 Ürün kapasite kullanım dağılımı ve periyot kapasite kullanımları

| Periyot | 1    | 2     | 3     | 4     | 5    | 6    | 7    | 8     | 9     | 10   | Toplam |
|---------|------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|------|--------|
| 1       | 50,8 | 163,3 | 290,3 | 217,8 | 29,0 | 21,8 | 5,1  | 108,0 | 61,7  | 29,0 | 976,8  |
| 2       | 44,5 | 136,1 | 217,8 | 435,5 | 25,4 | 21,0 | 2,5  | 90,0  | 30,8  | 14,5 | 1018,2 |
| 3       | 38,1 | 108,9 | 145,2 | 217,8 | 21,8 | 20,3 | 81,3 | 72,0  | 246,8 | 58,1 | 1010,1 |
| 4       | 31,8 | 81,7  | 72,6  | 435,5 | 18,1 | 19,6 | 78,8 | 54,0  | 215,9 | 43,6 | 1051,5 |
| 5       | 25,4 | 54,4  | 290,3 | 217,8 | 14,5 | 18,9 | 76,2 | 36,0  | 185,1 | 29,0 | 947,7  |
| 6       | 19,1 | 27,2  | 217,8 | 435,5 | 10,9 | 18,1 | 73,7 | 18,0  | 154,2 | 14,5 | 989,0  |
| 7       | 12,7 | 217,8 | 145,2 | 217,8 | 7,3  | 17,4 | 71,1 | 144,0 | 123,4 | 58,1 | 1014,6 |
| 8       | 6,4  | 190,5 | 72,6  | 435,5 | 3,6  | 16,7 | 68,6 | 126,0 | 92,5  | 43,6 | 1056,0 |
| 9       | 50,8 | 163,3 | 290,3 | 217,8 | 58,1 | 16,0 | 66,1 | 108,0 | 61,7  | 29,0 | 1061,0 |
| 10      | 44,5 | 136,1 | 217,8 | 435,5 | 54,4 | 15,2 | 63,5 | 90,0  | 30,8  | 14,5 | 1102,4 |
| 11      | 38,1 | 108,9 | 145,2 | 217,8 | 50,8 | 14,5 | 61,0 | 72,0  | 246,8 | 58,1 | 1013,1 |
| 12      | 31,8 | 81,7  | 72,6  | 435,5 | 47,2 | 13,8 | 58,4 | 54,0  | 215,9 | 43,6 | 1054,4 |
| 13      | 25,4 | 54,4  | 290,3 | 217,8 | 43,6 | 13,1 | 55,9 | 36,0  | 185,1 | 29,0 | 950,6  |
| 14      | 19,1 | 27,2  | 217,8 | 435,5 | 39,9 | 12,3 | 53,4 | 18,0  | 154,2 | 14,5 | 991,9  |
| 15      | 12,7 | 217,8 | 145,2 | 217,8 | 36,3 | 11,6 | 50,8 | 144,0 | 123,4 | 58,1 | 1017,5 |
| 16      | 6,4  | 190,5 | 72,6  | 435,5 | 32,7 | 10,9 | 48,3 | 126,0 | 92,5  | 43,6 | 1058,9 |
| 17      | 50,8 | 163,3 | 290,3 | 217,8 | 29,0 | 10,2 | 45,7 | 108,0 | 61,7  | 29,0 | 1005,9 |
| 18      | 44,5 | 136,1 | 217,8 | 435,5 | 25,4 | 9,4  | 43,2 | 90,0  | 30,8  | 14,5 | 1047,2 |
| 19      | 38,1 | 108,9 | 145,2 | 217,8 | 21,8 | 8,7  | 40,6 | 72,0  | 246,8 | 58,1 | 957,9  |
| 20      | 31,8 | 81,7  | 72,6  | 435,5 | 18,1 | 8,0  | 38,1 | 54,0  | 215,9 | 43,6 | 999,2  |
| 21      | 25,4 | 54,4  | 290,3 | 217,8 | 14,5 | 7,3  | 35,6 | 36,0  | 185,1 | 29,0 | 895,4  |
| 22      | 19,1 | 27,2  | 217,8 | 435,5 | 10,9 | 6,5  | 33,0 | 18,0  | 154,2 | 14,5 | 936,7  |
| 23      | 12,7 | 217,8 | 145,2 | 217,8 | 7,3  | 5,8  | 30,5 | 144,0 | 123,4 | 58,1 | 962,4  |
| 24      | 6,4  | 190,5 | 72,6  | 435,5 | 3,6  | 5,1  | 27,9 | 126,0 | 92,5  | 43,6 | 1003,7 |
| 25      | 50,8 | 163,3 | 290,3 | 217,8 | 58,1 | 4,4  | 25,4 | 108,0 | 61,7  | 29,0 | 1008,8 |
| 26      | 44,5 | 136,1 | 217,8 | 435,5 | 54,4 | 3,6  | 22,9 | 90,0  | 30,8  | 14,5 | 1050,1 |
| 27      | 38,1 | 108,9 | 145,2 | 217,8 | 50,8 | 2,9  | 20,3 | 72,0  | 246,8 | 58,1 | 960,8  |
| 28      | 31,8 | 81,7  | 72,6  | 435,5 | 47,2 | 2,2  | 17,8 | 54,0  | 215,9 | 43,6 | 1002,1 |
| 29      | 25,4 | 54,4  | 290,3 | 217,8 | 43,6 | 1,5  | 15,2 | 36,0  | 185,1 | 29,0 | 898,3  |
| 30      | 19,1 | 27,2  | 217,8 | 435,5 | 39,9 | 0,7  | 12,7 | 18,0  | 154,2 | 14,5 | 939,6  |
| 31      | 12,7 | 217,8 | 145,2 | 217,8 | 36,3 | 23,2 | 10,2 | 144,0 | 123,4 | 58,1 | 988,5  |
| 32      | 6,4  | 190,5 | 72,6  | 435,5 | 32,7 | 22,5 | 7,6  | 126,0 | 92,5  | 43,6 | 1029,8 |

## ÖZGEÇMİŞ

---

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** :Ahmet Enver NUROĞLU  
**Doğum Tarihi ve Yeri** :30.01.1989 Trabzon  
**Yabancı Dili** :İngilizce  
**E-posta** :aenuroglu@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU

| Derece | Alan                  | Okul/Üniversite              | Mezuniyet Yılı |
|--------|-----------------------|------------------------------|----------------|
| Lisans | Endüstri Mühendisliği | Yıldız Teknik Üniversitesi   | 2012           |
| Lise   | Fen Bilimleri         | Tevfik Serdar Anadolu Lisesi | 2007           |