

766340

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BAKIM SİSTEMLERİNDE
ENVANTER YÖNETİMİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. Dilek KILIÇAY
(507011156)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 2 Eylül 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 14 Eylül 2005**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. M. Bülent DURMUŞOĞLU
Diğer Jüri Üyeleri Doç. Dr. Mehmet TANYAŞ
Doç. Dr. Tijen ERTAY**

EYLÜL 2005

ÖNSÖZ

Günümüzde tesis ve donanım daha hızlı, modern ve pahalı duruma gelmekte, bu nedenle donanımın performansını yitirmesi ve boş kalması önemli mâliyetlere neden olmakta, sonuçta bakım-onarım sistemlerinin en iyi şekilde organizasyonu daha fazla önem kazanmaktadır.

Bakım-onarım faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi, bu faaliyetlerde çalışacak işgücü ve bu personelin kullanacağı takım ve donanım aracılığıyla olmaktadır. Son ürünün bir parçası olmadığı halde üretimin devamlılığı için gerekli olan bakım malzeme ve parçalarının talep yapıları farklılık göstermektedir. Yüksek kullanım frekansı olan ucuz, kolay temin edilebilen ve standart malzemeler olduğu gibi; yavaş hareket gören ve bulundurulmaları sigorta anlamı olan gayet pahalı parçalar da bulunmaktadır. Bu tür parçaların stok kontrolleri ciddi ve araştırmaya muhtaç konulardır.

Maliyet ve üretimin devamlılığı konusunda optimum noktanın yakalanması için bakım sistemlerinde envanter yönetimi konusuna önem verilmelidir. Bu doğrultuda hazırladığım çalışmada yardım ve desteklerini esirgemeyen danışman hocam Prof.Dr. Bülent DURMUŞOĞLU'na, AKÇANSA ÇİMENTO SAN. ve TİC. A.Ş. ÇALIŞANLARINA ve AİLEME teşekkürlerimi sunarım.

Eylül, 2005

Dilek Kılıçay

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÖZET	vii
SUMMARY	viii
1.GİRİŞ	1
1.1 Bakım Yönetimine Giriş	1
1.1.1 Bakım Fonksiyonu	1
1.1.2 Temel Kavramlar	2
1.1.3 Bakım Maliyetleri ve Ekonomik Bakım Düzeyi	3
1.2 Envanter Yönetimine Giriş	5
1.2.1 Stok Kontrol Yaklaşımları	7
1.3 Çalışmanın Amacı	9
2. BAKIM SİSTEMLERİNDE ENVANTER YÖNETİMİ	11
2.1 Yayın Taraması	11
2.2 Bakım, Onarım ve Operasyonel Malzeme Stoklarının (MRO) Özellikleri	16
2.3 Bakım Parçalarının Lojistiği	19
2.4 Bakım Malzeme ve Depolarının Yönetimi	24
2.4.1 Malzeme ve Depo Kontrolü	24
2.4.2 Depoyu Kurma	27
2.4.2.1 Temel Bölümler	27
2.4.2.2 Depolama Yeri ve Düzeni	29
2.4.2.3 Parça Sökme (İng: Cannibalization)	29
2.4.2.4 Açık Depolar	30
2.4.3 Stok Seviyeleri ve Sipariş Verme	30
3. YEDEK PARÇA STOK MODELLERİ	33
3.1 Yedek Parça Stok Modellerinin Sınıflandırması	33

3.2 Probabilistik Modeller	34
3.2.1 Elde Bulundurmama Maliyetli Model	34
3.2.2 Sipariş Miktarı ve Yeniden Sipariş Noktası İçin Birleşik Hesaplama Yöntemi	37
3.2.3 Servis Seviyesi Modelleri	43
3.2.4 Periyodik İzleme Sistemleri	45
3.3 Dinamik Programlama Modeli	48
3.3.1 Dinamik Programlamaya Giriş	48
3.3.2 DP’da Probabilistik Envanter Yönetimi	49
4. UYGULAMA	53
4.1 Çimento Üretim Sistemi	53
4.2 Mevcut Yedek Parça Politikası	55
4.3 Seçilen Pilot Bölge ve Yedek Parça Özellikleri	55
4.4 Geliştirilen Uygulama Metodolojisi	58
4.5 Uygulama Sonuçları ve Değerlendirmeler	64
4.6 Bilgisayar Programı	68
5. SONUÇLAR	73
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ	77

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Bakım yönetimindeki bazı kavramlar.....	2
Tablo 2.1. Kontrol durumları ve buna bağlı strateji/politikaların sınıflandırılması	23
Tablo 2.2. Depoların altbölümleri	28
Tablo 3.1. Örnek çözümü için olasılık yapısı	36
Tablo 3.2. Örnek çözümü için ortalaması 4 olan kümülatif olasılık.....	41
Tablo 3.3. Örnek çözümü için toplam hesabı	41
Tablo 3.4. Örnek çözümü için talep dağılımı	45
Tablo 4.1. Plakalar ve soğutma sistemindeki miktarları	58
Tablo 4.2. Plaka bilgileri	58
Tablo 4.3. Son 3 yıla ait plaka taleplerinin aylara göre dağılımı	60-61
Tablo 4.4. Sipariş ve elde bulundurma maliyeti	62
Tablo 4.5. Binom olasılığı için p değerleri	64
Tablo 4.6. λ Değerleri	64
Tablo 5.1. Plaka A için (s, S) yapısı	65
Tablo 5.2. Plaka B için (s, S) yapısı	65
Tablo 5.3. Plaka C için (s, S) yapısı	66
Tablo 5.4. Plaka D için (s, S) yapısı	66

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1.1 : Bakımın çeşitli şekilleri arasındaki ilişki	3
Şekil 1.2 : Bakım maliyeti-arıza süresi ilişki grafiği	4
Şekil 1.3 : Belirsiz ve değişken tedarik ve talep arasında tampon görevi gören stok	6
Şekil 1.4 : Stok kontrol sistemlerinin bir sınıflandırması	8
Şekil 2.1 : İlgili kontrol karakteristikleri ve lojistik sistem elemanları	20
Şekil 2.2 : Parça operasyon ömrü boyunca hata olasılıkları	32
Şekil 3.1 : Geciken siparişli değişken talep	38
Şekil 3.2 : Alternatif sipariş politikaları (a) Sabit sipariş miktarlı sistem (b) Periyodik izleme sistemi	45
Şekil 3.3 : Periyodik izleme sistemi için sipariş zamanları	46
Şekil 4.1 : Çimento üretim akış şeması	54
Şekil 4.2 : Izgaralı klinker soğutucusunun genel kesiti	56
Şekil 4.3 : Soğutma plakalarından bir görünüş	57
Şekil 4.4 : Fırın çıkışı, klinker soğutma ve plakaları	57

ÖZET

Bakım sistemleri için büyük önem taşıyan bakım envanterinin iyi bir şekilde yönetimi, günümüzde şirketlerin özel olarak ilgilendiği bir konu haline gelmiştir. Makina ve ekipmanların her zaman operasyonda yada operasyona hazır bulunmaları için tutulan bu envanterin özellikle de yedek parça envanterinin maliyetlerdeki payı, birçok şirkette oldukça yüksektir. Böylesi maliyetli bir envanteri azaltmak hedeflendiğinde alınacak aksiyonlardan biri, yedek parça talebini düşürecek bir bakım politikası –toplam üretken bakım (TPM) gibi- uygulamak olabilir. Bu aksiyona zıt bir yaklaşımla, talep var kabul edilip yedek parça envanter sisteminin performansını geliştirmek ise ayrı bir aksiyondur. Bu çalışmada, yedek parça optimum stok seviyelerini belirlemek için kullanılan yöntemleri anlatmak ve uygulamak amaçlanmıştır.

İlk bölümde bakım yönetimine giriş yapılmış, bakım kavramları, önemi, çeşitleri ve maliyetinden kısaca bahsedilmiştir. Ardından envanter yönetimi konusuna değinilmiş, stok kontrol yaklaşımları özetlenmiştir. Bölüm sonunda çalışmanın amacı açıklanmaya çalışılmıştır. İkinci bölümün başında çalışmaya katkısı bulunan literatür araştırmasına yer verilmiştir. Bölümde, bakım envanterinin yapısı, lojistiği ve depolanması anlatılmıştır. Bu bölümün sonunda stok seviyeleri ve makina ömürlerine değinilmiştir. Üçüncü bölümde ise yedek parça stokları için uygulanan bazı modeller anlatılmıştır. Probabilistik modeller örneklerle açıklanmış ve dinamik programlama ile bölüm sonlandırılmıştır. Dördüncü bölümde bir çimento fabrikasındaki bazı yedek parçalar üzerinde en uygun model uygulanmış ve optimum stok ve sipariş seviyeleri bulunmaya çalışılmıştır. Son bölümde ise, elde edilen sonuçlar ve bundan sonra yapılabilecek çalışmalar hakkındaki fikirler paylaşılmıştır.

INVENTORY MANAGEMENT IN MAINTENANCE SYSTEMS

SUMMARY

To manage maintenance inventory which is essential for maintenance systems has become a popular subject that the companies are specially interested in for the last few years. This inventory -especially spare parts inventory- provides the machine and the equipment availability in operation all the time and has a big share of total cost for the most of the companies. In order to decrease this inventory levels and costs, a maintenance policy like TPM can be a first action to take which will affect spare parts inventory in progress. Contrarily, another action is to assume a demand pattern and to improve the spare parts inventory performance. In this study, it is the basic purpose to examine and exercise the methods which determines the optimal spare parts levels.

In the first section, there is an introduction to maintenance management and some definitions, importance, the types and the cost of maintenance are discussed shortly. Then inventory management and inventory control subjects take some place. At the end of the section the aim of the study are tried to explain. In the beginning of the next section literature research has been given. In this section, the characteristics of maintenance inventories, its logistics and storage are tried to tell. This section ends with inventory levels and parts lifetime. The third section is about some applied models for spare parts stocks. Probabilistic models are explained with examples and the section ends with dynamic programming. In the fourth section, the application of the best fit model for some spare parts in a cement factory and the optimum inventory and reorder levels for them are studied. In the last section, the results and the subjects for future researches are summarized.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Bakım Yönetimine Giriş

1.1.1 Bakım Fonksiyonu

Bir işletmede bulunan her türlü üretim araç ve donanımı için, ister basit ister karmaşık, ister ucuz ister pahalı olsun, daima arızalanma söz konusudur. Bu nedenle, herhangi bir üretim sisteminin etkin bir şekilde çalışması, sistemi oluşturan makinaların, yardımcı tesislerin, donanımın ve binaların bakımına bağlıdır.

Bakım, üretim proseslerinin planlanan düzeyde düzenli bir şekilde sürekliliğini sağlamak için, beklenmeyen arızaları ve muhtemel duruşları, mümkün olduğu kadar önlemek veya kontrol altına alabilmek amacıyla; tesis, makina veya ekipmanın iyi durumda, kabul edilebilir bir standartta idamesini sağlamaya yönelik yapılan işlem ve faaliyetlerdir. (Kanber, 2005)

Bakım fonksiyonunun ana hedefleri aşağıdaki gibi sıralanabilir: (Corder, 1976)

1. İşletmenin olanaklarının (tesis, makina, ekipman ve binaların) faydalı ömrünü uzatmak. Bu durum, yenisi ile değişim için sermaye kaynaklarının yetersiz olduğu özellikle gelişmekte olan ülkelerde önemlidir. Gelişmiş ülkeler için bazen değişim bakımından daha uygundur.
2. Yıpranmayı ve eskimeyi en düşük düzeye indirerek işletmenin değerini korumak.
3. Makinaların ve donanımın üretim için emre hazır sürelerini en yüksek düzeyde tutmak.
4. Mamülün kalite düzeyini koruyacak veya arttıracak şekilde işletme olanaklarının kaliteli olmalarını sağlamak.

5. Acil durumlar için bulundurulanan bütün yedek üniteler, kurtarma teçhizatı, yangın söndürme tesisatı vb. gibi donanımların çalışır durumda hazır tutulmasını sağlamak.
6. Bütün bu hedefleri yerine getirmek için yapılan çalışmalarda personelin emniyetinde herhangi bir fedakarlığa yol açmamak ve şahıs emniyetini arttırmak.
7. Bütün bu sayılanların uzun dönemde en düşük maliyetle sağlanmasını gerçekleştirmek.

1.1.2 Temel Kavramlar

Bakım yönetimiyle ilgili bazı kavramlar Tablo 1.1’de bulunmaktadır.

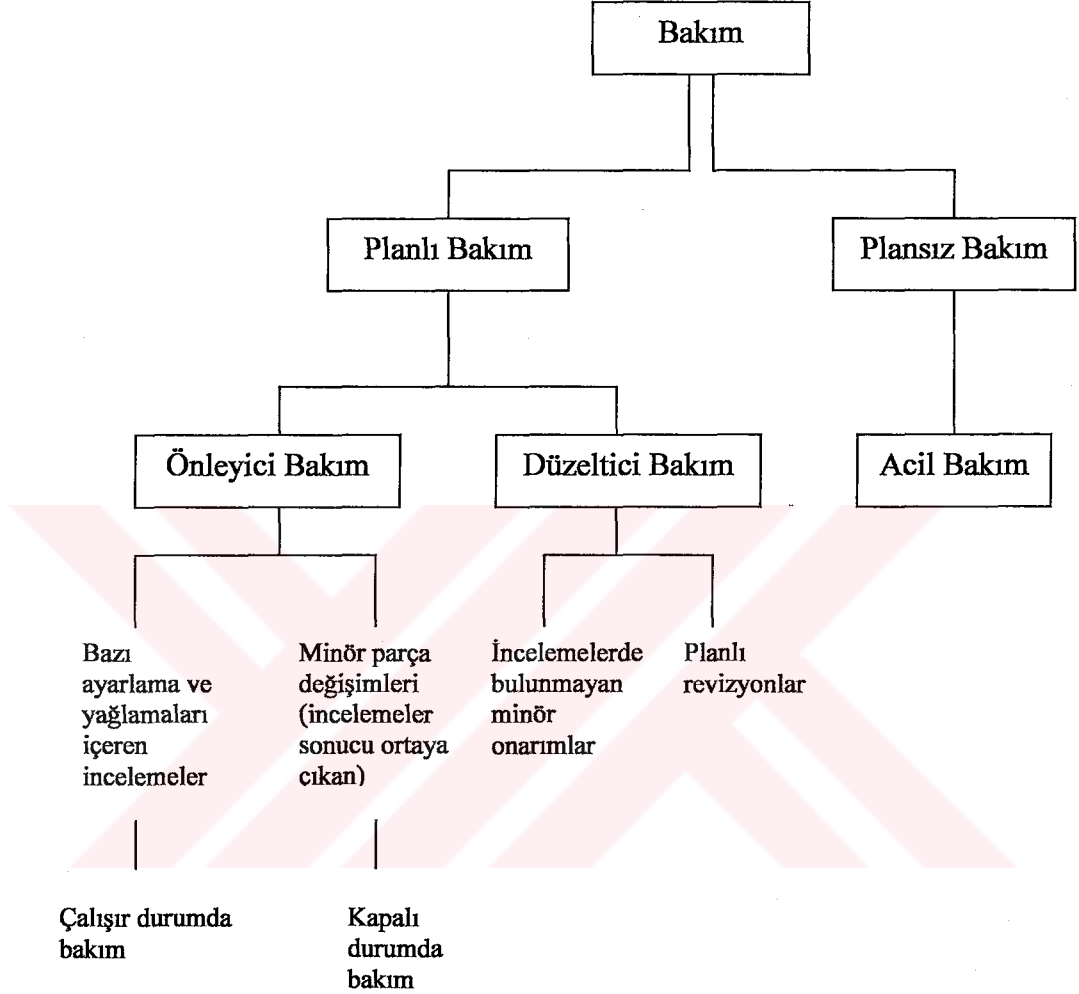
Tablo 1.1 Bakım yönetimindeki bazı kavramlar. (Corder, 1976)

Bakım (Maintenance)	Bir parçayı istenen durumunda tutmak yada bu duruma getirmek için yapılan faaliyetlerin tümü.
Acil Bakım (Emergency Maintenance)	Doğacak ciddi sonuçları önlemek için derhal yapılması gereken bakım.
Planlı Bakım (Planned Maintenance)	Önceden tasarlanmış kayıtlı bir plana göre yapılan organize edilmiş bakım.
Bozulma (Breakdown)	Parçanın kullanım dışı kalmasıyla sonuçlanan arıza.
Düzeltilici Bakım (Corrective Maintenance)	Bir parçanın istenen durumu karşılaması için yapılan, gerekli ayarlama ve onarımı içeren bakım.
Önleyici Bakım (Preventive Maintenance)	Önceden belirlenmiş aralıklarda yada başka kriterlere göre yapılan ve bir parçanın istenen durumu karşılamadığı zamanları azaltmak amaçlı bakım.
Kestirimci Bakım (Predictive Maintenance)	Gereğinde özel cihazlar kullanarak yapılan periyodik gözlem, muayene ve kayıt izleme sistemiyle makina, parça ve donanımın bakım-onarım gereksinimlerinin belirlenerek en uygun zamanda bu faaliyetlerin gerçekleştirilmesi.
Çalışır durumda bakım (Running Maintenance)	Parça çalışırken yapılabilen bakım.
Kapalı durumda bakım (Shutdown Maintenance)	Sadece parça çalışmazken yapılabilen bakım.
Revizyon (Overhaul)	Parçanın yada önemli bir kısmının etraflı incelenmesi ve istenen duruma getirilmesi.
Arıza Süresi (Downtime)	Parçanın istenen fonksiyonu yerine getiremeyecek durumda olduğu süre.

Bakım işleri iki gruba ayrılabilir:

- a) Plansız bakım
- b) Planlı bakım

Çeşitli bakım şekilleri arasındaki ilişkiler Şekil 1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Bakımın çeşitli şekilleri arasındaki ilişki. (Corder, 1976)

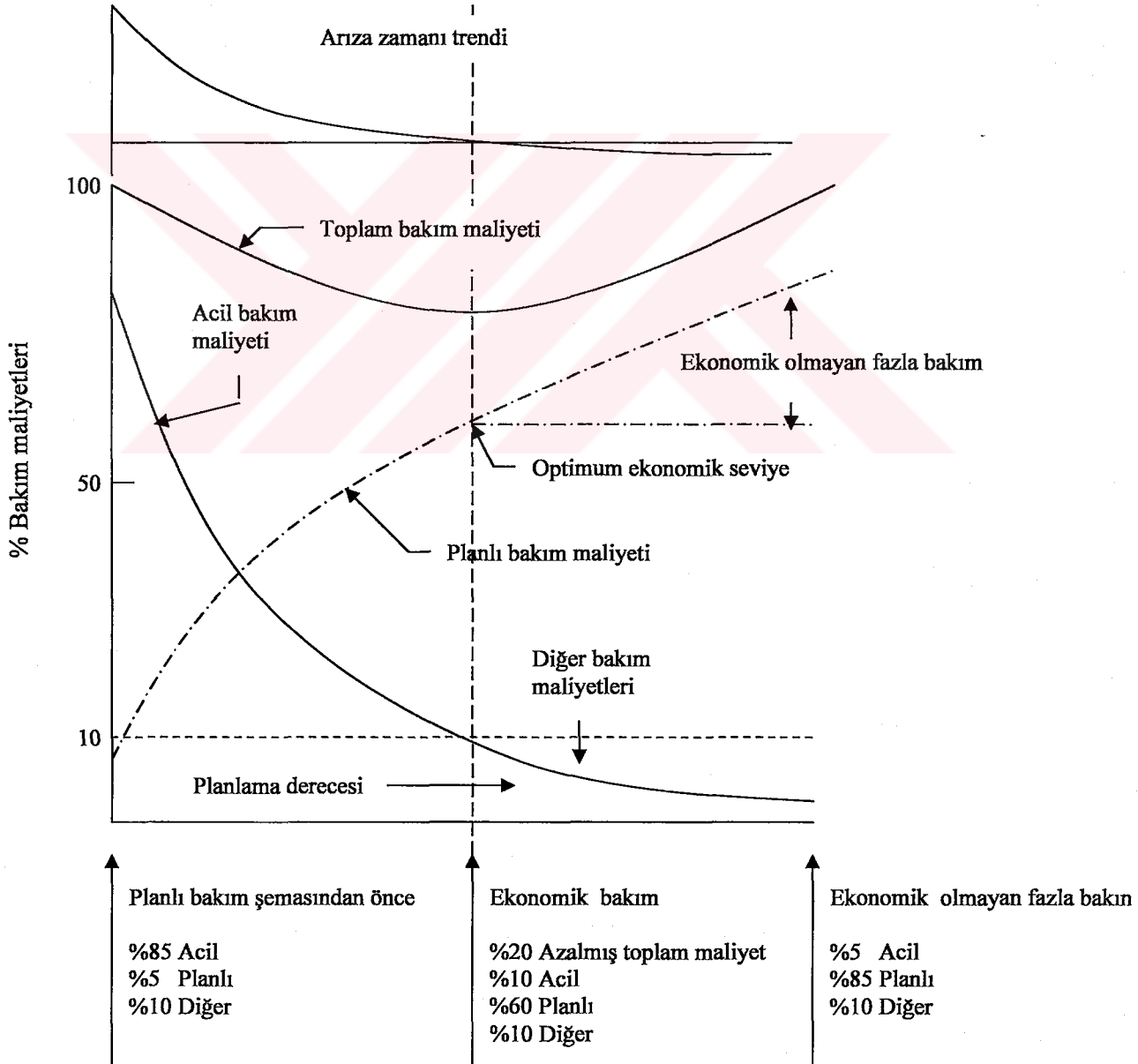
1.1.3 Bakım Maliyetleri ve Ekonomik Bakım Düzeyi

Arızı bakım maliyetleri ile planlı bakım maliyetleri, birbirine göre gerekli bakım düzeyi açısından farklı yapılara sahiptir. Bakım düzeyinin artırılması, yani muayene, yenileme, ayarlama şeklinde yapılan faaliyetlerin artırılması planlı bakım maliyetlerini artırırken, onarım maliyetlerini (arızı bakım maliyetleri) ve duruşlardan kaynaklanan üretim kaybı ile diğer dolaylı maliyetleri azaltmaktadır (Şekil 1.2).

Şekil 1.2'den görüldüğü gibi, düşük bakım düzeyinin neden olduğu maliyetler iki kısımdan oluşmaktadır. Birincisi arızı bakım maliyetleri olup, planlı bakımın

olmadığı, arıza olana dek üretim sürdürüldüğünden arıza sayısı, önemi ve maliyetinin yüksek oranda gerçekleştiği durumdur. Onarım sayısının çokluğu ve önemi fazla olduğundan makina duruşları da sayı, önem ve süre açısından artacak, bu da üretim kaybı maliyetleri ile diğer dolaylı maliyetlerde önemli artışlara neden olacaktır.

Planlı bakım düzeyinin artırılması ile onarım, üretim kaybı ve dolaylı maliyetlerde azalmalar oluşmakta, buna karşılık planlı bakım maliyetleri artmakta ancak toplam maliyet bir noktaya kadar azalmaktadır. Bu noktadan sonra ise planlı bakım maliyetlerinin fazla artması nedeniyle toplam maliyette de artma eğilimi görülmektedir.



Şekil 1.2 Bakım maliyeti-arıza süresi ilişki grafiği (Corder, 1976)

En az toplam maliyete karşılık gelen bakım düzeyi **Ekonomik Bakım Düzeyi** olarak adlandırılmaktadır. Ekonomik bakım düzeyi noktasının belirlenmesinde tüm makina ve donanım için tek tek yapılan çalışmaların bir karışımı sözkonusudur. (Tanyaş, 2001)

Ekonomik bakım düzeyi, bakım-onarım faaliyetlerinin planlanmasında gözönüne alınacak önemli bir noktadır. Ancak maliyet olarak ifade edilemeyen iş güvenliği ile ilgili bazı donanımın (insan asansörleri gibi) bakım-onarımında ekonomiklikten çok yüksek güvenilirlik düzeyinin daha önemli olacağı açıktır. Ayrıca bazı tesis ve donanımda arızı bakım, bazılarında koruyucu bakım, bazılarında ise kestirimci bakım politikaları uygulanabilir. Sorun; iş emniyeti, ekonomiklik, kullanılabilirlik ve güvenilirlik düzeylerini içine alan karmaşık bir yapıdadır.

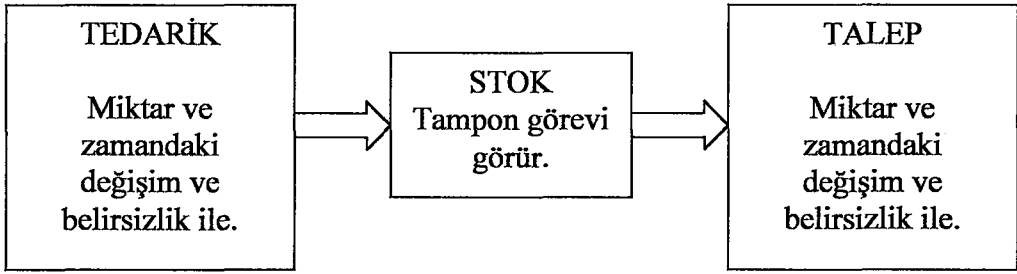
Bakım grubunun toplam maliyetlerinin takip edilip incelenmesi bakım hakkında fazla bilgi vermeyebilir. Bunun yerine değiştirilen yedek parça maliyetlerinin incelenmesi ve sarflarının analiz edilmesi daha faydalı bilgiler elde edilmesine imkan sağlar.

Yukarıdaki cümlede bahsedilen yedek parça maliyetlerinin takibi, makinenin durumu hakkında ve malzeme değiştirmenin ne zaman yapılması gerektiği hususunda çok daha faydalı bilgiler sunar.

1.2 Envanter Yönetimine Giriş

Tüm kuruluşlar kendi gereksinimleri için veya kuruluşun dışındaki müşterilere sunmak üzere envanter bulundurmaya gerekli görürler. Envanter yönetimi, hızla değişen ortamda, hammalzemedan bitmiş ürüne kadar hangi stok ve satınalma planının uygulanacağından sorumludur.

“Neden stok tutulur?” Bu soruya birçok sebep cevap olarak verilebilir, ancak en önemlisi değişken ve belirsiz olan tedarik ve talep arasında bir tampon oluşturmaktır. (Waters, 1992). Stoklar, tedarik hızı talep hızına yetişemediğinde ve talepteki belirsizliğe karşı operasyonun düzgün olarak devam etmesini sağlar. Tedarik sürecinde nakliye gecikmesi, ekipman bozulması, tedarikçi üretiminde aksama, kalitesiz malların reddi vb. kaçınılmaz birçok belirsizlik mevcuttur. Bu nedenle, stoklar tampon olarak bu değişkenlik ve belirsizliğe karşı akışı korur. (Şekil 1.3)



Şekil 1.3 Belirsiz ve değişken tedarik ve talep arasında tampon görevi gören stok (Waters, 1992)

Stok bulundurma sebepleri şöyle listelenebilir:

- Farklı operasyonlar arasında tampon oluşturmak
- Tedarik ve talep hızları arasındaki uyumsuzluk
- Beklenenden fazla yada beklenmedik talepler
- Geciken yada beklenenden az gerçekleşen teslimatlar
- Ürünlerin müşteriye iletilmesindeki gecikmeler
- Büyük siparişlerde fiyat iskontosu avantajı
- Parçaları fiyatların düşük, muhtemelen yükselecek olduğu durumlarda satınalmak
- Üretimi duracak yada bulunması güçleşecek parçaları satınalmak
- Tam kamyon yükü oluşturarak nakliye masrafını azaltmak
- Acil durumlar için emniyet sağlamak
- Operasyonu dengeli bir seviyede tutmayı sağlamak

Stokları sınıflandırmak için çeşitli yollar bulunmaktadır. Genel olarak, bir şirkette malzeme akışına göre yapılan sınıflandırma şu şekildedir: (Arnold, 2004)

- Hammalzeme stoku: Bunlar üretim sürecine henüz girmemiş, satın alınmış malzemelerdir. Çeşitli ana parçalar, alt montajlar, satın alınmış parçalar buna örnektir.
- Süreç içi stoku (WIP): İmalat sürecine girmiş; üzerinde çalışılan yada çalışma bekleyen ham malzemelerdir.
- Bitmiş ürün stoku: Üretim süreci tamamlanmış, satılmaya hazır ürünlerdir. Fabrika, merkez ambar yada dağıtım sistemindeki çeşitli noktalarda tutulabilirler.
- Dağıtım stoku: Dağıtım sisteminde yer alan bitmiş ürünlerdir.

- Bakım, onarım ve operasyonel malzeme stoku (İng: maintenance, repair and operating supplies-MRO): Üretimde kullanılan ancak ürünün bir parçası olmayan malzemelerdir. Bunlar el aletleri, yedek parçalar, kimyasallar ve temizlik malzemeleridir.

Eldeki envanter düzeyinin yüksek yada çok az olmasının yarar ve zararları vardır. Bir kere eldeki envanter az olursa, firma veya işletme her zaman stok tükenmesi ile karşı karşıya gelebilir. Stokların tükenmesinin getireceği zarar, tüketici doyumsuzluğu veya satışlarda kayıplar olarak görülür. Ayrıca elde stok az ise hammadde siparişlerinin işletmeye geç ulaşması da üretimin duraklamasına neden olur. Stokların elde bulundurulması da belirli bir maliyete neden olacağı gibi, stoklara yatırılan nakit, bir başka alana yatırılsa idi kar getirebilirdi. İşte tüm bu karşılaşılabilecek sorunların en uygun şekilde çözümü stok kontrol yaklaşımları ile sağlanmaya çalışılır. (Öztürk, 1997)

Sonuç olarak; kazancını maksimumlaştırmayı isteyen bir şirket için envanter yönetiminin amacı

- Maksimum müşteri hizmeti
- Az maliyetli tesis operasyonu
- Minimum envanter yatırımdır.

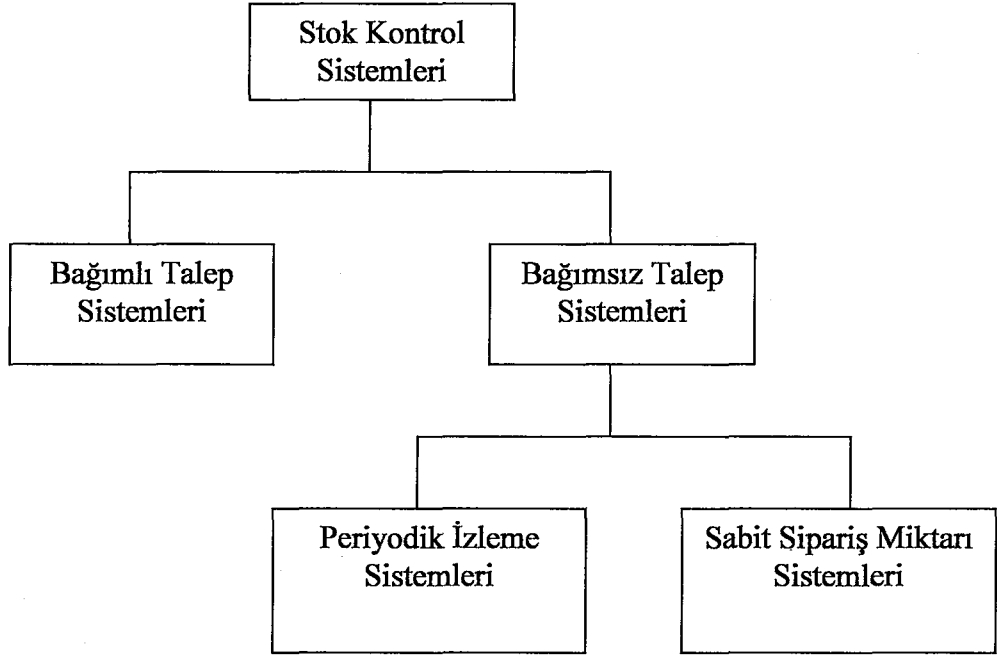
1.2.1 Stok Kontrol Yaklaşımları

Stoklar bir tampon görevi görüyorsa, stok kontrolün amacı da bu tamponu minimum maliyette tutmaktır. (Waters, 1992)

Stok kontrol, stoktaki her bir parçanın doğru miktarlarda tutulmasını sağlamaya çalışan aktivite ve prosedürlerden oluşur. İlk bakışta oldukça karmaşık görünen stok kontrol sistemleri aslında birkaç basit soru üzerine kurulur. En önemlileri:

- Hangi parçalar stoklanmalı?
- Ne zaman sipariş verilmeli?
- Ne kadar sipariş verilmeli?

Stok kontrol sistemleri çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir, talep değerlendirmesine göre yapılan sınıflandırma ikiye ayrılır (Şekil 1.4):



Şekil 1.4 Stok kontrol sistemlerinin bir sınıflandırması. (Waters, 1992)

- Bağımsız talep sistemleri:

Parça için oluşan talebin diğer parça taleplerinden bağımsız olduğu farzedilir. Bu durumda gelecek talebi tahmin etmek için geçmiş eğilimler kullanılır. Böylece stok kontrol, optimal sipariş miktarlarını ve sipariş zamanlarını bulmak için, talebi maliyetler ve diğer değişkenler ile ilişkilendiren sayısal modeller üzerine kurulur.

Bağımsız talep modelleri sabit sipariş miktarı yada periyodik izleme tekniklerini kullanır.

- Sabit sipariş miktarı sistemleri, stok belirli bir seviyeye düştüğü zamanlar sabit hacimli siparişler verir. Böyle sistemler, stok seviyelerinin sürekli izlenmesine ihtiyaç duyarlar ve pahalı parçaların düşük ve düzensiz talebi için çok uygundur.
- Periyodik izleme sistemleri, stok seviyesini belirli bir değere yükseltmek için, düzenli aralıklarla değişken hacimli siparişler verir. Bu sistemin operasyon maliyeti daha düşüktür ve az değerli parçaların yüksek ve düzenli talepleri için çok uygundur.

- Bağımlı talep sistemleri:

Parça için oluşan talebin diğer parçaların talebine direk bağlı olduğu farzedilir. Malzeme talepleri, bitmiş ürün talebine bağlı olduğunda bu durum oldukça bellidir.

Bağımlı talep sistemleri her bir parçanın talebini tahmin etmek için genellikle üretim planlarını kullanır ve bu bilinen talebi karşılamaya yetecek miktarda sipariş verir. Bu metotlar “malzeme ihtiyaç planlama” ve “tam zamanında” gibi yaklaşımlarla şekillendirilir.

Bağımlı ve bağımsız talep sistemleri farklı ortamlarda en iyi sonuçları verir. Bağımlı talep sistemleri; üretimi yürüten malzemelerin stok kontrolünde en kullanışlıdır. Maalesef, böyle sistemleri idare etmek güçtür ve henüz dar bir organizasyon çeşitliliğinde faydaları ispatlanmıştır. Bu, çoğu stokun bağımsız talep sistemleri ile kontrol edildiği anlamına gelir. Prensipde önerilen

- Bitmiş ürün ve yedek parça stokları için en uygunu bağımsız talep sistemleri
- Hammalzeme ve süreç içi stoklar için en uygunu bağımlı talep sistemleridir.

Bağımsız talep sistemlerinde, ekonomik sipariş miktarının (EOQ) belirlendiği klasik yaklaşımdan bazı varsayımlar çıkarılarak iki çeşit model elde edilir.

- Tüm değişkenlerin tam olarak bilinen değerler aldığı *deterministik modeller*
- Belirliliğin ortadan kaldırılması ile değişkenlere olasılıkların atandığı *probabilistik modeller*

Deterministik modeller maliyet ve taleplerin tamamen bilindiği, belirsizliğin olmadığı sistemlerde kullanılır. Oysa uygulamada hemen hemen her stok sistemi belirsizlik içerir. Enflasyon ile fiyatlar artar, bu bile tek başına gelecek maliyetlerde belirsizliğe neden olur. Aynı zamanda müşteri gereksinimlerindeki dalgalanmalar nedeniyle talepte de belirsizlik bulunabilir. Yine temin sürelerinde tedarikçiden ve nakliyeden kaynaklanan belirsizlik mevcuttur. Tedarik miktarlarında da red kalitede olan, nakliyede zarar gören yada beklenenden az yada çok gelen siparişler nedeniyle belirsizlik oluşur. Stok sistemlerinde belirsizlik, bir değer tam olarak bilinmemesi, ancak bilinen bir olasılık dağılımı izlemesi anlamına gelir.

1.3. Çalışmanın Amacı

Günümüzde birçok firma, benimsediği, iyi olduğunu düşündüğü bir stok politikasını tüm yedek parça stokları için uygulamaktadır. Ancak yedek parçalar talep yapıları nedeniyle farklılıklar gösterir. Hata oranları farklı olan bu parçalar için aynı politikaların uygulanması bulunabilirlik ve maliyet açısından çeşitli sorunlar

doğurabilir. Bu parçaları ayrı ayrı incelemek, hata dağılımlarını tespit edip uygun modeller belirlemek ve stok miktarlarını bu şekilde düzenlemek maliyetleri büyük ölçüde azaltabilir.

Bakım stok maliyetlerini bu şekilde azaltmak isteyen bir firmadaki sorundan hareketle, böyle bir konuda çalışma yapma fikri doğmuştur. Ancak binlerce çeşit parçanın yer aldığı yedek parça stoklarının tamamı için bu tür çalışma elverişsiz hale geleceğinden, getirisinin büyük olması açısından çalışmanın yüksek maliyetli parçalar üzerinde yapılması düşünülmüştür.

Çözüm için öncelikle bakım ve envanter yönetimi konularında genel bilgi edinilmiş, ardından stok maliyetlerinde büyük paya sahip olan özellikle yedek parça stokları üzerinde durularak, bu stokları optimum seviyede tutmaya çalışan, literatürdeki çeşitli politika ve modeller incelenmeye çalışılmıştır. Çalışmada, bulunan modeller içinden, firmaya ait bazı yedek parçaların talep yapısına en uygun modelin seçilmesi amaçlanmaktadır.

BÖLÜM 2

2 BAKIM SİSTEMLERİNDE ENVANTER YÖNETİMİ

2.1 Yayın Taraması

Bakım stokları hakkında bugüne kadar yapılan araştırmaların özetlendiği Kennedy, Patterson ve Fredendall (2002)'in çalışmasında, bu konuda ihtiyaç duyulan araştırmalara da işaret edilmiştir. Makalede, yedek parça stoklarının farklı yönleri anlatıldıktan sonra, yönetim konuları, zaman-bazlı yenilemeler, çok aşamalı problemler, eskimeye dayalı problemler, onarılabilir yedek parçalar ve özel uygulamalar hakkındaki literatür gözden geçirilmiştir. Önleyici yada planlı bakımda, yedek parça talebinin tahmin edilebilir olduğu, bu tür bakımlar için, kullanım anında gelecek parçalar sipariş etmek mümkün olduğundan onarım parçalarını stok yapmanın gerekmediği, ancak plansız onarımlarda ise, stok boşalması durumunun oldukça maliyetli üretim kaybına sebep olmasından dolayı bir miktar güvenlik stoku tutmak gerektiği anlatılmıştır. Güvenlik stoku tutulacak ise miktarının, genel yönetim politikasına, geçerliliği kalkma (modası geçme-obsoloscence) durumuna, aşamalı depo yapısına ve şartlara bağlı olduğundan bahsedilmiştir. Çalışmada, bakım stokları ile ilgili makaleler şu şekilde sınıflandırılmıştır:

- Genel makaleler: Bakım fonksiyonu ve yedek parça stoklarını belirlemek için çözülmesi gereken konuları tanımlayan makaleler.
- Organizasyon ve yedek parçaları azaltma yöntemlerini anlatan yönetim konulu makaleler
- Zaman-bazlı yenileme makaleleri
- Çok aşamalı problemleri içeren makaleler

- Geçerliliği kalkma durumunun getirdiği problemleri içeren makaleler
- Onarılabilir yedek parçalar hakkındaki makaleler
- Özel uygulamalar hakkındaki makaleler

Sueur ve Dale (1998), bakım, onarım ve operasyon malzemelerinin (MRO) eldesine dair yaptıkları bir çalışmanın bulgularını anlatmaktadır. Araştırma, satınalmanın çok önemli bir parçası olan ve hakkında çok az ampirik çalışma yapılmış MRO tedariği ile ilgili bir bilgi tabanı oluşturmaktadır. MRO malzemeleri ile ilgili problemleri tanımlamaya ve sınıflandırmaya yardım etmekte; yapılabilecek iyileştirmelere temel sağlamaktadır. Vaka çalışmasında, mevcut problemlerin izlenmeyen politikalardan, standardizasyon eksikliğinden, nerdeyse olmayan bilgi sisteminden ve bilgi transfer sisteminin yanlış yönetilmesinden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Buradan anlaşıldığı üzere; yedek parça tedarik prosesinden beklenenlerin anlatıldığı, sistemin nasıl işlediğini gösteren, basit ve etkin ölçütlerin belirtildiği, anlaşılır bir politika oluşturmak gereklidir.

Huiskonen (2001), bakım yedek parçalarının lojistiği konusunda çalışma yapmıştır. Lojistik sistem tasarımında yedek parçaların operasyonel kontrol karakteristiklerinin etkileri incelenmiştir. Yedek parçaların operasyonel karakteristiklerinin servis stratejisi ve politikalarındaki, tedarik/teslim yapısındaki, tedarik zinciri ilişkileri ve stok kontrol sistemleri üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Bakım yedek parçalarının dört tipik kontrol özelliğinin -kritiklik, belirlilik, talep yapısı ve parçaların değeri- lojistik sistem elemanları -şebeke yapısı, malzeme konumlandırma, kontrol sorumluluğu ve kontrol prensipleri- üzerindeki etkisi anlatılmaktadır. Yedek parça tedarik zincirindeki farklı tip parçaların operasyon politikaları tarif edilmektedir.

Guide ve Srivastava (1997), tamir edilip kullanıma döndürülen parçaların stok sistemlerinin tasarlanmasını konu edinmiştir. Onarılabilir stok sistemleri tipik olarak tamirinin değişiminden daha uygun olduğu, yüksek maliyetli, uzun ömürlü parçalardan oluşur. Bu tip sistemlerin geleneksel tüketim stok sistemlerinden daha karmaşık yapıları vardır. Buradaki tipik problem, optimal onarılabilir parça stoku ve çok yerleşimli bir tesis için stok yeri ile ilgilidir. Probleme eklenen diğer boyut, parçalar için onarım kapasitesinin hacmini ve yerini belirlemektir. Onarılabilir parça stok sistemlerinin tasarımında birçok zorlaştırıcı faktör bulunur, örneğin onarılabilir birimlerin dönüşü ile dengelenemeyen talep, değiştirilen birimlerin tedarik

politikasının seçimi, kullanılamazlık yada yenileme politikaları, stok durumunun (periyodik yada sürekli) izlenmesi seçimi, onarım dönüşlerinin seçimi (parti halinde yada birer), onarım politikalarının seçimi (parti halinde yada birer) gibi. Bu tür problemleri çözmek için çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir, ancak tek bir model tüm yada çoğu zorlaştırıcı faktörü tanımlamamıştır. Bu makalede, onarılabilir stoklar hakkındaki mevcut literatür tartışılmakta, önerilen çeşitli modeller ve bu modellerdeki önemli varsayımlar incelenmekte ve çözüm metodolojisine göre sınıflandırılmaktadır. Aynı amaca –arıza durumunda ekipmanın kullanılabilir hale getirilmesini sağlamak- hizmet etmelerine rağmen onarılabilir parça stoku ile yedek parça stoku aynı değildir. Yedek parçalar onarılabilir olmak zorunda değildir ve yedek problemleri, birimlerin geri dönüşünü yada tamirini hesaba katmaz. Makalede, onarılabilir parça stok çalışmaları, çözüm metodolojisi tipine göre: Optimal, Yaklaşık, Simulasyon ve Karar Destek Sistemleri (DSS) olarak sınıflandırılmıştır. Makalede ayrıca METRIC mantığı ve ondan türeyen MOD-METRIC, VARI-METRIC ve DYNA-METRIC yapıları da anlatılmıştır.

Yang ve Du (2004), operasyonda hazır bulunma ve yaşam döngüsü maliyetinde önemli etkiye sahip kritik yedek parçaların başlangıç tedarikini kolaylaştırmak için verimli ve etkili bir değerlendirme metodu geliştirmiştir. Yedek parçaların kritikliğinden ilk tedarik miktarlarını tahmin etmekte yararlanılır, böylece optimal bakım planına ulaşılır. Kritik parçaların onarım oranları analiz edilir ve onarım parçalarının dönüş süresi hesabında kullanılır. Kritiklik, başlangıç yedek parça listelerinin tam olarak çıkartılması amacıyla, her bir son parçanın önemini belirlemek için kullanılır. Yedeklerde dönüş sürelerinin etkileri tartışılır ve yedek parça kritikliği değerlendirmesine tatbik edilir. Hata Modları, Etkileri ve Kritikliği Analizi (FMECA) modifiye edilir. Sonuçlar, yedek parça kritikliğinin ve onarılabilir parçaların dönüş sürelerinin sistem maliyet-etkinlik eğrisinde önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir. Yedek parça başlangıç tedarik için sunulan prosedür ile, toplam yaşam döngüsü maliyetini azaltmak ve bakım planlamanın etkisini iyileştirmek hedeflenmiştir. Makalede yedek parça başlangıç tedarik için farklı kritiklik değerlendirme metotları sunulmuştur.

Kalchschmidt, Zotteri ve Verganti (2003) çalışmasında, farklı hacimde müşterilerin tedarik zincirinde aynı seviyede bulunduğu, çok aşamalı yedek parça tedarik zincirinde stok yönetimi için bir bütünleşik sistem tanımlamıştır. Hacim farklılıkları

talep pikleri oluşturur ve böylece çok değişken ve tümsekli bir talep yapısı belirir. Makaledeki analiz dayanıklı tüketim mallarının yedek parçaları ile ilgili bir vaka çalışmasından alınmıştır. Makale üç konuda katkı sağlar: yönetsel çözümler ve tedarik zinciri yapısı arasındaki tutarlılığın, etkin performansı arttırdığını gösterir. Farklı endüstriyel ortamlarda rastlanan bir probleme yeni bir çözüm sağlar. Son olarak da, performans iyileştiren bilgi kümelerinin sömürüldüğünü açığa çıkarır. Analizler, talep değişkenliğinin sipariş hacmindeki değişimlerden kaynaklandığını ve bunun iki durum çakışması sonucunda oluştuğunu göstermiştir. Bunlar, birçok küçük müşteriden gelen küçük siparişlerin oluşturduğu düzenli talep yapısı ve büyük müşterilerden gelen birkaç büyük siparişin oluşturduğu düzensiz talep yapısıdır. Bu iki farklı yapı için farklı talep yönetim prosesleri uygulamak gerekir. Taleplerin medyanına göre bir eşik değeri tespit edilerek yapı ikiye bölünmüş ve ayrı tahmin metodları uygulanmıştır. Alternatifler geliştirilmiş, bilgi paylaşımının gerçekleştirildiği alternatifin en iyi performansı gösterdiği görülmüştür.

Braglia, Grassi ve Montanari (2004), her çeşit yedek parça için kolaylıkla ve hızlıca uygulanabilecek bir karar destek aracı geliştirmiştir. Stok sabitleri, kayıp üretim maliyetleri, güvenlik ve çevresel amaçlar, uygulanan bakım stratejileri ve yedek parçaların lojistik özellikleri yedek parça sınıflandırmasında hesaba katılan bazı kriterlerdir, bunlardan dolayı yedek parça sınıflandırma çok nitelikli bir hale gelir. Düşünülmesi gereken potansiyel operasyonel karakteristikler fazla olduğundan, karar diyagramı, karar ağacının çeşitli seviyelerindeki çok nitelikli karar alt problemlerini çözen analitik hiyerarşi kümesi ile birleştirilir. Yedek parça stokları için en iyi kontrol stratejisini tanımlamak amacıyla, muhtemel stok yönetim politikaları uygulanmış, farklı yedek parça sınıflarını bağlayan bir stok politikası matrisi oluşturulur. Teorinin prensipleri ve bir kağıt endüstrisindeki uygulaması makalede anlatılmaktadır.

Dekker, Kleijn ve Rooij (1998), yedek parça stok sistemlerinde aynı ekipmanın (yedek parçanın) farklı kritiklikteki makinelerde kullanılıp üretim prosesi için farklı önemlere sahip olabildiği durumu incelemiştir. Bu durumda bazı taleplerin karşılanmaması büyük elde bulunmama maliyetlerine neden olabilir. Çalışmada ekipman talebinin kritikliği göz önünde bulundurularak bir model oluşturulmuştur. Bir kısım stokun kritik olan talepler için ayrıldığı bir politika izlenmiştir. Kritik ve kritik olmayan talepler için servis seviyeleri belirlenmiş, yapılan simulasyon

çalışmalarıyla bu tür stoklama sonucunda kritik taleplerin servis seviyesinin arttığı gözlenmiştir.

Chang, Chou ve Huang (2005), yedek parçalar için yine ekipman kritikliğini içeren bir (r, r, Q) stok modeli üzerine çalışmıştır. Dekker, Kleijn ve Rooij (1998)'in çalışmasını temel alan yaklaşımla Q sipariş miktarı, r yeniden sipariş noktasına eşit olan kritik seviyeyi ifade etmek üzere iki parametrelili bir politika takip edilmiştir. Model, kritik ve kritik olmayan talepleri içerecek şekilde matematiksel olarak tanımlanmış, maliyet fonksiyonunun konveks olduğu gösterilmiştir. Klasik ekonomik sipariş miktarının (EOQ) optimal sonucu vermediği, optimal sipariş miktarının ondan daha büyük olduğu kanıtlanmıştır. Nümerik bir örnekle çözüm prosedürü uygulanmış, sonuçlar değerlendirilmiştir.

Dhakar, Schmidt ve Miller (1994) makalesinde, talebi az olan ancak operasyon için kritik ve bulunmaması aşırı duruş maliyetine neden olacak önemli yedek parçaların optimal stok seviyelerini bulmak için kullanılabilecek gerçekçi bir model sunmaktadır. S 'in istenen maksimum yedek sayısı yada stok seviyesini ifade ettiği $(S-1, S)$ modelinde (temel stok – base stock), hata olan herhangi bir zamanda stok durumunu S 'e tamamlamak için derhal sipariş verilmektedir. Çalışmada üç çeşit temin süresi prosesi ile bu politika yürütülmektedir: normal onarım siparişleri, acil onarım siparişleri ve verilmiş siparişlerin hızlandırılması. Tek aşamalı tamir edilebilir yedek parça stok sisteminin incelenmesinin ardından siparişlerin hızlandırılması prosesinden bahsedilmekte, problemin simülasyon ile nasıl çözülebileceği anlatılmaktadır. Uygulama bir kağıt fabrikasındaki pahalı ve onarılabilir merdaneler üzerinde yapılmış, optimal stok seviyelerinin hesaplanabildiği tespit edilmiştir.

Walker (1997), yüksek maliyetli, az talep edilen ancak makinaların çalışması için kritik olan yenilenebilir yedek parçalar hakkında bir çalışma hazırlamıştır. Sistem ömrü boyunca büyük olasılıkla ihtiyaç duyulmayacak olan bu tür pahalı yedek parçalar “sigorta tipi” yedekler olarak adlandırılmıştır. Dhakar, Schmidt ve Miller (1994)'in çalışmasından büyük ölçüde yararlanmış bir çalışma olarak yine $(S-1, S)$ modeli uygulanmış, belirlenmiş bir servis seviyesine ve hesaplamalara göre oluşturulmuş grafiksel bir yardımla, yedek parçaların alınacak başlangıç miktarlarının tespiti kolaylaştırılmıştır.

Aronis, Magou, Dekker ve Tagaras (2004), elektronik ekipman yedek parçalarını kontrol eden bir stok sisteminde (S-1, S), talebi tahmin etmek ve uygun S parametresini belirlemek için Bayesian yaklaşımının uygulandığı bir vaka çalışması sunmuştur. Kritik stok seviyeleri; mevcut metoda, orijinal Bayesian metoduna ve iyileştirilmiş Bayesian metoduna göre hesaplanmış, istenen servis seviyelerinin daha az stokla sağlanabileceği gösterilmiştir. Sadece mevcut geçmiş bilgiyi kullanarak değil, hatanın meydana geldiği her bir zamandaki yeni bilgilere duyarlı olarak, yedek parça için daha doğru talep tahmini yapılmıştır. Hata oranları için Gamma-Poisson dağılımı kullanılmıştır.

Vaughan (2005), düzenli önleyici bakım ve rastgele arıza bakımları sırasında talep oluşan yedek parçaların stok politikasını tarif etmektedir. Her iki talep kaynağı için tek yapılı bir sipariş politikası karakterize eden stokastik dinamik bir programlama modeli kullanılmaktadır. Tamir edilmez n adet aynı parça içeren bir sistem için kurulan optimal politika, $(s(k), S(k))$ yapısındadır ve burada k bir sonraki önleyici bakım operasyonuna kalan periyot sayısıdır. $(s(k), S(k))$ politikasının yapısı nümerik değerlendirme ile anlatılmaktadır. Sipariş ve elde bulundurma maliyetlerinin farklı değerler aldığı senaryolarda optimal politikanın verimliliği hesaplanır. Buna göre, düzenli önleyici bakım ve rastgele arıza bakımları için ayrı sipariş politikalarının izlendiği duruma kıyasla toplam maliyette bu model daha ekonomik sonuçlar vermektedir.

2.2 Bakım, Onarım ve Operasyonel Malzeme Stoklarının (MRO) Özellikleri

Bir firmanın çıktılarına şekil vermek dışında tükettiği malzemeler genellikle bakım, onarım ve operasyon (MRO) malzemeleri olarak bilinir. Bir organizasyondaki MRO parça ve tedarikçilerinin sayısı çoktur, ancak parça yada tedarikçi başına ciro genellikle düşüktür ve çoğu parçalar şirkete özgüdür. (yedek parçalar) (Sueur ve Dale, 1998)

Başlıca iki çeşit MRO parça stoku talebi oluşur: (Kelley ve Schneider, 2003)

- Planlanmış ihtiyaçlar
 - Planlı bakım, temizlik veya kalite teftişlerinde kullanılan parçalar. Bu parçaların çoğu sarf malzemelerdir ve zamanla ihtiyaç miktarları tahmin edilebilir.

- İmalatçı tarafından sağlanan bilgiye dayanarak, ekipman yaşı ve ortalama hata aralığına göre ihtiyaç tahmin edilen değişim parçaları.

- Beklenmeyen ekipman hata veya kazası nedeniyle oluşan planlanmamış ihtiyaçlar.

MRO parçaların temini için hammalzeme ve diğer parça tedarikindeki aynı prensipler uygulansa da bazı ayrıcalıklar bulunur. Bunlar, üretim prosesindeki aksamaların maliyetine karşılık MRO stoklarının maliyeti ile ilgilidir. MRO alımlarının maliyetini azaltmak için çeşitli varsayımlar geliştirilmiştir: (Sueur ve Dale, 1998)

- 1) Geçerliliği kalmadığında (obsolote) kolaylıkla değiştirilebilen düşük fiyatlı ürünler kullanmak. Bu varsayımın ardındaki düşünce, bu parçaların ucuz ve stok tutma maliyetlerinin düşük olmasıdır.
- 2) Önceki maddenin tam karşısı olarak, daha pahalı ve daha iyi kalitede ürünlerin, daha az üretim/tesis aksaklıkları ve sonuçta daha az üretim kaybına yol açacağı varsayımdır. Bu varsayımın ardındaki düşünce ise yüksek satınalma ve stok tutma maliyetlerinin, üretim ve bakım proseslerindeki tasarruflar tarafından denkleştirilmesidir.
- 3) Gerekli malzemeleri standartlaştırmak, böylece stoktaki parça sayısı azalır.
- 4) Zaman-bazlı yenileme varsayımı. En basit bakım politikalarından biri önceden belirlenen süreler sonunda parçaları değiştirmektir.
- 5) Parça temin dönemleri ve fiyat konusunda tedarikçiyle anlaşma ve tedarikçi sayısının azaltılması varsayımı. Burada zaman ve parça miktarları açık bırakılır. Toplam stoklar azaltılır, düşük maliyette bulunabilirlik artırılır.
- 6) Müşteri ve tedarikçi arasında, tedarikçinin müşteri mülkündeki tüm MRO stoklarından sorumlu olduğu, müşterinin sadece tükettiklerini, tükettiği anda ödediği bir satıcı stok sözleşmesi varsayımı.

Yedek parça stokları, çeşitli yönlerden diğer imalat stoklarından farklıdır: (Kennedy ve diğ., 2002)

- 1) Fonksiyonları farklıdır.

Süreç içi stokları (WIP) üretim akışındaki düzensizlikleri gidermek için tutulur. Bu düzensizlikler ürün miksindeki değişimlerden, ekipman bozulmalarından, farklı süreçler arasındaki üretim hız farklarından, malzeme sevki veya diğer birçok şeyden kaynaklanabilir. Bitmiş ürün stokları müşterilere teslimat için kaynak sağlamak adına bulunur ve talep temin süresindeki belirsizlikler, kalite seviyesindeki farklar, tezgah üretim oranları, işgücü sıkıntıları, planlama problemleri, kapasite ve talep arasındaki farklar ve diğer bilinen üretim karakteristiklerine karşı korunmak için tasarlanır. Bununla birlikte, yedek parça stoklarının fonksiyonu, bakımıcının ekipmanı operasyon koşullarında tutmasına yardım etmektir. Yedek parçalar, müşteriye satılacak ara yada son ürün değildir.

2) Politikaları farklıdır.

Yedek parçaları yöneten politikalar, WIP yada son ürün stokunu yöneten politikalardan farklıdır. WIP ve son ürün stokları; üretim oran ve planları değiştirilerek, kalite iyileştirilerek, temin süreleri azaltılarak vb. azaltılabilir veya çoğaltılabilir. Oysa yedek parça stok seviyeleri ekipmanların nasıl kullanıldığına ve nasıl bakımının yapıldığına bağlıdır. Parçalara yapılması gereken bakım ertelenebilir yada ihmal edilebilir, bakım aksiyonlarının ilgili yedek parça stokları üzerinde direk bir etkisi vardır. Parça kullanılamaz halde ise izlenen politika parçanın kullanımını azaltmak olabilir. WIP ve bitmiş ürün stokları için ise bu tür çok az seçenek vardır.

Daha detaylı olarak ifade edilirse bakım stoklarının başlıca özellikleri:

- Müşteri kullanımından ziyade, bakım politikaları yedek parça ihtiyacını belirler. Bozuk parçanın tamir edilmesi yada değiştirilmesi kararının bakım stok seviyelerindeki etkisi önemlidir.
- Özellikle yeni ekipmanlarda, arıza zamanlarını tahmin etmek için gerekli bilgi pek mevcut değildir. Ekipman görüntüleme operatörün bir ünitenin ne zaman onarımına veya değişime ihtiyacı olacağını tahmin etmesine olanak sağlar, ancak hem pahalı hem de her ekipmana uygulanabilecek bir yöntem değildir.
- Parça arızaları genellikle bağımlıdır. Eğer bağımlılık ilişkisi bilinmiyorsa bu durum problem yaratır.
- Parça talepleri bazen diğer parça yada ünitelerin sökülmesiyle (cannibalization) karşılanır.

- Parçasız kalma durumunun maliyeti, üretim kaybı gibi genellikle hesaplanması güç niteliksel maliyetleri içerir. Ayrıca artan işçi risklerinin maliyetleri de hesaplanamamaktadır.
- Geçerliliğinin kalmaması durumu (obsolescence), yedek parça gereksinimi olan makinalar için problem olabilir. Bu tür makinalar için gerekli parça stok miktarını belirlemek zordur ve hiç kimsenin stokta tutmadığı bir parçanın değişimi de güçleşir.
- Eğer ekipman pahalıysa, onun bütün halinden ziyade parçaları stokta tutulur ve mümkünse değiştirme yerine tamirat tercih edilir.

2.3 Bakım Parçalarının Lojistiği

Yedek parça lojistiğini planlamak için gerekenler diğer malzemelerinkinden biraz farklıdır: stok boşalmasının etkisi finansal olarak yüksek olacağı için servis gereksinimleri daha fazladır, parça talepleri ara sıra gerçekleşir ve tahmin etmek güçtür, her bir parçanın fiyatı oldukça yüksektir. Bu karakteristikler yedek parça lojistik sistemleri üzerinde baskı kurar. (Huiskonen, 2001)

Yedek parça stoklarının en belirgin özelliği çok düşük talep hacmidir. Çeşitli stok modelleri içinde çok aşamalı (multi echelon) stok sistemleri, yedek parça yönetiminde sıklıkla kullanılır. Modellerde yedek parçaların operasyonel karakteristikleri olarak: gerekli sistemin kullanılabilirliği, esaslılığı, fiyatı, ağırlığı ve hacmi, pazarda bulunabilirliği, tamirin verimliliği kullanılmıştır.

Lojistik sistem tasarımında 4 eleman –strateji/politika/proses, yapı, ilişkiler ve koordinasyon/kontrol- analiz sırasında değerlendirilmeli ve planlama faaliyeti sonucunda bunlar hakkında kararlar alınmalıdır. Genelde tedarikçi ve müşterinin lojistik sistemi çok farklıdır. Oysa lojistik sistemin rolü şirketler arasında bir bağ kurmak olduğundan planlamanın beraber yapılması gerekir. Burada hem tedarikçi hem de müşteri için geçerli olacak çok genel bir yapıdan bahsedilecektir.

1) *Strateji/politika/proses elemanı* ile ne seviyede servis sunulması gerektiği, müşterilerin servis bakımından gruplandırılıp gruplandırılmaması ve öncelikleri tanımlanmaktadır. Bakımda müşterinin asıl ilgisi, parçanın bulunabilirliği ve makul fiyatlı kaliteli servisindedir.

- 2) *Ağ yapısı elemanı*, sistemdeki stok aşama sayısı ve yerlerini tanımlamaktadır. Yapısal konular, tedarik zincirindeki tipik olarak bir firma tarafından (genelde tedarikçi yada üçüncü parti servis sağlayıcı) halledilir. Bununla beraber, tedarikçi yada müşteri tarafından yönetilen stok alanları için beraber planlama yapmak gerekir.
- 3) *İlişkilerin yönetimi elemanı*, işbirliğinin derecesi, kontrol sorumluluğu, şirketler arasında risk paylaşımı gibi özellikleri tanımlar.
- 4) *Koordinasyon ve kontrol mekanizmaları elemanı* ise stok kontrol prensipleri, performans ölçümleri ve ödül sistemleri, kontrol prosedürleri uygulamak için gereken bilgi sistemlerini içerir.

Bu elemanlar birbirine sıkıca bağlıdır ve stratejik lojistik planlamada eş zamanlı değerlendirilmelidir. Sistem tasarlanırken, tedarikçi ve müşteri arasında işbirliği gereklidir ve bilgi paylaşımı çok önemlidir.

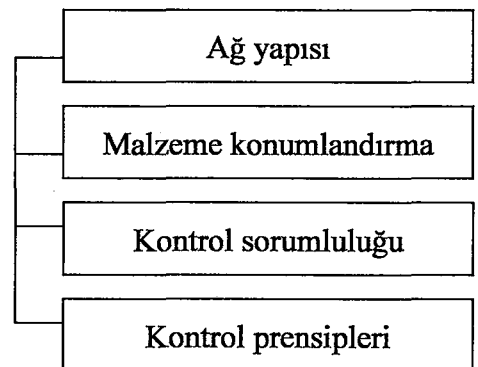
Buna göre, yedek parça lojistik sistemi şu elemanlarla karakterize edilir: tedarik zincirindeki stokların ağ yapısı, bu ağdaki malzemeleri konumlandırma, sistemdeki kontrol sorumluluğu ve malzeme akışını yönetmek için kullanılan kontrol prensipleri. (Şekil 2.1)

En ilgili kontrol karakteristiklerini bulmak için, tedarik sisteminin farklı elemanlarındaki farklı kontrol karakteristiklerinin etkileri analiz edilmelidir. Daha sonra, bu kontrol karakteristiklerinin çeşitli kombinasyonlarıyla operasyonel politikalar oluşturulur. Burada, sistemin kontrol karakteristikleri olarak kritiklikleri, belirlilikleri, talep yapıları ve değerleri alınmaktadır.

Parçaların kontrol karakteristikleri



Lojistik sistem elemanları



Şekil 2.1 İlgili kontrol karakteristikleri ve lojistik sistem elemanları (Huiskonen, 2001)

Bir parçanın *kritikliği*, prosesteki bir parça arızasının, değiştirilecek parça mevcut olmadığı durumlardaki sonuçlarına bağlıdır, bu sebeple proses kritikliği diye de bilinir. Teorik olarak, prosesin duruş maliyetleri değerlendirilerek kritiklik belirlenebilir ancak uygulamada bunu belirlemek çok zordur. Pratik bir yaklaşım olarak, arızanın giderilmesi gereken süre kritikliğe bağlanabilir. Örneğin proses kritikliği 3 derece ile belirlenir: (1) Arıza hızla giderilmeli ve yedek parça derhal temin edilmelidir. (2) Yedek parça temin edilirken, geçici düzenlemeler yapılarak kısa bir süre için arıza tolere edilebilir. (3) Arıza proses için kritik değildir ve sonra giderilebilir. Yedekler daha uzun zaman sonra temin edilebilir. Kritiklik ölçüsü olarak zamanı belirlemek sistemi kontrol etmeyi kolaylaştırır. Kritikliğin arıza sonuçlarına bağlı olmayan diğer tarafları da vardır. Durumun kontrol edilebilirliğine de kontrol kritikliği denir. Örnek olarak arızanın tahmin edilebilirliği, yedek parça tedarikçilerinin bulunabilirliği, temin süreleri vb. verilebilir. Bunlar da önemli görüldüğünde analizlerde hesaba katılabilir.

Belirlilik diğer bir kontrol karakteristiğidir. Bakım yedek parçalarının geniş spektrumu içinde, hem birçok kullanıcı tarafından kullanılan ve çeşitli tedarikçilerden temin edilebilen standart parçalar, hem de belirli bir kullanıcıya özgü parçalar bulunur. Standart parçalar için bulunabilirlik genellikle iyidir, tedarik zincirinin farklı seviyelerinde stoklar bulunur ve hacim yüksek olduğundan tedarikçiler de kullanıcıyla işbirliği yapmaya razıdır. Kullanıcıya özgü parçalar için tam tersi geçerlidir: tedarikçiler bu özel, düşük hacimdeki parçalardan stok tutmaya razı değildir, bulunabilirlik ve kontrol kullanıcıya aittir.

Parçaların *talep yapısı*, hacim ve tahmin edilebilirlik özelliklerini içerir. Lojistik zincirleri içinde yedek parçalara özgü olan özellik; çok düşük ve belirsiz talep yapısında, çok çeşit parçanın yer almasıdır. Bu özellik kontrolün daha zorlaşmasına ve diğer karakteristikler ile –yüksek kritiklik ve yüksek fiyat gibi- birleştirilmesine neden olur. Bu durum tahmin edilemeyen durumlar için güvenlik stokunu arttırmaya yol açar.

Talebin tahmin edilebilirliği; parçanın arıza prosesine, istatistiksel ortalamalarla arıza yapısı ve oranlarının değerlendirilebilmesi olasılıklarına bağlıdır.

Parçanın değeri tüm malzemeler için genel bir kontrol karakteristiğidir ve yüksek değerdeki malzemeleri stoklama lojistik zincirindeki hiçbir şirket için cazip değildir.

Yüksek değer, şirketleri stok tutmaktan başka çareler aramaya yöneltir. Stok tutmanın gerekli olduğu durumlarda stok, tedarik zincirindeki şirketlerin amaçlarına, müzakere gücüne ve işbirliğine göre şekillenir.

Parçaların kritiklik ve belirliliklerinin iki olası durumu vardır. Kritiklik için ya yüksek kritiklik, yada orta kritiklik geçerlidir. Yüksek kritiklik operasyonel olarak arıza durumunda acil gereksinim duyulanlar, orta kritiklikte parçalar ise arıza giderilmesi için biraz temin süresi kabul edilebilir olanlardır. Düşük kritiklik arıza durumunda düzeltici operasyon için herhangi bir kısıtı olmayandır, ancak burada inceleme dışı bırakılmıştır. Özel dikkat gerektirmezler, standart lojistik metotlar ile kontrol edilebilirler. Belirlilikte ise parçalar standart ve kullanıcıya özgü olarak sınıflandırılır.

Diğer iki kriter -talep hacmi ve parçaların değeri- kritiklik ve belirlilik içinde değerlendirilecektir.

Yüksek belirlilik, siparişle yaptırma (make-to-order) prensibine göre sipariş edilir, bu nedenle temin süreleri uzundur. Fiyatları yüksek, hacimleri düşük ve arasıra olma eğilimindedir. Bu tür durumlarda tedarikçiler, bir müşterinin özel ihtiyacı için stok tutmaya razı olmazlar. Bundan dolayı kullanıcı ya stok boşalması durumunu kabul etmeli yada stok tutma maliyetine sebep olsa da güvenlik stoku taşınmalıdır. Olası bir strateji, kullanıcı için özel parçaları üretebilmekte özelleşmiş güvenilir bir tedarikçi araştırmaktır. Gerekli resim ve takımları mevcut bu tedarikçi, gerektiğinde bu özel parçaları üretir, kısa temin sürelerinde teslim eder, potansiyel müşterisine siparişlerinde öncelik tanır. Büyük bir firma ve siparişlerinin çoğunu bu şirketten alan küçük bir makine atölyesi ilişkisi bu türdendir.

Standart parçalar için ise durum farklıdır. Bu iş tedarikçiler ve üçüncü parti şirketler için çok caziptir, bu nedenle çeşitli tedarikçi ve kullanıcılar mevcuttur, temin süreleri daha kısadır. Standart parçalarda ürünün kritikliğine göre farklı lojistik kontrol durumları uygulanır. Yüksek kritiklikteki parça (acil ihtiyaç) için kullanıcı, garanti açısından küçük bir lokal güvenlik stoku tutmalıdır. Parçaların başka birkaç müşterisi daha varsa tedarikçiler, müşteri kazanmak için stok tutmaya ve 24 saatte yada daha hızlı teslimat gibi özel servisler sunmaya razıdır. Bu zaman garantili teslimat, kritiklik yüksek olsa bile kullanıcının güvenlik stokunu düşürür. Bu strateji,

prosedürlerini iyi kurmuş, garantili hizmette ünlü, konusunda özelleşmiş bir yedek parça servis şirketi kullanılarak uygulanabilir.

Düşük hacim ve yüksek değerde parçalar için, birbirine yakın şirketler arasında gereken güvenlik stokunu tutan stok havuzları oluşturulabilir.

Orta kritiklikte (operasyon için zamanı olan) parçalar için kullanıcı, stok yükünü tedarikçiye yüklemeye çalışır. Özellikle yüksek değer ve düşük hacimli parçalar için bu strateji caziptir.

Parçanın değeri düştükçe basit yerine koyma yöntemleri uygulanır. Sipariş miktarları daha büyüktür ve siparişler önceden belirlenmiş sinyal seviyelerine gelince otomatik olarak verilir. Bazı durumlarda tedarikçi yerine koyma prosesinin tüm sorumluluğunu üstlenir. (VMI, vendor managed inventory uygulamaları-satıcı yönetimli envanter)

Anlatılan kontrol durumları özet olarak Tablo 2.1’de görülmektedir.

Tablo 2.1 Kontrol durumları ve buna bağlı strateji/politikaların sınıflandırılması.

(Huiskonen, 2001)

			Kritiklik	
			Düşük	Yüksek
Standart parçalar	Değer	Düşük	- Basitleştirilmiş sipariş prosesi (ör:otomatik) - Tedarikçiye stok kontrolünü yaptırma	- Kullanıcının merkezi olmayan güvenlik stokları ve büyük sipariş hacimleri
		Yüksek	- Tedarikçiye yüklenmiş stok	- Kullanıcının optimize edilmiş güvenlik stoku (yüksek ve düzgün talep yapılı) - Servis şirketinden zaman garantili tedarik (düşük ve belirsiz talep için) - Birkaç kullanıcının birleşik stok havuzları (çok az talep için)
Kullanıcıya özgü parçalar			- Kullanıcının kendi güvenlik stoku + temin sürelerini azaltmak, bağımlılığı arttırmak ve acil durumlarda öncelik almak için lokal bir tedarikçi ile işbirliği - Uzun vadede, mümkün olduğu kadar parça standardizasyonu	

Sürekli geliştirme çabaları çerçevesinde, parçaların belirlilik ve kritikliği azaltılmalı, lokal güvenlik stokları ihtiyacını azaltmak için tedarik zincirinde koordinasyon kuvvetlendirilmelidir.

2.4 Bakım Malzeme ve Depolarının Yönetimi

2.4.1 Malzeme ve Depo Kontrolü

Malzeme ve depo kontrolü, şirket bakım departmanının acil bakımı minimumda tutacak şekilde, minimum maliyette tam bir bakım hizmeti verebilmesi açısından gerekli bir konudur. Firmaların birçoğunda, bakım malzemelerinin maliyeti bu malzemelerin kullanıldığı direk işçilik maliyetinden daha fazladır. Oysa yönetim tarafından bakım malzeme ve depolarına verilen önem, bakım işçiliği yönetiminden sonra ikinci planda kalır. (Corder, 1976)

Bakım yönetiminde iyileştirmeye gidildiğinde, şirketler depolama teknikleri üzerine özel ilgi göstermelidir. Çünkü, önemli ve faydalı iyileştirmeler yapılacak alanlar bulmak olasıdır.

Üretim malzeme gereksinimlerinden farklı olarak, tesis bakımı için her parçayı stokta hazır tutmak stok maliyeti açısından mümkün değildir.

Çoğu makina imalatçısı, eğer istenirse, makinanın belli periyottaki bakımı için gereken tavsiye edilmiş yedek parça ömür çizelgesini tedarik edecektir. Makina yeni dizayn edilmiş ise bu bir tahmin çalışması yada teknik deneyim sonuçları üzerine kurulu olabilir yada imalatçının parça için aldığı müşteri kayıtları baz alınabilir. Eğer imalatçı tüm parçaları kendisi tedarik etmiyor yada seyrek olarak ediyorsa, örn: rulman, conta, kayış, zincir gibi, bu bilgi güvenilir olmayabilir.

Kendi tesis ve makinalarını işleten ve bakımını yapan ve düzenli depo kayıtları tutan firmalar, bakım malzemelerinin kullanımı hakkında bir bilgi fonu oluşturabilir ve maksimum/minimum depo stok seviyelerini ve en doğru ekonomik sipariş miktarlarını (EOQ) belirleyebilir.

Planlı önleyici bakımda amaç, istenen şekilde işletmek ve sonuç almak ise, tüm planlı-bakım programına göre doğru yedek parça, doğru zamanda mevcut olmalıdır. Eğer inceleme yada revizyon sırasında ihtiyaç duyulan yedek parça mevcut değilse

planlı-bakım incelemeleri saçma olur ve görevli bakım çalışanları hayal kırıklığına uğrattılır.

Diğer taraftan planlı önleyici incelemeler, bileşenlerinin son arızasında değiştirilmesi gereken parçaları belirler, böylece bakım planlama ve kontrolün gerekli parçaları temin etmesi için süre oluşturulur. Bu da stokların azalmasına oldukça katkıda bulunur.

Tesis geçmişinin kayıtları, tesis ve her bir makinanın performansı hakkında yönetim bilgisi ve depo stok kayıtlarının düzenli saklanmasıyla şirketin depo stok parçaları olarak tutacağı parçalar belirlenir. Bunlar hızlı hareket gören parçalar olmak zorunda değildir, eksikliği tüm üretim hattını veya prosesi durdurabilecek, ancak birkaç yılda bir arıza yapan, tesisin anahtar bir noktasına ait hayati yedek parçalar olabilir.

Akılda tutulacak prensip şudur ki, bakım deposu için önemli olan, stokun düzenli kullanım süresi değil; yokluğunda arıza süresi maliyetleri, satın alış ve stokta duruş maliyetinin kat kat üstünde olan ve muhtemelen müşteriye ürünün geç teslimine sebep olacak hayati bir yedek parçayı stokta tutma gereksinimidir. Yavaş hareket eden parçalar için bakım depoları, sigorta politikası olarak görülebilir. Mühendislik hataları veya kazaları nedeniyle muhtemelen uzayan arıza sürelerine karşı stokta yedekler bulundurulur. Sigorta politikası nedeniyle, bir makinanın rafta hiç çekilmemiş yedekleri varken hurdaya çıkarılabileceğini kimse iddia edemez. Ne kadar 'sigorta' tutulacağını değerlendirmek yönetimin maharetidir.

Bakım malzeme ve depolarında izlenmesi gereken temel kurallar aşağıdaki kontrol listesinde toplanmaya çalışılmıştır:

- 1- Hızlı hareket gören yedekler ve malzemeler ya depo stoklarında ya da karşılaştırılabilir maliyetle yerel tedarikçilerde 24 saat 7 gün mevcut olmalıdır. (eğer firma vardiya usulü çalışıyorsa)
- 2- Depolardaki yedek ve malzemelerin adlandırma ve tanımlamalarında şüpheye yer bırakmama ve adres (yer) kolaylığı.
- 3- Hızlı-ortalama hızlı hareket gören parçaların yokluğunun ve acil alım ihtiyacının seyrek olarak gerçekleşmesi.

4- Departman tarafından bakımı yapılması gereken tüm tesis, makine ve ekipmanların güncel ve ilgili yedek parça katalogları veya yedek parça ömür çizelgeleri her zaman hazır bulunmalı. Bu, rulman, conta, kayış, zincir, hidrolik ve pnömatik bileşenler gibi genel parçalar için başka referans indekslerini de içerir.

5- Tüm değersiz ve geçerliliği kalmamış (obsolote) parçaların (hizmette olmayan makinaların yedekleri) ve tekrar değerlendirilmemiş tüm kullanılmış parçaların depodan çıkarılması. Bu tür parçalar, yok etme işlemlerine kadar ayrı bir tesis deposunda tutulabilir.

6- Eğer bakım müdürü bakım depolarının idaresinden direk olarak sorumlu değilse, en azından şu konularda söz hakkına sahip olmalıdır:

- (a) Parçaların fiyat ve kalitesini içerecek şekilde neyin stoklandığı
- (b) Stok seviyelerini belirleme
- (c) Geçerliliği kalmamış, stoklama süresince kullanılamaz hale gelmiş parçaların yok edilmesi.

Bununla beraber bakım müdürü bakım bütçe ve harcamalarından sorumlu olduğundan ve malzemeler bu harcamaların en azından yarısı tutarında olduğundan, büyük firmalarda genellikle depo bölüm müdürü tarafından işletilen ve idare edilen bakım depo organizasyonunun tüm yönetim kontrolü bakım müdüründe olacak şekilde düzenlemeler yapılmalıdır.

7- Alt-montajları mı stok parçaları olarak tutmaya yada alt-montaj bakımı için yedek parçaları mı yada her ikisini mi stokta tutmaya bakım müdürü karar vermelidir.

8- Bakım depolarının yönetim işi, küçük firmalarda bile tam zamanlı iş olarak görülmelidir. Çok karşılaşılan uygulama, bakım formeninin stok siparişi ve depo idaresinden sorumlu olması ve böylece paylaşılan sorumlulukla verimsiz malzeme maliyet kontrolü, depo idaresinin rastgele bir metoda göre gerçekleşmesidir, tamamen zıddı yapılmalıdır.

9- Bireysel fabrika birimlerine bölünmüş çok büyük organizasyonlar dışında, depolar merkezileştirilmelidir ve tercihen bakım atölyelerine bitişik konumlandırılmalıdır. Genel karşılaşılan eğilim, asıl depolarda bulunmama riskine karşı kendi küçük depolarını kurmak ve çalıştırmaktır. Bu durum depo kontrol fonksiyonunun güven eksikliğinden kaynaklanır ve şirket içinde bakım-yönetim konusuna olumsuz yansır. Bu uygulamalar devam ettikçe düzenli depolama prosedürü ve malzeme kontrolü imkansızlaşır ve ilk olarak bunları ortadan kaldırmak gerekir.

10- Yeni parçalar almaktan daha ekonomik olduğu yada dış tedarikçiden yedek tedarik etmenin zor, imkansız, istenmeyen olduğu durumlarda yeniden kullanılabilir hale getirme metodu kullanılmalıdır. Bazı durumlarda firmalar özel üretim makinalarını ve depo stoklarını kendileri üretir. Yeniden kullanılabilir hale getirme ve yedek imalat hizmeti, bu talebi yapan yada sipariş veren stok kontrol tarafından gerçekleştirilmelidir.

2.4.2 Depoyu Kurma

Planlı bakım teknikleri maksimum verimlilikle uygulanmak isteniyorsa, mühendislik deposunun gelecekteki büyümelere olanak sağlayacak hacimde, uygun ısıtma, aydınlatma ve havalandırma sistemlerine sahip olması ve basit ama güvenilir bir depo kontrol tekniği oldukça önemlidir. Bakım çalışmasında gecikmelerin minimum yaşanması için, doğru parça, malzeme ve aletin temin sistemi çok önemlidir.

Önemli bir miktar şirket sermayesi depoya bağlandığı için, maksimum verim ve güvenlik aranır. Sadece depo personeli ve mühendis idareciler her zaman depoya girebilmelidir, normal çalışma saatleri dışındaki acil durumlarda depo görevlisinin vardiya düzenlemesi ile yada güvenlik personeli ile depoya erişim sağlanmalıdır.

2.4.2.1 Temel Bölümler

Depolar Tablo 2.2’de gösterildiği gibi başlıca 3 ana bölüme ayrılabilir.

Tablonun, 1 ve 2 nolu bölümlerdeki depolarda ikinci el malzemeler kullanılabilir hale getirilmediyse kesinlikle bulunmamalıdır ve her durumda depo dokümanlarına kayıt edilmelidir.

Tablo 2.2 Depoların altbölümleri. (Corder, 1976)

Ana Bölüm	Alt-bölüm	Parça örnekleri
1 Tesis yedekleri	1. Mekanik	Dişliler, kayışlar, miller, rulmanlar, contalar.
	2. Elektrik	Starter, röleler, motorlar.
	3. Hizmet	Hidrolik ve pnömatik boru tertibatları, valfler, elektrik kablo ve tertibatları
2 Sarf malzemeleri	1. Genel donanım	Cıvatalar, somunlar, zımpara kağıtları, izolasyon şeridi.
	2. Çubuk&boru stokları	Çelik düz&yuvarlak, köşebendi, pirinç, bronz
	3. Sac malzemeler	Çelik, pirinç, asbest, plastik vb.
	4. İnşaat malzemeleri	Kapı&pencere eşyası, çatı ve cephe malzemeleri (tuğla, kum, çimento, boya vb. hacimleri nedeniyle ayrı olarak stoklanır)
	5. Kimyasallar	Yağlar, gresler, kimyasallar (yangın düzenlemelerine göre ayrı stoklanmalıdır)
3 Aletler	1. El aletleri	Taşınabilir elektrik ve pnömatik aletler
	2. İşleme (kesici) takımları	Matkap uçları, torna ve freze kesicileri, taşlama çarkları
	3. Test enstrümanları ve ölçüm aletleri	Mekanik&elektrik
	4. Kaldırma gereçleri deposu	Askılar, zincirler, vinçler, merdivenler,

Depo yerleşimi elverişli ise aşağıdaki sebeplerden dolayı her bölümün tek bir binada olması tercih edilir:

1. İyileştirilmiş güvenlik
2. Depo idaresinin kolaylığı
3. Depo işgücü ekonomisi, depo görevlisinin depoda sürekli hazır bulunmasını sağlama, özellikle bakımın çok yoğun olduğu geceleri ve haftasonları.

Depodan yapılan tüm çekişler hesaplanmalıdır:

- (a) Bölüm 1 ve 2 deki yedekler ve malzemeler, normal olarak geri dönemez, çekişler depo talep kaydından hesaplanır.

- (b) Aletler, normal olarak geri dönebilir, çekişler alıcının takım kaydındaki imzasından hesaplanır.

2.4.2.2 Depolama Yeri ve Düzeni

Verimli depolama için, ihtiyaç duyulan parçayı gece veya gündüz yapılan aramalarda zaman kaybettirmeyecek şekilde yerleştirmek esastır.

Tesis yedekleri, tesis tanımlarına göre gruplar halinde yerleştirilir, ancak eğer tesis genelinde ortak kullanım fazla ise, yedekler tesis tanımından ziyade ürün grubuna göre gruplandırılır. Örneğin:

Rulmanlar, contalar, kayışlar, zincirler; elektrik lambaları, sigortalar, hidrolik ve pnömatik yedekler.

Özellikle depo sınıflandırma ve kodlama sistemi bulunmuyorsa bu metot ikilemeleri azaltır ve yerleşimi basitleştirir.

210 cm den yüksek olmayan, gözlü depo raflarının kullanımı mühendislik malzemelerini depolamak için en uygun metottur. Üst rafla tavan arasında boş alan varsa yavaş hareket eden parçalar burada depolanır. Raflardaki gözler sayı ve harfler ile adreslenir. Raf uzunlukları -raflar bina boyunca kuruluysa- maksimum 910 cm, raflar arası en az 75 cm olmalıdır.

Depo büyüdükçe malzemelerin yerini gösteren duvar şema ve tabloları gerekli hale gelir.

Her bir gözdeki en az bir malzeme etiketlenmelidir, böylece doğru tanımlama konusunda şüphe oluşmaz. Etiketler de gözlerdekine benzer tanımlamayı taşımalıdır.

2.4.2.3 Parça Sökme (İng: Cannibalization)

Acil gereken yedeklerin depoda eksikliği yaşandığında, geçici olarak görev dışı kalmış makinaların veya yeni alt-montajların sökülmesiyle parçanın sağlanmasıdır. Yönetim tarafından sıkı kontrol edildiği takdirde geçici bazda parça sökme bazen yararlıdır ve parça mevcut olur olmaz sökülmüş parça yerine konur. Bununla beraber, sıkı kontrol seyrek olarak uygulanıyorsa parça sökmenin her şeklini yasak etmek en iyisidir. Stokta olmayan istenen bir parça için yeni bir montajı sökme eğilimine tüm maliyetlerde karşı durulmalıdır, çünkü alt-montajın aynı parçasının arızaya meyili vardır. Acil durumlarda, yeni alt-montajı bütün olarak yerleştirilmeli

ve eski olan parçaları tamam olduğunda yeniden çalışır hale getirilmelidir. Alt-montaj onarımları için de yedek stoklamak ihmal edilmemelidir.

Çoğunlukla mobil araçların bakımının yapıldığı nakliye ve inşaat mühendisliği tesis ve ekipman endüstrisinde, bakım depolarının operasyonundaki aksamalar, bundan doğan parça eksikliği, benzer birimleri operasyonda tutmak için sahada bekleyen yedeklerin kontrolsüz sökülümüyle sonuçlanır. Tesis ve nakliye bakımındaki bu metot açıkça sermaye kaynaklarının imhasıdır ve terk edilmesi gereken bir uygulamadır.

2.4.2.4 Açık depolar

İyi bilinen 80/20 kuralı, “depoya bağlanan paranın %80’i siparişlerin %20’sine harcanır ve geri kalan siparişler harcamaların sadece %20’si tutarındadır” şeklinde bakıma uygulanabilir. Örneğin, az miktarlarda bağlama elemanları ve bunlara bağlı donanımları ‘açık depo’ bazında atölyelerde hazır bulundurma, sarf edilen miktarların maliyeti, depolardan çekiş için harcanacak işçilik maliyeti ve kağıt üzeri çalışma maliyetinden daha az olduğundan genel bir uygulamadır.

2.4.3 Stok Seviyeleri ve Sipariş Verme

Maksimum ve yeniden sipariş stok seviyeleri; stok kontrolcüsüyle, bakım müdürü tarafından yürütülen onarım politikası doğrultusunda çalışan planlı bakım kontrolcüsünün yakın işbirliği sonucu belirlenmelidir.

Stok kontrol aşağıdaki durumlarda satınalma siparişi verir:

- 1) Seviyeler belirlenmiş ise, yeniden sipariş seviyesine düşen stok parçalarını yenileme.
- 2) Yeniden sipariş seviyeleri belirlenmemişse deponun yenilenmesi. Ya parça daha önce hiç çekilmemiştir (muhtemelen başlangıç seviyesinde), ve birkaç talep tecrübe edilmeden bir maksimum/minimum seviye belirlemek erkendir.

Not edilmelidir ki, maksimum yada minimum stok olarak 1 olması oldukça normaldir. Bir parça çekildiğinde, bir parçalık siparişle yeri doldurulur: bu durum özellikle kullanım süresi kısa ve öngörülemez yada parça pahalı olduğunda uygundur. Aşağı çekilmesi gereken stok, tüm ilgili depo kontrol dokümanlarında ‘sipariş vermeyin’ ifadesiyle işaretlenmelidir.

3) Stok parçalarından karşılanamayan talepler. Bu tür siparişler, kısa teslim süresi için (parça siparişi), gecikmiş teslim için, normal olmayan büyük alımlar için olabilir veya yeniden sipariş seviyesine varıldığında yapılmış basit sipariş hatasından doğabilir. Böyle örnekler öncelikle giderilmeli, maksimum/minimum seviyelerini değiştirme önerisi, bunu şartlara bağlı olarak düşünecek olan planlı bakım kontrolcüsüne rapor edilmelidir.

4) Önceden stoklanmayan yedekler ve malzemeler için talep.

5) Dış yükleniciler tarafından ekipmana hizmet onarımları.

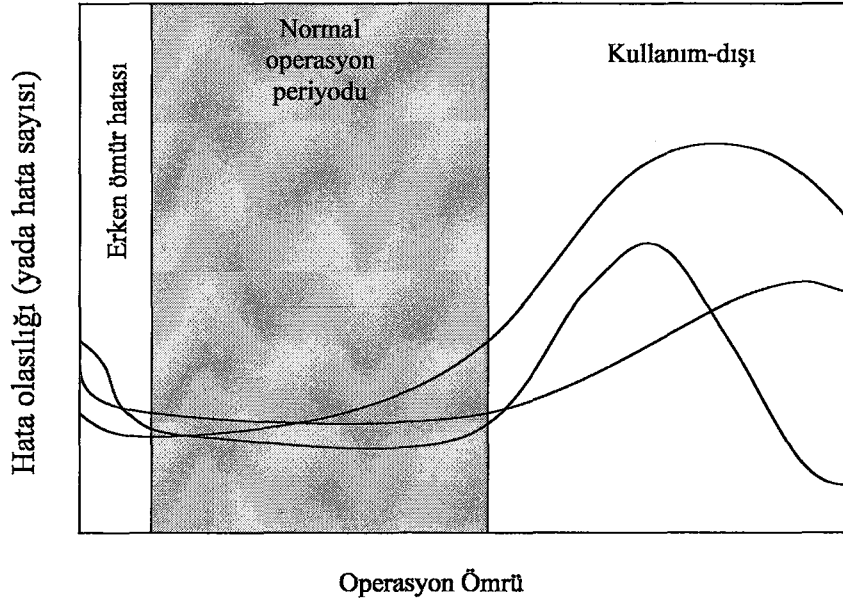
Makine ve parçaların ne zaman değiştirileceği ve ne kadar yedek tutulacağı konusunda kararlar önceden alınmalıdır. Tamir edilebilir olsun yada değişim gerekli olsun, bu tür problemlerdeki temel analiz hemen hemen aynıdır. Her iki durumda da hata yapısını anlamak yardımcı olacaktır. (Schonberger ve Knod, 1994)

Şekil 2.2 genel hata olasılık yapılarından üç örnek göstermektedir. her biri farklı makina yada parçayı temsil eder. Hata birden olabilir yada performansın azalmasıyla kendini belli edebilir.

Dik eksen sıklıkla 0 ila 1 arası olasılıktır yada hata oran/ sayısını da gösterebilir. Şekilde üç zaman aralığı tanımlıdır. İlki erken hata bölgesidir, düzensiz kurulumdan kaynaklanan hataları temsil eder yada parça tamir edilebilir parça ise düzensiz bakımı ifade eder. Yeni parçalar için sevk öncesi deneme çalıştırmaları müşteri için erken hataları azaltacaktır.

Sonraki bölge normal operasyonlardır, bazen düzenli durum (steady state) operasyonları diye de adlandırılır. Hata olasılığı burada en azdır. Sonuç olarak, hayatta kalan parçalar kullanım dışı olma bölgesine girer, burada hata olasılığı artar ve sonra keskin olarak düşer. Bununla beraber, dengesizlik genellikle asıl karakteristiktir. Normal ve kullanım dışı bölgede, bazen hata kötüleşmeyle azalır, yani ekipman tam yükünden daha az yükte yada normalden daha iyi şartlar altında çalışmaktadır.

Aynı tipten birçok parçanın kullanıldığı ortamlarda, hata yaptıklarında birer birer değiştirmek yerine grup değişimi düşünülebilir. Bunun için hata-oran bilgisine ihtiyaç vardır.



Şekil 2.2 Parça operasyon ömrü boyunca hata olasılıkları. (Schonberger ve Knod, 1994)

BÖLÜM 3

3 YEDEK PARÇA STOK MODELLERİ

3.1 Model Çeşitleri

Üretim tesislerinin artan verimliliği makina arızalarının minimizasyonunu gerektirir. Bozulma meydana geldiğinde arıza zamanını kısaltması açısından, yedek parça bulunabilirliği ve hızlı tedariki en önemli faktörlerden biridir. O halde, yedek parça bulunabilirliği için mantıksal çözüm: ihtiyaç olduğunda derhal sağlamak için bol miktarda stok tutmaktır. Diğer taraftan, stoklama yer ve maliyetle sınırlıdır. Bu nedenle, yedek parça stoklarının optimal durumda tutulması her bir üretim müdürü için kritik ve önemli bir konudur. (Braglia ve diğ., 2004)

Yedek parça stok yönetimi ile ilgili modeller; (S-1,S), METRIC esaslı modeller, alt parçalı yada parçasız, sürekli izleme modelleri, periyodik izleme modelleri ve kuyruk modelleridir.

Kısaca, yedek parça tedariki karar modeli geliştirmek için iki ana yaklaşım bulunur:

- (1) Matematiksel modeller
- (2) Sınıflandırma yaklaşımları

İlk yaklaşım lineer programlama, dinamik programlama, hedef programlama, simülasyon vb. üzerine kurulu matematiksel modelleri içerir. Geçmişte benzer yaklaşımlar incelenmiş ve çeşitli stok modelleri geliştirilmiştir. Sherbrooke (1968) tarafından geliştirilen METRIC (İng: multi-echelon technique for recoverable item control) modelinden başlayarak, yedek parça yönetim probleminin farklı yönlerini içeren bazı araştırmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar genellikle, ekonomik sipariş

miktarı, yeniden sipariş seviyesi, emniyet stoku vb. ile ilgili stok maliyetleri ve servis seviyesinin matematiksel optimizasyonu üzerine konsantre olmuştur. Maalesef, bu metodolojilerin çoğu çok kompleks, özet ve basitleştirilmiştir. Bundan dolayı bakım müdürü için kullanışlılığı azalmıştır. Ayrıca, bu modeller geçerliliğin kalkması (obsolescence), parçanın standart karakteristikleri, tipi ve tedarikçinin kalitesi gibi bazı (soyut) ek faktörleri hesaba katmaz.

Yedek parça yönetim aracı olarak sınıflandırma şemalarının kullanımı, endüstriyel dünyada popüler bir yaklaşımdır. Yedek parça stok yönetim problemlerini yönetmek için en çok bilinen ve kullanılan sınıflandırma şeması Pareto prensibine göre ABC analizidir. Yedek parçaların kritiklik sınıflandırması genellikle şirketin geçmiş datalarından çıkartılan idari verimlilik hesaplamaları (stok maliyetleri, kullanım oranları vb.) üzerine kuruludur. Modern üretim planlama yazılım paketleri (ör:ERP) benzer analizleri kolaylıkla ve operasyonda kaybedilen daha az zamanla yapabilir. Bu analizlerde, çeşitli parçalar için aşırı stoklar, geçerliliği kalkma durumları veya stok boşalması problemleri hesaba katılır.

Maalesef bu yaklaşımlar da, farklı tip parçaların potansiyel kontrol parametrelerini ayırmanın mümkün olmadığı, tek boyutlu (ör: klasik ABC analizi) veya iki boyutlu sınıflandırma şemaları üzerine kuruludur. Bu kısıtı yenmek için, bazı yazarlar birbiriyle ve heterojen birimlerle (başka bir birim ile direk olarak karşılaştırılamayan tek nitelikli birim) çatışan çoğul faktörleri yönetebilen çok nitelikli yeni sınıflandırma modelleri geliştirmiştir.

Bu bölümde, yedek parça stokları için yukarıda özetlenen dezavantajlarına rağmen uygun ve bilinen bazı stok modelleri anlatılmaya çalışılacaktır.

3.2 Probabilistik Modeller

Bölüm 1’de de kısaca bahsedilen probabilistik modellerde talep yapıları kesikli veya sürekli olabilmektedir.

3.2.1 Elde Bulundurmama Maliyetli Model

Yedek parça stok sistemi için Waters (1992) tarafından geliştirilen modelde aşağıdaki varsayımlar göz önünde bulundurulur:

- Bilinen bir olasılık dağılımını izleyen parçanın kesikli talebi

- Nispeten küçük talepler ve düşük stok seviyeleri
- Bir parça kullanıldığında yerine bir birim koyma politikası
- Optimum stok miktarını bulma amacı

Bu analizde optimal sipariş miktarını değil optimal stok seviyesini bulmak amaçlanmaktadır. Bu şartlar altında satın alınan ancak asla kullanılmayan birimler ile elde bulunmayan birimlerin maliyetlerini dengeleyen bir modele ihtiyaç vardır. Şu ilişkilerle başlanabilir:

- Talep, D , tutulan stok miktarından, A , az olduğunda, kullanılmayan birimler için elde bulundurma maliyeti söz konusudur. Bu birim zaman için $(A - D) * HC$ dir.
- Talep, A 'dan fazla olduğunda karşılanmayan talep için elde bulunmama maliyeti vardır. $(D - A) * SC$ dir

A birimi elde bulundurmanın beklenen toplam maliyeti, $TEC(A)$

$$TEC(A) = HC * \sum_{D=0}^A Prob(D) * (A - D) + SC * \sum_{D=A+1}^{\infty} Prob(D) * (D - A) \quad (3.1)$$

Stoktaki miktar A yerine $A + 1$ ise maliyet,

$$TEC(A + 1) = HC * \sum_{D=0}^{A+1} Prob(D) * (A + 1 - D) + SC * \sum_{D=A+2}^{\infty} Prob(D) * (D - A - 1) \quad (3.2)$$

Benzer olarak stok seviyesi A yerine $A - 1$ ise maliyet,

$$TEC(A - 1) = HC * \sum_{D=0}^{A-1} Prob(D) * (A - 1 - D) + SC * \sum_{D=A}^{\infty} Prob(D) * (D - A + 1) \quad (3.3)$$

O halde optimal stok seviyesi, A_0 için

$$TEC(A_0) \leq TEC(A_0 + 1) \text{ ve } TEC(A_0) \leq TEC(A_0 - 1) \text{ yazılabilir.} \quad (3.4a \text{ ve } 3.4b)$$

Yukarıda bulunan değerleri yerine konulur ve birkaç düzenleme yapılırsa

$$\sum_{D=0}^{A_0-1} Prob(D) \leq \frac{SC}{HC + SC} \leq \sum_{D=0}^{A_0} Prob(D) \quad (3.5)$$

$$\Pr ob(D \leq A_0 - 1) \leq \frac{SC}{HC + SC} \leq \Pr ob(D \leq A_0) \quad \text{bulunur.}$$

Örnek:

Bir yedek parça deposu bir birim parçanın bir aylık elde bulundurma maliyetini £50 olarak tahmin etmektedir. Parça yok iken üretim aksamakta ve birim başına aylık £1000 mal olmaktadır. Son birkaç ayda aşağıdaki veriler toplanmıştır

Parça talebi:	0	1	2	3	4	5
Aylık oranlar:	0.8	0.1	0.05	0.03	0.015	0.005

Bu parça için optimal stok seviyesi nedir?

Çözüm:

Verilenler $SC = £1000$ parça başına aylık

$HC = £50$ parça başına aylık

Talep verilerinden Tablo 3.1 oluşturulursa:

Tablo 3.1 Örnek çözümü için olasılık yapısı

Stok seviyesi, A :	0	1	2	3	4	5
$\Pr ob(D = A)$:	0.8	0.1	0.05	0.03	0.015	0.005
$\Pr ob(D \leq A)$:	0.8	0.9	0.95	0.98	0.995	1.00

Optimal stok seviyesi, A_0 aranmaktadır

$$\Pr ob(D \leq A_0 - 1) \leq \frac{SC}{HC + SC} \leq \Pr ob(D \leq A_0) \quad (3.5)$$

$SC/(HC + SC) = 1000 / (1000 + 50) = 0,952$ dir. Bundan dolayı kümülatif olasılığı bu değere en yakın iki bitişik değer aranır. Bu durumda eşitsizliği sağlayan $A_0 = 3$ olarak bulunur.

$$\Pr ob(D \leq 2) \leq \frac{1000}{1050} \leq \Pr ob(D \leq 3)$$

$$0.95 \leq 0.952 \leq 0.958$$

Bu analiz elde bulundurmama maliyetinin (SC) bilinmesi üzerine kuruludur. Çoğunlukla bunun için güvenilir değerler bulmak zordur, ancak güncel uygulama göz önünde bulundurularak elde bulundurmama maliyeti hesaplanabilir. Örneğin

yukarıdaki örnekte gerçekte tutulan stok miktarı 4 olduğu kabul edilip tersten çalışma yapılırsa yokluk maliyeti hesaplanır.

Gerçek stok, A biliniyor, 4 yerine konursa:

$$\text{Prob}(D \leq A - 1) \leq \frac{SC}{HC + SC} \leq \text{Prob}(D \leq A)$$

$$\text{Prob}(D \leq 3) \leq \frac{SC}{50 + SC} \leq \text{Prob}(D \leq 4)$$

yada

$$0.98 \leq SC / (SC + 50) \leq 0.995$$

$$49 + 0.98 * SC \leq SC \leq 49.75 + 0.995 * SC$$

$$2450 \leq SC \leq 9950 \quad \text{bulunur.}$$

Bu sonuç yokluk maliyetinin aylık birim başına £2450 ile £9950 aralığında olduğunu ifade eder. Bu oldukça geniş bir aralık olmasına rağmen, değerler daha güvenilir verilere ulaşana kadar temel olarak kullanılabilir.

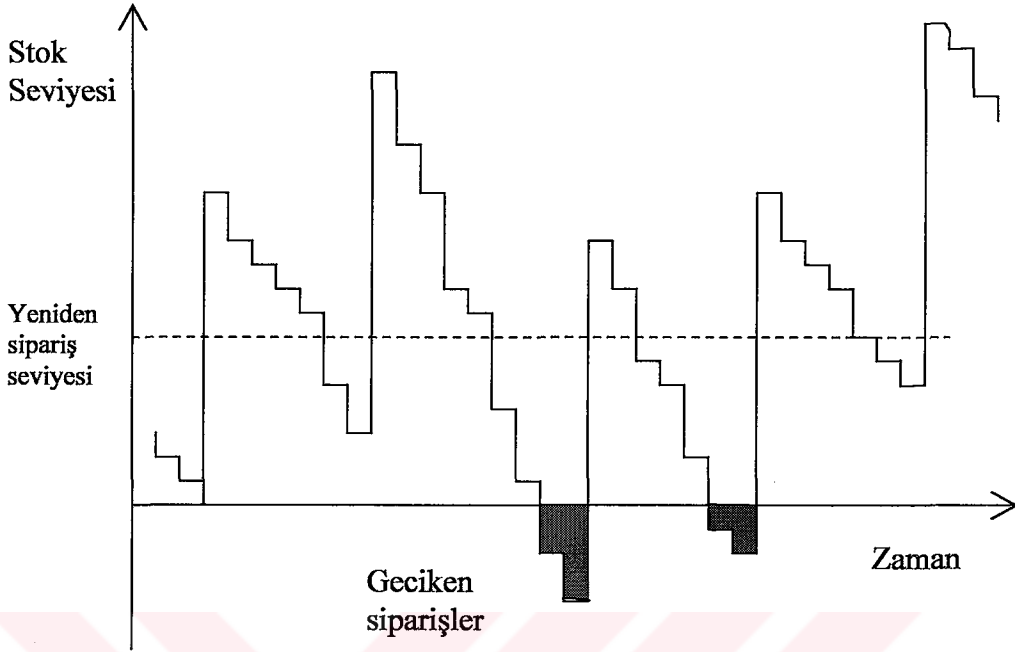
3.2.2 Sipariş Miktarı ve Yeniden Sipariş Noktası İçin Birleşik Hesaplama Yöntemi

Ekonomik sipariş miktarı hesaplanırken, sonucun birçok ortam için en iyi sipariş miktarını verdiği farz edilir. Oysa, hesaplama elde bulundurmama maliyetini içermemektedir. Belirsiz talep ve elde bulunmama olasılığı hesaplamayı etkileyebilir. Waters (1992) kitabında, talep belirsiz olduğunda optimal sipariş miktarı hesaplaması için bir alternatif sunmaktadır.

Tüm elde bulundurmamaların geciken siparişlerle karşılandığı ve bunların sayısının az olduğu varsayılır. Temin süresi stok çevrim süresinden kısaysa, Şekil 3.1'deki gibi bir grafik elde edilir.

Çevrim sonunda elde kalan stokun ortalama miktarı temin süresindeki talebe bağlıdır ve $(ROL - LT * D)$ 'ye eşittir. Q miktarlı siparişler verilir, bundan dolayı ortalama stok seviyesi, $Q/2$ ve çevrim sonu kalan stok miktarının toplamına eşittir.

$$\text{Ortalama stok seviyesi} = (ROL - LT * D) + Q/2 \quad (3.6)$$



Şekil 3.1 Geciken siparişli değişken talep. (Waters, 1992)

Temin süresindeki talep yeniden sipariş seviyesinden büyük olduğunda elde bulunmama sözkonusu olur. O halde beklenen elde bulunmama:

$$\sum_{D=ROL}^{\infty} (D - ROL) * Prob(D) \quad (3.7)$$

Çevrim başına değişken maliyetin farklı elemanları şimdi hesaplanabilir, çevrim süresine bölüldüğünde birim zaman maliyetleri bulunur:

- Yeniden sipariş maliyeti elemanı = sipariş sayısı (D/Q) * yeniden sipariş maliyeti (RC)

$$= RC * D/Q \quad (3.8)$$

- Elde bulundurma maliyeti elemanı = ortalama stok $(ROL - LT * D + Q/2)$ * elde bulundurma maliyeti (HC)

$$= HC * (ROL - LT * D + Q/2) \quad (3.9)$$

- Elde bulundurmama maliyeti elemanı = çevrim başına elde bulundurmamanın beklenen değeri $(\sum_{D=ROL}^{\infty} (D - ROL) * Prob(D))$ * çevrim sayısı (D/Q) * elde bulundurmama maliyeti (SC)

$$= \frac{SC * D}{Q} \sum_{D=ROL}^{\infty} (D - ROL) * Prob(D) \quad (3.10)$$

Birim zamandaki beklenen değışken maliyet bu üç elemanın toplamıyla bulunur.

$$RC * D/Q + HC * (ROL - LT * D + Q/2) + \frac{SC * D}{Q} \sum_{D=ROL}^{\infty} (D - ROL) * Prob(D) \quad (3.11)$$

Bu eşitlik iki bilinmeyen içerir, Q ve ROL . Bunlara göre türev alınıp türev 0'a (sıfır) eşitlenirse optimal değerleri bulabilmek için iki eşitlik ortaya çıkar. Sonuçta:

$$Q = \sqrt{\frac{2 * D}{HC} \left[RC + SC * \sum_{D=ROL}^{\infty} (D - ROL) * Prob(D) \right]} \quad (3.12a)$$

$$\frac{HC * Q}{SC * D} = \sum_{D=ROL}^{\infty} Prob(D) \quad (3.12b)$$

Bu sonuçlar hakkında şu yorumlar yapılabilir:

- Optimal sipariş miktarı, ekonomik sipariş miktarından kesinlikle az olamaz. EOQ hesaplaması, elde bulundurmama maliyetini göze almadan, sipariş ve elde bulundurma maliyeti ile en iyi sipariş miktarını daha az olarak tahmin eder. Miktar arttırılarak, elde bulunmama sayısı ve buna bağlı maliyet azaltılır.
- Eşitlikler sadece $HC * Q < SC * D$ olduğunda geçerlidir.

Ne yazıkki eşitliklerin bu halde çözümleri kolay değildir. En iyi yaklaşım aşağıdaki dört adımla iterasyon prosedürü uygulamaktır:

- (1) Ekonomik sipariş miktarı hesaplanır ve bu Q nun başlangıç değeri kabul edilir.
- (2) Bu değeri ikinci eşitlikte yerine konur ve ROL değeri bulmak için çözülür.
- (3) Bulunan ROL değeri ilk eşitlikte yerine konur ve revize Q bulunur.
- (4) Optimal değerlere yaklaşıncaya kadar 2 ve 3. adımlar tekrarlanır.

Aşağıdaki örnekte bu yaklaşım anlatılmaktadır.

Örnek:

Bir parça için oluşan talepler ayda ortalaması 4 olan bir Poisson dağılımı izlemektedir. Temin süresi 1 hafta, elde bulundurmama maliyeti ayda £200, yeniden sipariş maliyeti £40 ve elde bulundurma maliyeti birim başına ayda £4'dir. Sipariş miktarı ve yeniden sipariş seviyesi için optimal değerleri hesaplayın.

Çözüm:

Verilen değerler uygun birimlerde,

$$D = 4 \text{ birim ayda}$$

$$LT = 0,25 \text{ ay}$$

$$RC = £40 \text{ sipariş başına}$$

$$HC = £4 \text{ birim başına aylık}$$

$$SC = £200 \text{ birim başına aylık}$$

Adım 1

Ekonomik sipariş miktarı

$$Q_0 = \sqrt{(2 * RC * D / HC)} = \sqrt{(2 * 40 * 4 / 4)} = 8,944 \text{ birim}$$

Adım 2

Bu değer ikinci eşitlikte yerine konursa

$$\frac{HC * Q}{SC * D} = \sum_{D=ROL}^{\infty} Prob(D) = \frac{4 * 8,944}{200 * 4} = 0,045$$

Sipariş seviyesinden büyük olan talep olasılığı bulunmak istenir. Talep Poisson dağılımı izlediğinden, kümülatif olasılık Tablo 3.2'den bulunabilir. Bu tablo ortalaması 4 olan Poisson dağılımının kesikli değerlerini verir, bu nedenle 0,045'e en yakın kümülatif olasılık aranır. Bu 8 değerine karşılık gelen 0,051'dir ve bu değer yeniden sipariş seviyesi için başlangıç değeri olarak alınır.

Tablo 3.2 Örnek çözümü için ortalaması 4 olan kümülatif olasılık.

Değer	Olasılık	Prob(D≥Değer)
0	0,018	0,999
1	0,073	0,981
2	0,147	0,908
3	0,195	0,761
4	0,195	0,566
5	0,156	0,371
6	0,104	0,215
7	0,060	0,111
8	0,030	0,051
9	0,013	0,021
10	0,005	0,008
11	0,002	0,003
12	0,001	0,001

Adım 3

Başlangıç yeniden sipariş seviyesi birinci denklemde yerine konursa revize Q değeri elde edilir.

$$Q = \sqrt{\frac{2 * D}{HC} \left[RC + SC * \sum_{D=ROL}^{\infty} (D - ROL) * Prob(D) \right]}$$

Toplam bölümü Tablo 3.3'te hesaplanmıştır.

Tablo 3.3 Örnek çözümü için toplam hesabı.

D	$Prob(D)$	$D - ROL$	$(D - ROL) * Prob(D)$
8	0,030	0	0
9	0,013	1	0,013
10	0,005	2	0,010
11	0,002	3	0,006
12	0,001	4	0,004
Toplam			0,033

Değerler yerine konursa:

$$Q = \sqrt{[(2 * (4 / 4) * (40 + 200 * 0,033)]}$$

$$= 9,654$$

Adım 4

Yaklaşık değerler bulunana kadar 2. ve 3. adımlar tekrarlanır.

Q için bulunan yeni değer ikinci eşitlikte yerine konur ve yeni ROL değeri elde edilir:

$$(HC * Q) / (SC * D) = (4 * 9,654) / (200 * 4) = 0,048$$

Bu değer yukarıdaki tabloda yeniden sipariş seviyesi olarak 8'e karşılık gelmektedir, böylece bu değer sonuç değer olarak kabul edilir.

- Yeniden sipariş miktarı, $Q = 9,654$ (10'a yuvarlanır)
- Yeniden sipariş seviyesi, $ROL = 8$

Kabaca, ondalık değerler yeniden sipariş seviyesinin optimal değerlerini bulmak için daha fazla iterasyon gerektiğini gösterir.

Q ve ROL için ayrı hesaplamalar yerine birleşik hesaplama kullanmanın getirdiği tasarruflar genelde az miktardadır. Bu örnek için, maliyet eşitliğinde değerler yerine konduğunda değişken maliyet:

$$\begin{aligned} VC &= \frac{RC * D}{Q} + HC * \left(ROL - LT * D + \frac{Q}{2} \right) + \frac{SC * D}{Q} * \left[\sum_{D=ROL}^{\infty} (D - ROL) * Prob(D) \right] \\ &= \frac{40 * 4}{10} + 4 * \left(8 - 0,25 * 4 + \frac{10}{2} \right) + \frac{200 * 4 * 0,033}{10} \\ &= £66,64 \text{ ayda} \end{aligned} \quad (3.13)$$

Ekonomik sipariş miktarı olarak 9 birim kullanılsaydı, değişken maliyet:

$$\begin{aligned} VC &= \frac{RC * D}{Q} + HC * \left(ROL - LT * D + \frac{Q}{2} \right) + \frac{SC * D}{Q} * \left[\sum_{D=ROL}^{\infty} (D - ROL) * Prob(D) \right] \\ &= \frac{40 * 4}{9} + 4 * \left(8 - 0,25 * 4 + \frac{9}{2} \right) + \frac{200 * 4 * 0,033}{9} \\ &= £66,71 \text{ ayda} \end{aligned}$$

Örnekte, birleşik hesaplamayla yeniden sipariş miktar ve seviyesinde elde edilen tasarruf az olmuştur. Oysa bazen, özellikle talep ve temin süreleri çok değişken olduğunda ve elde bulundurmama maliyeti elde bulundurmaya kıyasla az olduğunda

önemli farklar olabilmektedir. Bazı organizasyonlar birleşik hesaplama kullanarak değişken maliyetlerinde %5-7 tasarruf etmiştir. Bu tasarruf noktasına varabilmek için, tabi olarak önemli miktarda bilgi-işlem eforu sarfetmişlerdir.

3.2.3 Servis Seviyesi Modelleri

Elde bulundurmama maliyeti, elde bulundurma maliyetine göre genellikle yüksektir. Bu nedenle organizasyonlar elde bulundurmama maliyetinden kaçmak için stok tutma maliyetine razı gelirler. Bir adım daha ileri gidilirse, organizasyonlar güvenlik payı için ihtiyaçlarından daha fazla ek stok tutmaya razıdır. Diğer bir deyişle, bir miktar stok ayrı tutulur ve sadece teslimatlar geç yada talep beklenenden fazla olduğunda kullanılır. Bu stok emniyet stoku olarak adlandırılır, o halde :

- Çalışma stoku normal talebi karşılamak için
- Emniyet stoku, beklenmeyen fazla talebi ve geç teslimatları sağlamak içindir.

“Ne kadar emniyet stoku tutulmalıdır?” Prensipte, elde bulundurmama maliyetini hesaplamak ve onu stokta tutma maliyeti ile dengelemek mümkündür. Pratikte Elde bulundurmama maliyetlerini bulmak güç ve genelde tahminden fazla olduğundan, bu yol zordur. Bazı insanlar elde bulundurmama maliyeti üzerine kurulu tüm analizleri yararlı sonuçlar için aşırı güvenilmez bulur. (Waters, 1992)

Yönetimin direk kararına bağlı “servis seviyesi” bu durumda bir alternatif olarak kullanılabilir. Bir talebin direk stoktan karşılanması olasılığının (yada tersi, bir talebin stoktan karşılanamamasının kabul edilen maksimum olasılığı) istenen karşılığı belirlenmelidir. Tipik olarak bir şirket servis seviyesini %95, talebi karşılayamama olasılığını 0.05 olarak belirler.

Daha fazla emniyet stoku daha fazla servis seviyesidir, ancak servis temin süresindeki talep değişimlerine bağlıdır. Sıklıkla parçalara önemlerine göre servis seviyeleri verilir, böylece çok önemli parçalar %98 seviyelerindeyken, daha az önemliler %85 seviyesinde kalabilirler.

Müşteri talebinin stoktan karşılanma oranı olarak tanımlanmış olmasına rağmen servis seviyesi çeşitli şekillerde ölçülebilir:

- ✓ Tamamen stoktan karşılanan siparişlerin yüzdesi
- ✓ Stoktan karşılanan talepli birimlerin yüzdesi

- ✓ Zamanında teslim edilen talepli birimlerin yüzdesi
- ✓ Stokun mevcut olduğu zamanların yüzdesi
- ✓ Yokluk yaşanmayan stok çevrimlerinin yüzdesi
- ✓ Stokun mevcut olduğu parça-ayların yüzdesi
- ✓ vb.

Servis seviyesinin en çok kullanılan ölçütü, stoktan karşılanan talepli birimlerin yüzdesidir. Özellikle perakende dükkanlarında memnun müşterilerin yüzdesini belirlediğinden bu oldukça kullanışlıdır. Maalesef, stok boşalması sıklığını hesaba katmaması dezavantajdır. Yani %90 servis seviyesi günde biri de gösterebilir, yılda biri de.

Servis seviyesini emniyet stok miktarı belirler. Buradaki örnekte, stok çevrimi sırasında elde bulunmama olasılığını ifade eden çevrim servis seviyesi ölçülür.

Temin süresi kilit faktördür. Temin süresinden farklı taleplerin nasıl değiştiği önemli değildir.

Örnek:

Temin süresindeki son 50 stok çevrim talebi aşağıdaki gibidir:

Talep	10	20	30	40	50	60	70	80
Sıklık	1	5	10	14	9	6	4	1

%95lik servis seviyesini veren yeniden sipariş seviyesi ne olmalıdır?

Çözüm:

Bu noktada taleplerin sürekli dağılımlarıyla ilgilenilse de, bu örnek aynı yaklaşımın nasıl kesikli dağılımlara uygulanabileceğini göstermektedir. Başlangıç noktası talebin kümülatif dağılımını bulmaktır. (Tablo 3.4) %95 lik servis seviyesini sağlamak için talep, çevrimlerin %95'indeki yeniden sipariş seviyesinden az olmalıdır. O halde yeniden sipariş seviyesi 70 birim olmalıdır.

Eğer yeniden sipariş seviyesi daha az olursa, 60 birim örneğin, bu çevrimlerin %90'ını kapatacak, gerekli %95 için yetersiz kalacaktır.

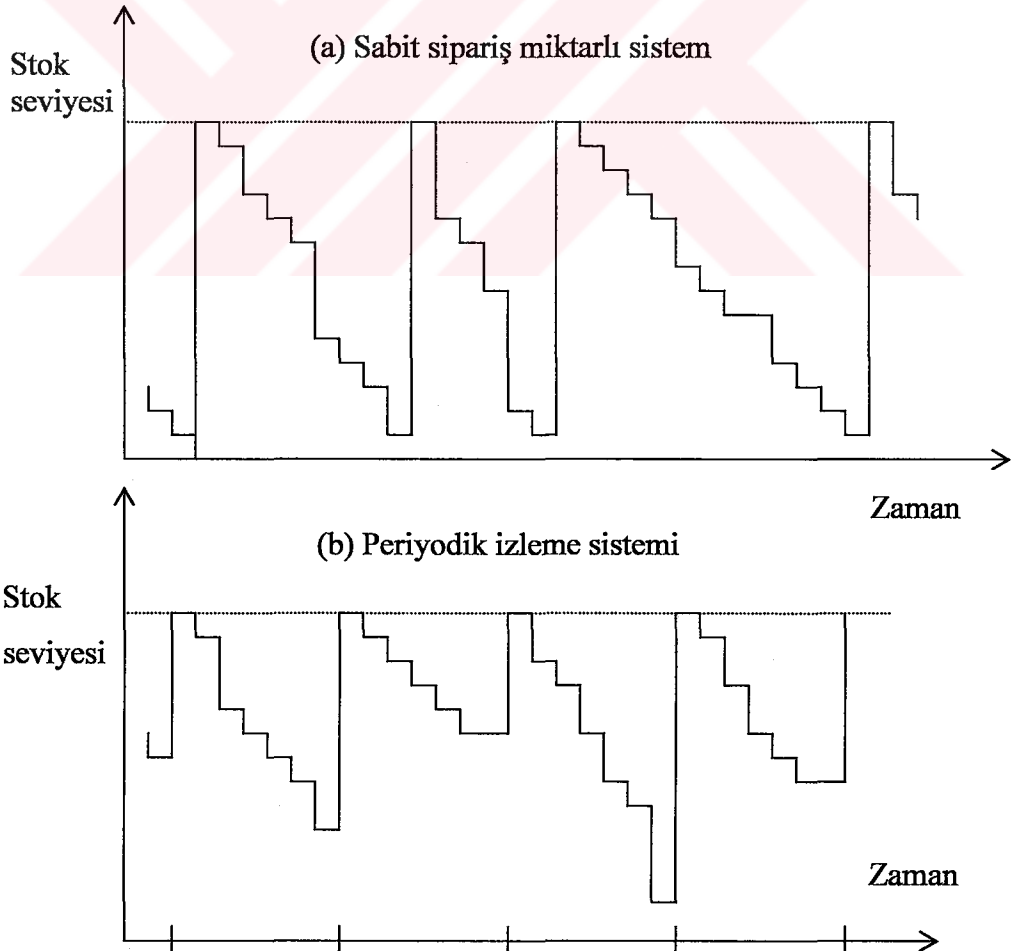
Tablo 3.4 Örnek çözümü için talep dağılımı.

Talep	Sıklık	Yüzde	Kümülatif Yüzde
10	1	2	2
20	5	10	12
30	10	20	32
40	14	28	60
50	9	18	78
60	6	12	90
70	4	8	98
80	1	2	100

3.2.4 Periyodik İzleme Sistemleri

İki çeşit sipariş politikası bulunmaktadır (Şekil 3.2):

- Sabit sipariş miktarlı sistemler, sabit miktarlı sipariş, stok belli bir seviyeye düştüğünde verilir.
- Periyodik izleme sistemi, değişen hacimli siparişler stok seviyesini belli bir düzeye çıkarmak için düzenli aralıklarla verilir.



Şekil 3.2 Alternatif sipariş politikaları (a) ve (b) (Waters, 1992)

Sabit sipariş miktarlı sistemlerde belirsizlik, sabit siparişin farklı zaman aralıklarında verilmesinde; periyodik izleme sistemlerinde ise belirsizlik sabit zaman aralıklarında farklı hacimdeki siparişlerde bulunur. Talep sabit ise bu iki sistem aynıdır, bu nedenle farklar sadece talep belirsiz olduğunda görülür.

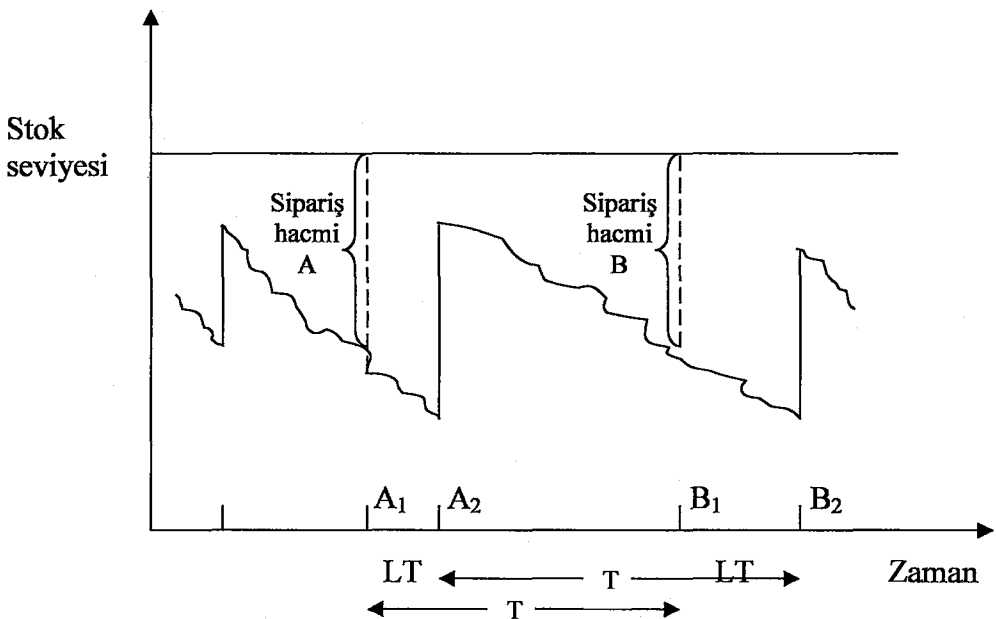
- Siparişler arası aralıklar ne kadar olmalıdır?
- Hedef stok seviyesi ne olmalıdır?

Sipariş aralığı, T , uygun olan her periyot olabilir. Siparişleri hafta sonunda, her sabah, yada ay sonunda vermek uygun olabilir. Kesin olan bir çevrim yoksa, yılda belli miktarda sipariş yada ortalama sipariş hacmi amaçlanabilir. Ekonomik sipariş miktarı hesaplanıp, bu miktarlarda sipariş verilen periyotlar oluşturulabilir. Son karar yönetimin konusudur. Hangi aralık seçilirse seçilsin, uygun bir hedef stok, TSL belirlenmelidir. Sistem, sipariş verileceği zaman eldeki stokun kontrol edilip TSL seviyesine ulaştıracak miktarın sipariş verilmesi prensibine göre çalışır.

$$\text{Sipariş miktarı} = \text{hedef stok seviyesi} - \text{eldeki stok}$$

Süpermarket örneğinde, her akşam boşalan raflar incelenir ve satılan ürünlerin yerine yenisi konur. T , burada bir gündür ve TSL parça için ayrılmış raf boşluğudur.

Yukarıdaki şekillerde temin süresinin sıfır olduğu ve bu yüzden stokun hedef stok seviyesine ulaştığı kabul edilmiştir. Oysa gerçekte teslimat ulaşana kadar stokun azalacağı bir süre vardır, bu nedenle stok genelde hedefe ulaşmaz. (Şekil 3.3)



Şekil 3.3 Periyodik izleme sistemi için sipariş zamanları. (Waters, 1992)

Sipariş hacmi, A , A_1 zamanındaki stok seviyesine bağlıdır, ancak A_2 zamanında ulaştığından stok azalmıştır. Bu sipariş B_2 zamanında varan sonraki siparişe kadar tüm talebi karşılamalıdır. Bundan dolayı, hedef stok seviyesi A_1 den B_2 ye kadar olan periyotta, $T+LT$, tüm talebi karşılamalıdır.

Herbir Sistemin Avantajı

Sabit sipariş miktarlı sistem ve Periyodik izleme sisteminin her ikisinin de farklı alanlarda avantajları bulunur. Birinin diğerine göre daima baskın olduğu kesinlikle söylenemez ve en uygununun seçimi yönetime ait olmalıdır.

Periyodik izleme sisteminin asıl yararı basit ve idare için kullanışlıdır. Stokların düzenli aralıklarla kontrol edildiği, siparişlerin verildiği, teslimatların düzenlendiği bir rutin vardır. Bu, özellikle yüksek talepli ucuz mallar için faydalıdır. Rutin aynı zamanda stok seviyesinin belli aralıklarla kontrol edildiği, sürekli izlenmesi gerekmediği anlamına gelir. Sabit sipariş miktarlı sistem, stokların sürekli izlenmesini gerektirir böylece stok yeniden sipariş seviyesine düştüğünde mesaj verilir.

Periyodik izleme sisteminin diğer bir avantajı, birkaç parçalık siparişleri tek bir sipariş altında toplama kolaylığıdır. Bu, tedarikçilerin fiyat iskontoları yapabilecekleri büyük siparişler doğurur.

Sabit sipariş miktarlı sistemin en büyük avantajı sabit hacimli siparişlerin değişken olanlardan daha kolay düzenlenmesidir. Tedarikçiler ne kadar göndereceklerini bilir, idare ve nakliye belirli ihtiyaçlara göre ayarlanabilir. (belki aynı zamanlı bir kamyon yükü oluşturma) Diğer bir avantajı sistem, her bir parçanın karakteristiğini üzerine alır. Periyodik izleme sisteminde, çoğu parça için aynı periyot kullanılır. Düşük talepli parçaların, yüksek taleplilerin sıklığında sipariş edilmesidir. Talebe göre sipariş sıklığını ayarlamada sabit sipariş miktarlı sistem daha esnektir.

Sabit sipariş miktarlı sistemin son avantajı, daha az stok vermesidir. Emniyet stoğu LT belirsizliğini giderir, oysa periyodik izleme sistemi $T+LT$ belirsizliğini giderir. Bu daha az emniyet stoku ve böylece daha düşük toplam stok yapısı ile sonuçlanır.

Her iki sistemin faydaları hibrit sistemler kullanılarak elde edilebilir. 2 genel tipte hibrit sistemi mevcuttur:

- *Yeniden sipariş seviyeli periyodik gözden geçirme.* Standart periyodik izleme sistemine benzer, ancak bu kez sipariş sadece eldeki stok belli bir yeniden sipariş seviyesinin altına düştüğünde verilir. Eldeki stok yeniden sipariş seviyesinin üstündeyse, bu periyot hiç sipariş verilmez.
- *Yeniden sipariş seviyesi ve hedef stok.* Sabit sipariş miktarlı sistemin bir varyansıdır ve her bir sipariş stok seviyesini, yeniden sipariş seviyesinin altında tuttuğunda kullanılabilir. O halde, ekonomik sipariş miktarındaki siparişler yerine mevcut stoku bir hedef seviyesine yükseltecek siparişler verilir. Brüt stokun genellikle bir minimum (yeniden sipariş seviyesi) ve bir maksimum (hedef stok seviyesi) arasında değiştiği bu sistem, bazen min-max sistemi olarak da adlandırılır.

Özetle;

Talep ve temin süresi	Önerilen yaklaşım
kesin olarak bilinirse	deterministik sayısal modellerinin varyasyonları
biraz belirsizse	emniyet stoklu ve elde bulundurmama maliyetli probabilistik model varyasyonları

3.3 Dinamik Programlama Modeli

3.3.1 Dinamik Programlamaya Giriş

Dinamik programlama (DP), birçok optimizasyon problemini çözmekte kullanılan bir tekniktir. Çoğu uygulamada dinamik programlama, problemin sonundan başına doğru çalıştırılarak çözüm elde edilir. (Winston, 1994)

Dinamik programlama bazı karakteristiklere sahiptir:

1. Problem, genellikle zaman olarak ifade edilen bazı safhalara (stages) bölünür.
2. Her bir safha birkaç durumdan (states) oluşur.
3. Verilen kararlar, bulunulan safhadaki durumdan sonraki safhanın bir durumuna geçişi tanımlar.
4. Her bir durumda gelecek safhalar için alınacak kararlar önceki durumlardan ve alınmış kararlardan bağımsızdır. (optimalite prensibi)

5. Çözüm için safha ve durumları gösteren tekrarlı bir formülasyon (recursive formula) kullanılır.

Örnek:
$$f_t(i) = \min_j \{c_{ij} + f_{t+1}(j)\}$$

Envanter problemlerinde dinamik programlama şu karakteristikleri izler:

1. Zaman periyotlara bölünür: periyot1, periyot2,....., periyot T.
2. Çeşitli kısıtlar göz önünde bulundurulur: üretim kapasitesi, depolama kapasitesi, talep yapısı vb.
3. Firmanın amacı: periyot 1, 2,, T boyunca talepleri zamanında karşılamanın maliyetini minimize etmektir.

Dinamik envanter modelleri, talebin kesin olarak bilindiği deterministik yada talebin olasılık olarak bilindiği probabilistik modeller olabilir. Burada yedek parça stokları için kullanılan bir probabilistik envanter modeli anlatılacaktır.

3.3.2. DP'da Probabilistik Envanter Modeli

Önleyici bakım ve rassal arıza bakım ihtiyaçlarının her ikisini karşılayan bir sipariş politikası modellenenebilir. (Vaughan, 2005). Bunun için n birim aynı parçadan oluşan bir sistem alınır. Rassal arızalar, önleyici bakım periyotları arasında kesikli bir talep yapısı yaratır. Önleyici bakımda ise her birim incelenir, hangilerinin değiştirilmesinin gerektiğine karar verilir. Önleyici bakım sırasında yeterli stok bulundurmak, tüm diğer ilgili önleyici bakım faaliyet programını aksatmamak için çok önemlidir. Bu modeldeki parçalar tamir olamayan yedeklerdir.

n birim aynı parçanın arıza hızı λ ve her bir parçanın arıza süresi kalan n-1den bağımsız olarak, $1/\lambda$ ortalama periyotlu üssel bir dağılım izler. Herhangi bir periyotta parça arızalarının toplam sayısı λn ortalamalı Poisson dağılımı verir. Arızalı birimler stoktan yada hızlandırılmış siparişle yeni birimlerle değiştirilir.

Amaç, her iki talep yapısını önleyici bakım periyodundaki yaklaşımla birleştirip bir optimal sipariş politikası oluşturmaktır. Bu nedenle, bir stokastik dinamik programlama geliştirilir.

t periyodunda ihtiyaç duyulan parça sayısı $D(t)$ olarak ifade edilsin. Periyot 0'ın önleyici bakım periyodu olduğu farzedilir. Dinamik programlama mantığıyla, periyotlar geriye doğru numaralandırılır, böylece Periyot 1, planlı periyot 0 önleyici bakımından önce gerçekleşir. Bu yaklaşımla, stok sisteminde binom talepler (n,p) oluşturan periyot 0, T, 2T...önceki önleyici bakım periyotlarını ifade eder. Her $t \bmod T \neq 0$ için t, rassal arıza prosesinin Poisson dağılımlı talep oluşturduğu bir operasyon periyodudur. Genel olarak:

$$P_t(d) = P(D(t) = d) = e^{-\lambda t} (\lambda t)^d / d !,$$

$$d = 0, 1, 2, \dots, \quad t = 1, 2, 3, \dots, \quad t \bmod T \neq 0 \quad (3.14)$$

$$P_t(d) = P(D(t) = d) = \binom{n}{d} p^d (1-p)^{(n-d)},$$

$$d = 0, 1, 2, \dots, n, \quad t = 0, T, 2T, \dots \quad (3.15)$$

C_H , periyot başına birim elde bulundurma maliyeti; C_0 sıfır birimden fazla her sipariş için sipariş maliyetidir. B_1 , önleyici bakım periyotları arası rassal parça arızalarında stokta parça bulunmamasının maliyeti; benzer olarak B_2 de önleyici bakım operasyonunda elde bulunmamanın maliyetidir. Her iki durumda da acil sipariş yada hızlandırma maliyeti, proses durması yada önleyici bakım projesinin gecikmesinin maliyeti bu ceza dahilindedir. Elde bulunmama için de benzer notasyonla:

$$B(t) = B_1, \quad t = 1, 2, 3, \dots, \quad t \bmod T \neq 0 \quad (3.16)$$

$$B(t) = B_2, \quad t = 0, T, 2T, \dots \quad (3.17)$$

$x(t)$, periyot t başında stoktaki miktarı ifade eder. $Q(t)$ ise, eldeki $x(t)$ birimler gözlenip periyot t başında sipariş edilen miktarı gösterir. Bu birimler t periyodu sonuna kadar stoğa alınmaz yani temin süresi bir periyottur. Operasyonel periyodun, sipariş temin süresine eşit olduğu varsayılır.

Eğer periyot t talebi $D(t)$, $x(t)$ den büyük olursa elde bulunmama meydana gelir. O halde elde bulunmama $[D(t)-x(t)]^+$, burada $[y]^+ = \max(y, 0)$ dır. Periyot t boyunca tüm elde bulunmamalar hızlandırılır, $Q(t)$ miktarı hızlandırılmış birimlerin sayısı kadar azaltılır.

Bellman'ın dinamik programlama yaklaşımıyla, optimal politikanın denklemi tanımlanır. $TC_t(x(t))$, beklenen minimum toplam maliyet periyot t , $t-1$, $t-2$,, 0 üzerinde ve $x(t)$ birim, periyot t başında eldeki birimleri gösterir. $TC_t(x(t))$ aşağıdaki gibidir:

$$TC_t(x(t)) = \min_{Q(t)} \left\{ C_0 \delta(Q(t)) + \sum_{d=0}^{\infty} [B(t)[d - x(t)]^+ + C_H [x(t) - d + Q(t)]^+ + TC_{t-1}([x(t) - d + Q(t)]^+) P_t(d) \right\}$$

(3.18)

$t=1, 2, 3, \dots$

$q=0$ iken fonksiyon $\delta(q) = 0$, $q>0$ iken $\delta(q) = 1$ dir. Böylece sıfırdan büyük herhangi bir miktar için $C_0 \delta(Q(t))$ terimi sipariş maliyetini verir. Toplam formül uygun olasılık değerleri $P_t(d) = P(D(t) = d)$ kullanarak olası tüm $D(t)$ ler için beklenen maliyeti ifade eder. Burada elde bulundurmama maliyeti $[d - x(t)]^+$ ye, elde bulundurma maliyeti eldeki $[x(t) - d + Q(t)]^+$ miktarına uygulanır, periyot $t-1$ eldeki $[x(t) - d + Q(t)]^+$ miktarla başlar.

Sınır değeri şöyle yazılabilir:

$$TC_0(x(0)) = \sum_{d=x(0)+1}^n B(0)(d - x(0)) P_0(d), \quad (3.19)$$

yani periyot 0 için planlı önleyici bakım operasyonu elde $x(0)$ birim ile başlarsa beklenen elde bulundurmama maliyetidir.

Analitik çözüm zor olduğundan, çeşitli nümerik değerlerle yapılan hesaplamalarda büyük t değerleri için “döngüsel-düzenli” bir yapı olduğu görülür. Bu düzen küçük t değerleri için bazı ufak farklar göstermektedir. Döngüsel-düzenli optimal politika $k_t = t \bmod T$, t zamanında sonraki planlı önleyici bakıma kalan periyot sayısını ifade etmek üzere $(s(k_t), S(k_t))$ yapısı oluşturur. Böylece $x(t) > s(k_t)$ ise $Q(t)=0$, eğer $x(t) \leq s(k_t)$ ise $Q(t) = S(k_t) - x(t)$ ’dir. Önleyici bakım faaliyetleri uzaklaştıkça optimal politika, yalnız arızı değişim talepleri ile ilgilenir hale gelir.

Arızı değişim ve önleyici bakım değişimlerinin ayrı ayrı ele alındığı basit politikada ise, $k_t \neq 1$ için (S_{FR}, S_{FR}) arızı değişimleri yapılır. $k_t = 1$ 'de önleyici bakım için sipariş verilir ve (S_{PM}, S_{PM}) ile ifade edilir. O halde:

$$(s'(k_t), S'(k_t)) = (S_{FR}, S_{FR}), \quad k_t \neq 1 \quad (3.20)$$

$$(s'(k_t), S'(k_t)) = (S_{PM}, S_{PM}), \quad k_t = 1 \quad (3.21)$$

Periyotlar $t, t-1, t-2, \dots, 0$ 'da $TC_t'(x(t))$, beklenen maliyeti gösterirse

$$TC_0'(x(0)) = TC_0(x(0)) \quad (3.22)$$

$$TC_1'(x(1)) = TC_1(x(1)) \quad (3.23)$$

Daha önce $TC_0(x(0))$ ve $TC_1(x(1))$ sırasıyla (3.19) ve (3.18)'de verilmiştir.

$x(t) \leq s'(k_t)$ için $Q'(t) = S'(k_t) - x(t)$ ve $x(t) > s'(k_t)$ için $Q'(t) = 0$ olur. $t \geq 2$ için basit politikanın maliyeti:

$$TC_t'(x(t)) = C_0 \delta(Q'(t)) + \sum_{d=0}^{\infty} [B(t)[d - x(t)]^+ + C_H [x(t) - d + Q'(t)]^+ + TC_{t-1}'([x(t) - d + Q'(t)]^+)] P_t(d) \quad (3.24)$$

$k_t \rightarrow \infty$ iken $TC_t'(x(t)) / TC_t(x(t)) \rightarrow 1$ olur, $(s(k_t), S(k_t)) \neq (S_{FR}, S_{FR})$ 'den etkilenen toplam maliyet oranı kaybolur. Çeşitli t değerleri için bu iki politikanın maliyetleri hesaplanır ve karşılaştırmalar yapılır. Optimal politikanın, basit politikaya kıyasla maliyetten tasarruf sağladığı gözlenmiştir.

BÖLÜM 4

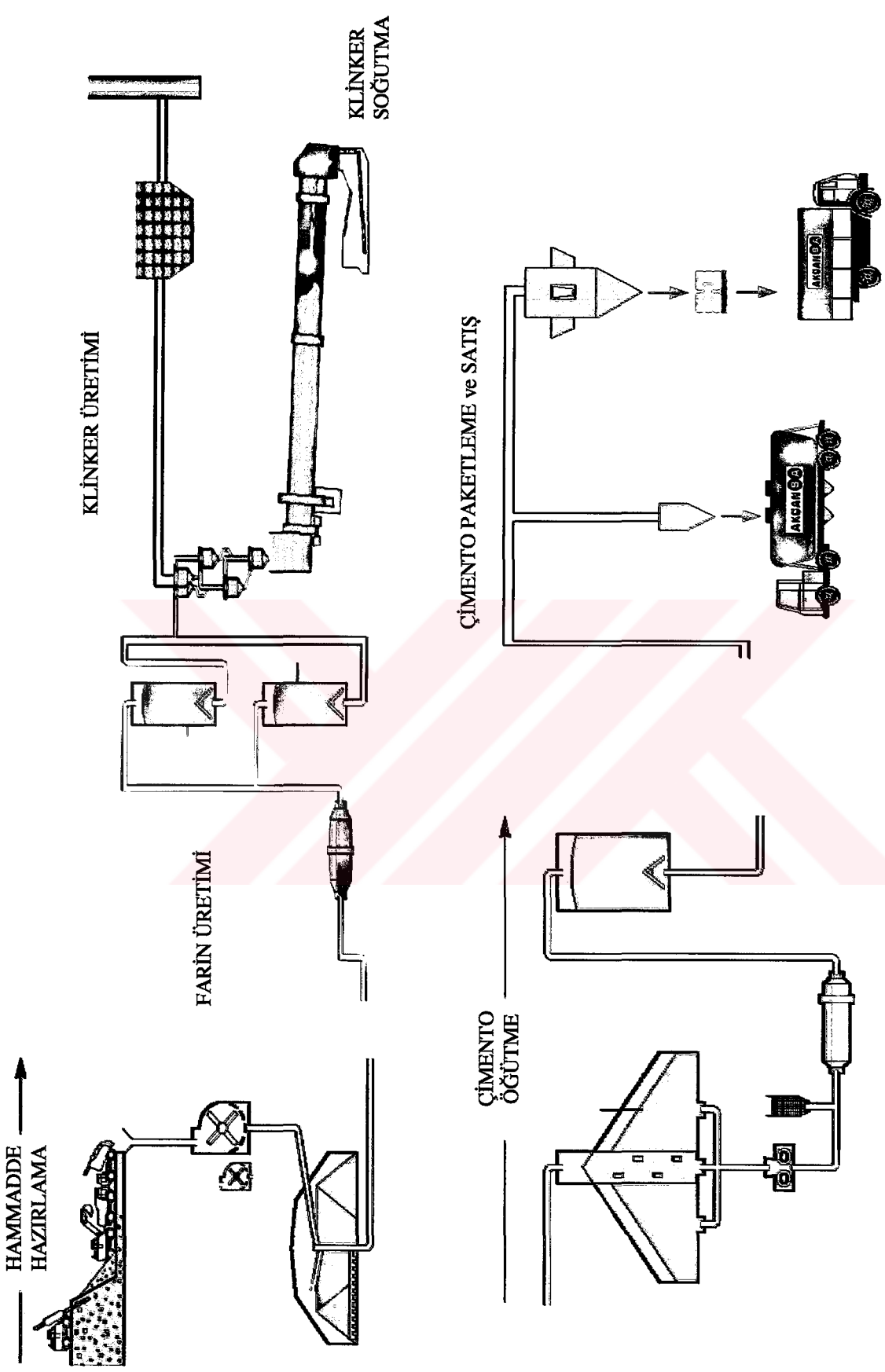
4 UYGULAMA

4.1 Çimento Üretim Sistemi

“Bakım Sistemlerinde Envanter Yönetimi” konusundaki uygulama, bir çimento fabrikasının bazı yedek parçaları üzerine yapılmıştır.

Bilindiği gibi, proses tipi üretimler için hammadde stoku kadar bakım işlerinde kullanılan ekipman, parça ve malzemelerin stokunu da bulundurmak gerekir. Bu nedenle çimento üretiminde, mevcut tesis ve makineleri çalışır halde tutmak için gerekli yedek parçaların stoklanması işi çok önemli bir konudur.

Bu bölümde, seçilen pilot bölge ve parçaların kritikliğini anlatabilmek için çimento üretimini (Şekil 4.1) kısaca tarif etmekte yarar görülmektedir: Taş ocaklarında dinamitle patlatılarak kamyonlara yüklenen hammalzeme (kalker ve şist) tesiste ilk olarak kırıcılarda işlem görür. Yaklaşık ceviz büyüklüğüne getirilen bu malzemeler demir cevheri ve kumla belli oranlarda karıştırılarak homojenizasyon tesisinde toplanır. Burada yığıcı ve kazıyıcı makinaların çalışma şekli ile hammadde kompozisyonunun homojen dağılması sağlanır. Ardından hammalzeme fransızca un anlamındaki farin haline gelinceye kadar farin değirmenlerinde öğütülür. Silolarda toplanan farin, onu kimyasal reaksiyona hazırlayacak sıcaklıklara ön ısıtıcı kule denen siklonlarda ulaşır. Kimyasal reaksiyon, sinter bölgesi sıcaklığı 1450-1500°C'ye varan döner fırınlarda gerçekleşir. Böylece klinker haline gelen hammalzeme fırın çıkışı sonrası reaksiyonu tamamlamak, sonraki öğütme operasyonunu kolaylaştırmak ve kolaylıkla taşınmasını sağlamak için klinker soğutucularda soğutulur.(Pilot Bölge)



Şekil 4.1 Çimento üretim akış şeması.

Soğuyan klinker stokhollerde depolanır. Çimento değirmenlerinde alçı ve diğer öğütmeyi kolaylaştırıcı kimyasallarla birlikte öğütülen klinker, çeşitli tiplerde çimento haline gelir. Dökme çimento olarak silobuslarla yada paket çimento olarak kamyonlarla bayi ve son kullanıcılara gönderilir.

4.2 Mevcut Yedek Parça Politikası

Uygulama yapılan şirket, yedek parçalarını önemlerine göre üç gruba ayırmıştır:

1) Stratejik Malzemeler

Bunlar temin süresi uzun ve parasal değeri yüksek malzemelerdir. Arıza durumunda yoklukları halinde üretim ve satışı durdurabilirler.

2) Kritik Malzemeler

Bunlar ise alternatif çözümü olan malzemelerdir. Arıza durumunda yoklukları halinde sadece yedek parçası olduğu tesisin durmasına sebebiyet verirler.

3) Normal Yedek Parçalar

Bunlar herhangi bir aksaklığa sebep olmayan raf malzemeleridir.

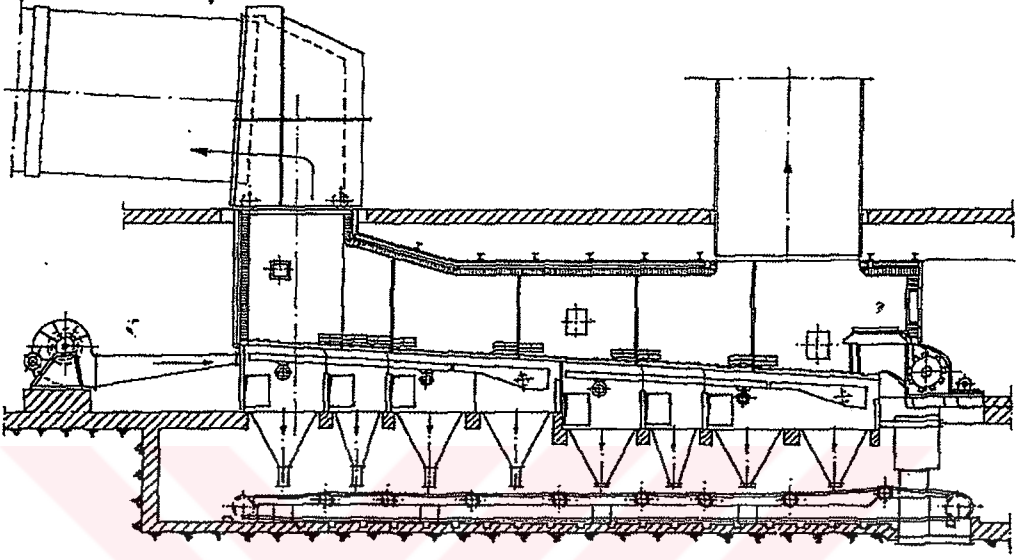
Şirket, kritik malzemelerin %90'ını 1998 yılından beri kullandığı SAP üzerinde MİP'a (Malzeme İhtiyaç Planlama) bağlı olarak kayıtlı tutmaktadır. Stok kontrolü SAP'deki min-max seviyelerine göre gerçekleştirilmekte ve bu seviyeler belirlenirken geçmiş kullanımlar dikkate alınmaktadır. Min seviyesi için bir aylık kullanım, max seviyesi için malzemeye en çok ihtiyaç duyulan revizyon kullanımı baz alınmıştır. Her Salı SAP sisteminden MİP listeleri çekilmekte ve ambar tarafından bu listeler parça sorumlularına alım miktar teyitleri için gönderilmektedir. Buradaki amaç maliyetleri düşürmektir.

4.3 Seçilen Pilot Bölge ve Yedek Parça Özellikleri

Tesisteki üç döner fırından biri olan 1.Döner Fırın Klinker Soğutma pilot bölge olarak seçilmiştir.

Çimento üretimi için farklı tiplerde olabilen klinker soğutma, seçili bölgede Claudius Peters ızgaralı tip soğutmadır. (Şekil 4.2) Üretim akış şemasında da görüldüğü gibi (Şekil 4.1) fırından çıkan klinker meyilli ızgara üzerine dökülmekte ve bütün ızgara yüzeyine yayılmaktadır. Izgara yüzeyi delikli plakalardan meydana gelmiştir.

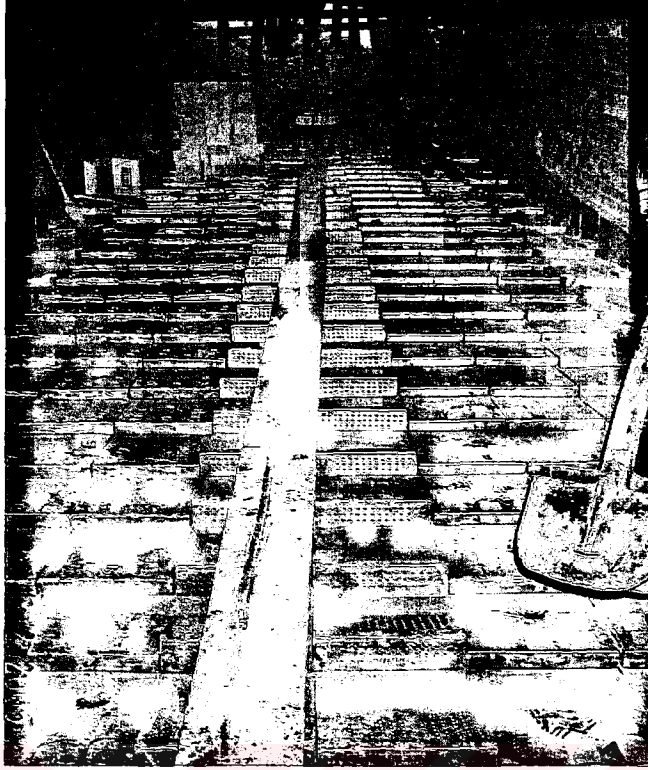
Plakaların 5-8,3 cm arasında değişen bir alın yüksekliği vardır. Bu alın ızgaranın üzerindeki malı ileriye itmeye yarar. Izgara plakaların yarısı sabit, yarısı hareketlidir. (Şekil 4.3 ve Şekil 4.4)



Şekil 4.2 Izgaralı klinker soğutucusunun genel kesiti.

Hareketli olan ızgara sıraları hareketli bir şase üzerine monte edilmişlerdir ve bir ileri bir geri hareket ederek klinkeri soğutucusunun gerisine doğru kaydırırlar. Klinkeri soğutmak için lüzumlu hava vantilatörler vasıtasıyla ızgaraların altındaki boşluğa (toz bunkerine) üflenmektedir. Hava ızgaraların deliklerinden içeri girer ve ızgara üzerindeki klinker tabakasının arasından geçer. Klinker böylece ısınıyı havaya bırakır. Izgara deliklerinden dökülen ufak taneli klinkerler toz bunkerlerinde birikir. Bunkerlerin altındaki sızdırmaz klapeler belirli zaman aralıklarında açılarak klinkeri altındaki nakil zincirine döker. Nakil zinciri de klinkeri soğutmanın sonundaki kovalı banta taşır. Izgara üzerindeki klinker, ızgaraların hareketi ve itmesi sonucunda ızgaranın sonundaki klinker kırıcıya dökülür ve iri parçalar da kırıcıda kırıldıktan sonra stokhole taşınmak üzere kovalı banta dökülür. (Erkovan, 1990)

Klinker böylece süratle soğutulmakta, çimento kalitesi üzerinde ve kolayca öğütülebilmesinde fayda sağlanmaktadır. Klinker soğutucuya takriben 1200-1300°C de dökülmekte ve 50-70°C de sekonder hava olarak döner fırında kullanılmaktadır. Artan sıcak hava tesisin diğer noktalarında kullanılabilmektedir.



Şekil 4.3 Soğutma plakalarından bir görünüş



Şekil 4.4 Fırın çıkışı, klinker soğutma ve plakaları

Yukarıda çalışma prensibi anlatılan soğutmanın plakaları zamanla aşınmakta, düşerek büyük parçaların kırıcıya gitmeden klinker toplama hattına girmesine sebep olmaktadır. Bu durumda soğutma amperinin yükselmesi ile sistem devreden çıkmakta, ardından fırın duruşu gerçekleşmektedir. Duruşta düşen plakalar yenisiyle değiştirilir, sistem devreye alınır ve fırın çalışmaya devam eder. Bunun dışında, yapılan yıllık revizyonlarda plakaların çoğu yenilenir.

Uygulama, kritik olan bu soğutma plakalarının stok miktarları üzerine yapılmaktadır.

4.4 Geliştirilen Uygulama Metodolojisi

Pilot bölge olarak soğutma, parça olarak da plakalar seçildikten sonra sistemde kaç çeşit plaka olduğu incelenmiştir. Yapılan çeşitli modifikasyonlar sonucu sistemde artık 7 çeşit plaka kullanılmaktadır. Bir çeşit plaka, soğutmanın ilk 7 sırasını kaplamaktadır ve bunlar özel sabit plakalardır. Aşınmayan, bu nedenle değişim gerektirmeyen bu plakalar zaten şirket stoklarında da bulunmamaktadır. İkinci ve üçüncü çeşit plakalar da soğutmanın sağ ve sol tarafında, beton altında yer alan ve bu nedenle revizyondan revizyona çok az miktarda değişip, yıl boyunca herhangi bir duruşa sebep olmayan plakalardır. Sonuç olarak çalışmaya uygun 4 çeşit kritik plaka bulunmaktadır. Bundan sonra Plaka A, B, C ve D olarak gösterilecek bu plakalar ve soğutmadaki miktarları Tablo 4.1'deki gibidir:

Tablo 4.1 Plakalar ve soğutma sistemindeki miktarları

	Gösterim	Sistemdeki Miktarı
Yer plakası (Orta)	Plaka A	82 Adet
Yer plakası (Sol ve Sağ)	Plaka B	246 Adet
Köprü Plakası (Sağ)	Plaka C	21 Adet
Köprü Plakası (Sol)	Plaka D	21 Adet

Plakaların SAP'deki min-max seviyeleri, temin süreleri ve fiyatları ise Tablo 4.2'deki gibidir.

Tablo 4.2 Plaka bilgileri

Parça Adı	Min. Adet	Max. Adet	Temin Süresi	Birim Fiyatı
Plaka A	25	40	45 Gün	\$100
Plaka B	50	100	45 Gün	\$77
Plaka C	8	12	45 Gün	\$111
Plaka D	10	21	45 Gün	\$96

Plakalar tespit edildikten sonra son 3 yıla ait (2002-2003 ve 2004) kullanım miktarları (malzeme hareketleri) SAP'den bulunmuştur. (Tablo 4.3) Yapılan tüm plaka modifikasyonları bu süreden önce gerçekleştirildiğinden kullanım miktarlarını etkilememektedir. Tablo 4.3'te de görüldüğü gibi yedek parça talep yapısı revizyon dönemi (yılın ilk iki ayı) ve sonrasında oldukça farklılık göstermektedir. Bu nedenle iki dönem ayrı ayrı incelenmiştir.

Bölüm 3'te anlatılan modellerden dinamik programlama modelinin bu yapıya en uygun olacağı görülmektedir. Çünkü aynen modelin alındığı makaledeki gibi sistemde bulunan n adet tamir edilemeyen yedek parçanın revizyon ve revizyon sonrası (arızı) değişimleri talep yapısını oluşturmaktadır. Model, revizyon için gerekli yüklü alımları revizyon öncesi aylara yaymış, böylece daha az maliyetli bir stoklama oluşturmuştur. Modelin aşama aşama olması, sipariş miktarlarını içinde bulunulan zamanın hata olasılıklarına, revizyona uzaklığına ve eldeki stoka göre belirlmesi çözüm için seçim sebeplerinden en önemlileridir. Ayrıca yayın taramasında da incelenen diğer birçok modelde olduğu gibi yalnızca az sayıda parça içeren sistemlere uygulanmamaktadır.

Dinamik programın, çeşitli kıyaslamalar ile ve en azı 21 adet olan parçaların her biri için hesaplanması güç olacağından, çözüm için Excel Visual Basic ile yazılmış bir bilgisayar programı kullanılmıştır. (Bölüm 4.6). Programda çeşitli parametrelerin yerleri işaret edilerek ve değerleri girilerek sipariş miktarları ve maliyetler hesaplatılmaktadır.

Formül 3.18'de yer alan parametreler programın girdileridir. Öncelikle bu parametrelerin değerleri tespit edilmiştir. Değerler gerçek ve gerçeğe yakın olacak şekilde alınmış, yapılan varsayımlar aşağıda açıklanmaya çalışılmıştır.

Geçmiş kullanım miktarları aylık olarak alındığından kolaylık olması açısından periyotlar 1 aylık süre olarak belirlenmiş, program 12 periyot üzerinden çalıştırılmıştır. Plakaların temin süreleri de 30 gün (1 Ay) olarak düşünülmüştür. Gerçekte bu süre zaman zaman 45 günü bulmaktadır.

Firmadan alınan çeşitli bilgiler yardımıyla plakaların sipariş ve elde bulundurma maliyetleri bulunmuştur. (Tablo 4.4).

Tablo 4.3 Son 3 yıla ait plaka taleplerinin aylara göre dağılımı.

Plaka A													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	TOP.
2002	0	39	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	44
2003	19	30	4	0	0	0	0	0	12	2	1	0	68
2004	41	0	0	0	0	0	0	24	1	0	1	0	67
TOP.	60	69	4	0	0	0	0	24	13	2	4	3	179
3 YIL ORT.	20,00	23,00	1,33	0	0	0	0	8,00	4,33	0,67	1,33	1,00	59,67
ORAN	0,34	0,39	0,02	0	0	0	0	0,13	0,07	0,01	0,02	0,02	1
STD SAPMA (İlk 2 Ay)	18,38	STD SAPMA (3-12 Ay)											
ORT.	21,5	ORT.											
Plaka B													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	TOP.
2002	0	137	0	18	6	8	21	42	0	19	11	3	265
2003	24	66	0	0	0	8	0	0	26	0	25	10	159
2004	56	0	0	11	6	0	0	35	7	16	0	0	131
TOP.	80	203	0	29	12	16	21	77	33	35	36	13	555
3 YIL ORT.	26,67	67,67	0	9,67	4,00	5,33	7,00	25,67	11,00	11,67	12,00	4,33	185,00
ORAN	0,14	0,37	0	0,05	0,02	0,03	0,04	0,14	0,06	0,06	0,06	0,02	1
STD SAPMA (İlk 2 Ay)	51,94	STD SAPMA (3-12 Ay)											
ORT.	47,17	ORT.											
Plaka C													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	TOP.
2002	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
2003	0	0	2	0	0	0	0	0	0	3	0	0	5
2004	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
TOP.	8	10	2	0	0	0	0	0	0	3	0	0	23
3 YIL ORT.	2,67	3,33	0,67	0	0	0	0	0	0	1	0	0	7,67
ORAN	0,35	0,43	0,09	0	0	0	0	0	0	0,13	0	0	1
STD SAPMA (İlk 2 Ay)	4,69	STD SAPMA (3-12 Ay)											
ORT.	3	ORT.											
Plaka D													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	TOP.
2002	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
2003	0	0	2	0	0	0	0	0	0	3	0	0	5
2004	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
TOP.	8	10	2	0	0	0	0	0	0	3	0	0	23
3 YIL ORT.	2,67	3,33	0,67	0	0	0	0	0	0	1	0	0	7,67
ORAN	0,35	0,43	0,09	0	0	0	0	0	0	0,13	0	0	1
STD SAPMA (İlk 2 Ay)	4,69	STD SAPMA (3-12 Ay)											
ORT.	3	ORT.											

Tablo 4.3'ün devamı

Plaka D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	TOP.
2002	0	19	0	0	0	0	0	20	0	4	0	0	43
2003	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	1	0	16
2004	19	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	20
TOP.	19	19	15	0	0	0	0	21	0	4	1	0	79
3 YIL ORT.	6,33	6,33	5,00	0	0	0	0	7,00	0	1,33	0,33	0	26,33
ORAN	0,24	0,24	0,19	0	0	0	0	0,27	0	0,05	0,01	0	1
STD SAPMA (İlk 2 Ay)		9,81	STD SAPMA (3-12 Ay)			4,50							
ORT.		6,33	ORT.			1,37							

Tablo 4.4 Sipariş ve elde bulundurma maliyeti

ENVANTER MALİYET ANALİZLERİ

Kısım	Faaliyet	Personel (insan - dakika)				Kırtasiye (\$/sipariş)	Telefon ve Diğer (\$/sipariş)
		Satın Alma (dak.)	Ambar (dak.)	Muhasebe (dak.)	Telefon (dak.)		
Ambar	Satınalma Talebinin Oluşturulması		5			0,04	0,0028
	Siparişin Hazırlanması	5			7	0,04	0,3737
Satın Alma	Tedarikçiye Bildirilmesi (Bir tedarikçiye birden fazla ürün gönderilebilir)				5		0,2650
	Sipariş Takibi (Telefon görüşmeleri)				5		0,2656
Ambar	Ürün Gelişi / Sipariş Kontrolü (Ürün kamyonunda)		5				
	Teslim Alış, Ürün Kontrolü		20		3	0,02	0,1601
Ambar ve Muhasebe	Fatura Kontrolü		5	5	2	0,02	0,1071
TOPLAM		5	30	3	22	0,12	1,1742

Giydirilmiş Ortalama İşgören Maliyeti (\$/insan-ay) 2000

Aylık Çalışma Saati 225

Giydirilmiş Ortalama İşgören Maliyeti (\$/insan-dak.) 0,148

Sipariş Maliyeti (\$/sipariş) 11,21

İç Verim Oranı (%/ay) 3

Depo Kirası (\$/ay) 1000

Depo Efektif Hacmi (m³) 1200

Ürün Depo Kira Maliyeti (\$/m³-ay) 0,83

Ürünün Sigorta, Isınma ve İşçilik Maliyetleri (\$/m³-ay) 0,05

Ürünün Depolama Maliyeti (\$/m³-ay) 0,88

Sipariş ve Elde Bulundurma Maliyeti Hesaplamaları (Tablo 4.4):

Sipariş maliyeti hesaplamalarında bir sipariş için çeşitli bölümlerin harcadığı süreler ve kaynaklar tespit edilmeye çalışılmıştır. Hesaplamalar için uygulamanın yapıldığı şirkette kullanılan güncel ve gerçeğe yakın değer ve süreler alınmıştır:

Giydirilmiş ort. iş gören maliyeti: 2.807 YTL'dir ~ \$2000

Telefon birim ücreti: 0,072 YTL/dak ~ \$0,053

1 sayfa kağıt bedeli: 0,050 YTL ~ \$0,036 ve kartuş harcaması ile ~ \$0,04

Depo $600\text{m}^2 \times 4 \text{ m}$ olup yerden 2 m yüksekliğe kadar plaka stoklama yapılabilmektedir. O halde;

Depo Efektif Hacmi: $600 \times 2 = 1200 \text{ m}^3$ olur.

Ürünün sigorta, ısınma ve işçilik maliyetleri için ayda 150 YTL ~ \$110 harcandığı, bunun da m^3 başına ~ \$0,05 ettiği bulunmuştur.

Diğer maliyetler olarak elektrik enerjisi düşünülmüş, sipariş süresindeki bilgisayar kullanımı (SAP için) maliyetleri hesaplanmıştır. Ambar aylık enerji tüketiminin 682,5 kw-h olduğu öğrenilmiştir.

Elektrik birim ücreti: 0,089TL/kw-h ~ \$0,065

Tablo 4.4'te görüldüğü gibi maliyet kalemleri tespit edildikten sonra hesaplamalar yapılmıştır. Giydirilmiş ort. iş gören maliyeti, aylık çalışma saatine bölünerek 1 dakikalık işgücü maliyeti bulunmuş (\$0,148), sipariş için harcanan süreler ile çarpılıp kırtasiye, telefon ve diğer maliyetler ile toplanarak sipariş maliyeti \$11,21 olarak hesaplanmıştır. Ancak bu sipariş maliyeti 4 çeşit plakanın aynı siparişte bulunduğu toplam maliyet olduğundan $\$11,21/4 = \$2,8$ olan sipariş maliyeti her bir plakanın stok hesaplamasında kullanılacaktır. Ürünün depolama maliyeti ise, depo kirası efektif hacme bölündükten sonra sigorta, ısınma ve işçilik maliyetleri toplanarak \$0,88 olarak her çeşit plaka için aynı hesaplanmıştır.

Sonuç olarak bu varsayımlar ile, dinamik programlama modelinde kullanılacak sipariş maliyeti \$2,8 ve elde bulundurma maliyeti \$0,88 hesaplanmış olur.

Diğer Hesaplama ve Varsayımlar:

Revizyon sırasında plaka değişim olasılıkları binom dağılımından faydalanılarak hesaplanmış, geçmiş yıllardaki değişim miktarlarından yararlanılarak bu hesapta p değerleri her bir plaka için Tablo 4.5'teki gibi alınmıştır.

Tablo 4.5 Binom olasılığı için p değerleri

Plaka	p Değerleri
Plaka A	0,6
Plaka B	0,4
Plaka C	0,3
Plaka D	0,9

Plaka hata oranı (λn), geçmiş 3 yılın hata ortalamasına (Tablo 4.3'teki rassal arızı=revizyon sonrası dönem) eşit olacak şekilde Tablo 4.6'daki λ değerleri tespit edilmeye çalışılmıştır.

Tablo 4.6 λ Değerleri

Plaka	λ	λn
Plaka A	0,0204	1,67
Plaka B	0,0369	9,07
Plaka C	0,0081	0,17
Plaka D	0,0653	1,37

Revizyon öncesi ve sonrası için elde bulunmama maliyeti (penalty cost) \$1000 olarak alınmıştır.

Formül 3.18 $x(t)$ max. $2n$ sayıda alınmıştır. Bu aralık sistemdeki plaka sayısı ve talep olasılık dağılımı için yeterlidir.

4.5 Uygulama Sonuçları ve Değerlendirmeler

Gerekli tüm parametrelerin değerleri belirlendikten sonra Excel Visual Basic programı çalıştırılmış, her periyot ve eldeki stok miktarlarına göre verilmesi önerilen sipariş miktarları hesaplanmıştır. Revizyon döneminde ($t = 0$ periyodu) plaka değişimi için binom olasılık dağılımı, rassal arızı dönemde ($t \neq 0$ periyotları) ise poisson olasılık dağılımı kullanılmıştır. Her adımda beklenen toplam envanter maliyetini minimum kılacak sipariş miktarları tespit edilmiştir.

Bilgisayar programı, satırlarda periyot numarası, sütunlarda ise elde bulunan stok miktarı olacak şekilde çalışmaktadır. Ancak Plaka B, soğutma yapısında 246 adet olduğundan ve çözüm ($2n$ üzerinden yapılan) Excel sütunlarına sığmadığından bu plaka için programda ufak bir değişimle sütuna yazılan stok değerleri satıra, satıra yazılan periyotlar sütuna dönüştürülerek hesaplamalar yaptırılmıştır.

Dinamik programın çalıştırılması sonucunda her periyot ve eldeki her stok miktarı için bir sipariş miktarı önerilir. Programın çıktısı uzun bir tablo olduğundan burada

gösterilememiştir. Ancak sipariş miktarları (s, S) yapısındadır yani eldeki stok miktarı x , s 'ten küçük ise $S-x$ kadar sipariş verilir, değil ise sipariş verilmez. S , maksimum stok düzeyi, s ise yeniden sipariş noktasıdır. Buna göre her plaka için tüm periyotlarda bulunan sonuçlar şu şekildedir: (Tablo 5.1-5.4)

Tablo 5.1 Plaka A için (s, S) yapısı

t	$s(t)$	$S(t)$
1	62	65
2	8	10
3	9	11
4	8	12
5	8	12
6	8	12
7	8	12
8	8	12
9	8	12
10	8	12
11	8	12
12	8	12

Tablo 4.1'den bilindiği gibi soğutma sisteminde 82 adet Plaka A bulunmaktadır. Firma bu plaka için tüm periyotlarda min:25 max:40 adet olan bir politika izlemektedir. O halde bu modelle her bir rassal arıza döneminde en az 13 plakalık (\$1300) bir tasarruf söz konusudur. Ayrıca;

Plaka A için mevcut sistemle oluşmuş 3 senelik envanter sistemi maliyeti: \$900,72 (Gerçekleşmiş plaka alım ve stok miktarlarına, sipariş ve elde bulundurma maliyetleri uygulanarak hesaplanmıştır. Plaka maliyetleri dahil değildir.)

Plaka A için model kullanılmış olsaydı 3 senelik envanter sistemi maliyeti: \$769,92 (Modelle bulunan ve plaka çekişleriyle değişen alım miktarlarına, elde bulundurma ve sipariş maliyetleri uygulanarak hesaplanmıştır.)

O halde Plaka A için bu şekilde elde edilen maliyet avantajı da \$130,80 olmaktadır.

Soğutma yapısında 246 adet Plaka B yer almaktadır ve firmanın bu plaka stokları için belirlediği limitler min:50 max:100 adettir. Tablo 5.2'de görüldüğü gibi Plaka B için programın hesapladığı (s, S) yapısıyla her bir rassal arıza dönemi için en az 17 plakalık (\$1309) tasarruf sunulmaktadır.

Tablo 5.2 Plaka B için (s, S) yapısı

t	s(t)	S(t)
1	130	134
2	30	33
3	30	33
4	30	33
5	30	33
6	30	33
7	30	33
8	30	33
9	30	33
10	30	33
11	30	33
12	30	33

Ancak Plaka B için 2002 Şubat ayında gerçekleşen 137 adetlik talep, modelde elde bulunmama durumuna neden olmaktadır. Bu talep dağılımı bozmaktadır, bu sebeple maliyet avantajı hesabı yapılamamıştır. Ancak gerçekte bu tür dağılımı bozucu veriler gözardı edilerek hesaplamalar yapılabilir.

Soğutma sisteminde 21'er adet Plaka C ve Plaka D bulunmaktadır. Min:8 ve max:12 adet olan C plakaları için en az 5 plakalık (\$555) tasarruf sunulur.

Tablo 5.3 Plaka C için (s, S) yapısı

t	s(t)	S(t)
1	12	14
2	2	3
3	2	3
4	2	3
5	2	3
6	2	3
7	2	3
8	2	3
9	2	3
10	2	3
11	2	3
12	2	3

Ayrıca daha önce Plaka A için yapılan hesaplamadaki mantıkla;

Plaka C için mevcut sistemle oluşmuş 3 senelik envanter sistemi maliyeti: \$438,56

Plaka C için model kullanılmış olsaydı 3 senelik envanter sistemi maliyeti: \$265,36

bulunur. Plaka C için bu şekilde elde edilen maliyet avantajı da \$173,20 olmaktadır.

Sistemde min:10 ve max:21 adet kayıtlı olan Plaka D için ise bu yönden bakıldığında tasarruf görülmemektedir ancak toplam maliyetlerde (sipariş ve elde bulundurma maliyetini içeren) azalış gerçekleşir. Plaka D talepleri incelendiğinde, 2002 yılının Ağustos ayında meydana gelen 20 adetlik talep, modelde elde bulunmama durumuna neden olmaktadır. Bu talep dağılımı bozduğundan yine maliyet avantajı hesabı yapılamamıştır.

Tablo 5.4 Plaka D için (s, S) yapısı

t	s(t)	S(t)
1	24	26
2	7	9
3	7	10
4	7	10
5	7	10
6	7	10
7	7	10
8	7	10
9	7	10
10	7	10
11	7	10
12	7	10

Program, maliyetleri olasılık dağılımlarından faydalananarak “envanter sisteminin beklenen maliyetleri” şeklinde hesapladığından mevcut sistemle kıyaslamalar yukarıdaki gibi yapılmıştır.

Parametreler değiştirilerek temin süresi 45 gün olan denemeler de yapılmıştır. Sipariş seviyelerinin arttığı gözlenmiştir. Ancak bu sürenin stok değerlendirmelerinde sıkıntı yaratacağı düşünüldüğünden ve firmanın plaka temin süresini 30 güne düşürme çabalarından dolayı bu durum çalışmaya dahil edilmemiştir.

4.6 Bilgisayar Programı

Sub EvaluateDP()

' IN THIS VERSION, ANY UNITS SHORTAGE ARE EXPEDITED

' EXPEDITING REDUCES ANY OUTSTANDING ORDER QUANTITY

Worksheets("Costs").Activate

n = Worksheets("Costs").Cells(3, 2) ' # of units in system

lambda = Worksheets("Costs").Cells(4, 2) ' per unit failure rate

TT = Worksheets("Costs").Cells(5, 2) ' # of periods to evaluate

S = Worksheets("Costs").Cells(6, 2) ' fixed ordering cost

H = Worksheets("Costs").Cells(7, 2) ' carrying cost per unit per period

B0 = Worksheets("Costs").Cells(8, 2) ' expedite cost periods 1 .. TT

B1 = Worksheets("Costs").Cells(9, 2) ' expedite cost period 0

Row0 = Worksheets("Costs").Cells(2, 6) 'row # corresponding to t = 0

Col0 = Worksheets("Costs").Cells(3, 6) 'col # corresponding to x = 0

ProbRow = Worksheets("Costs").Cells(4, 6) ' row of demand probabilities

RepProbRow = Worksheets("Costs").Cells(6, 6) ' row of overhaul replacement probabilities

' Fill demand probability row

p = Exp(-lambda * n)

Worksheets("Costs").Cells(ProbRow, Col0) = p

For x = 1 To 2 * n

p = p * (lambda * n) / x

Worksheets("Costs").Cells(ProbRow, Col0 + x) = p

Next x

' evaluate border condition = period 0 shortage penalty

For x = 0 To n - 1 'enter period 0 with x units on hand

```

EShort = 0          'accumulator for expected # units shortage

For d = x + 1 To n   'need d units at replacement

EShort = EShort + (d - x) * Worksheets("Costs").Cells(RepProbRow, Col0 + d)

Next d

Worksheets("Costs").Cells(Row0, Col0 + x) = EShort * B1

Next x

For x = n To n * 2   ' enter period 0 with n or more units on hand

Worksheets("Costs").Cells(Row0, Col0 + x) = 0

Next x

' evaluate period t

CostSheet = "Costs"

For t = 1 To TT

QFlag = False

SmallS = 0

For x = 0 To n * 2 ' evaluate x units on hand at beginning of period

' evaluate order quantity of 0 units

MinCost = QCost(CostSheet, Row0 + t, Col0, ProbRow, 0, t, x, n, B0, S, H)

BestQ = 0

If QFlag = False Then

'evaluate order quantities 1 to n*2 - x (ordering up to n*2 on hand)

For Q = 1 To n * 2 - x

TempCost = QCost(CostSheet, Row0 + t, Col0, ProbRow, Q, t, x, n, B0, S, H) ' Cost
of ordering Q units

If TempCost < MinCost Then

MinCost = TempCost

BestQ = Q

```

```

End If
Next Q
End If

Worksheets("Costs").Cells(Row0 + t, Col0 + x) = MinCost

Worksheets("Order Quantities").Cells(Row0 + t, Col0 + x) = BestQ

If BestQ = 0 Then

QFlag = True ' larger values of x will have BestQ = 0

Else

SmallS = x ' largest x with Q > 0

End If

If x = 0 Then

BigS = BestQ

End If

Next x

Worksheets("sS Policy").Cells(Row0 + t, 2) = SmallS

Worksheets("sS Policy").Cells(Row0 + t, 3) = BigS

Next t

' NOW EVALUATE ALTERNATIVE POLICY,

' STEADY-STATE POLICY UNTIL PERIOD 1, THEN OPTIMAL PERIOD 1
POLICY

For t = 0 To 1 ' Periods 0 and 1 are same as optimal policy

For x = 0 To n * 2

Worksheets("Alternate").Cells(Row0 + t, Col0 + x) =
Worksheets("Costs").Cells(Row0 + t, Col0 + x)

Next x

Next t

For x = 0 To n * 2

```

```

Worksheets("Alternate").Cells(ProbRow, Col0 + x) =
Worksheets("Costs").Cells(ProbRow, Col0 + x)

Next x

CostSheet = "Alternate" ' Reference "Alternate" Cost sheet when calling QCost

For t = 2 To TT

For x = 0 To n * 2

If x <= SmallS Then

Q = BigS - x

Else

Q = 0

End If

TempCost = QCost(CostSheet, Row0 + t, Col0, ProbRow, Q, t, x, n, B0, S, H)

Worksheets(CostSheet).Cells(Row0 + t, Col0 + x) = TempCost

Next x

Next t

End Sub

Function QCost(CostSheet, Rowt, Col0, ProbRow, Q, t, x, n, B, S, H)

'Rowt = row corresponding to period t

'evaluate ordering Q units in period t

If Q > 0 Then ' apply ordering cost of S

CCost = S

Else ' apply ordering cost of 0

CCost = 0

End If

'd = demand during period t

For d = 0 To x

```

```

' current inventory of x covers demand of d units

' carrying cost of H levied on ending inventory of x - d + Q

' start period t-1 with x - d + Q units on hand

CCost = CCost + (H * (x - d + Q) + Worksheets(CostSheet).Cells(Rowt - 1, Col0 + x
- d + Q)) * Worksheets(CostSheet).Cells(ProbRow, Col0 + d)

Next d

If x < 2 * n Then      ' account for shortage events

For d = x + 1 To 2 * n

' shortage of (d-x) units realized

' expedite cost of B levied against (d-x) units shortage

' carrying cost of H levied against ending inventory of Q units

' start period t-1 with [Q - (d-x)](+) units on hand

' any outstanding order reduced by units expedited

If Q > d - x Then

BI = Q - (d - x)

Else

BI = 0

End If

CCost = CCost + (H * BI + B * (d - x) + Worksheets(CostSheet).Cells(Rowt - 1,
Col0 + BI)) * Worksheets(CostSheet).Cells(ProbRow, Col0 + d)

Next d

End If

QCost = CCost

End Function

```

BÖLÜM 5

5 SONUÇLAR

Tesis ve ekipmanlar için yedek parçalar çok pahalı olabilmektedir. Bu nedenle onları stokta tutmak hayli maliyetlidir. Ancak yüksek maliyetli duruşlar veya ekipman kullanılamazlığından kaçınmak için, gerektiğinde kullanmak üzere yedekler elde bulundurulur. Bu yüksek maliyet ve yüksek kritiklik ışığında, hizmetteki birimlerin rassal arızaları genellikle düşük hacimli, kesikli talep yapısı yaratır.

Rassal arıza değişimlerine ek olarak, bu parçaların kullanıldığı büyük sistemler için düzenli olarak planlı duruş ve önleyici bakım politikaları izleniyorsa yedek parçalara bu şekilde de talep doğar. Düşük hacimli arıza değişim taleplerine kıyasla önleyici bakım, bilinen bir zamanda çok sayıda birimin gerektiği bir talep yapısı oluşturur.

Bu çalışmada bakım ve envanter yönetiminden ayrı ayrı bahsedilmiş, yapıları özetlenmeye çalışılmıştır. Ardından bakım malzemeleri (MRO) konusunda ayrıntıya girilmiş; yapısı, önemi, lojistiği ve depolanması hakkında bilgiler verilmiştir. Yedek parçaların stok ve sipariş seviyeleri üzerine odaklanılmış, bu konuda literatürde bulunan çeşitli metotlar örneklerle açıklanmaya çalışılmıştır.

Uygulama, bir çimento fabrikasının kritik yedek parçalarından 4 tip plaka üzerine kurulmuştur. Bunların son 3 yıla ait talepleri elde edilmiş, metotlar için gerekli özellikleri tespit edilmiştir. Bu plakalar için iki çeşit talep doğmaktadır: yılın ilk 2 ayında gerçekleştirilen revizyon yenilemeleri ve arıza durumunda yenilemeler. Bu nedenle talep yapısı ikiye bölünerek daha uygun dağılımlar elde etmeye çalışılmıştır. Yedek parçaları için, deneyimlerine ve geçmiş yılların kullanım miktarına göre sistemde yaklaşık olarak min-max düzeyleri ve sipariş miktarları belirleyen firmaya ait bu plakalar için literatürdeki en uygun model olan Dinamik Programlama ile optimum sayıların bulunması amaçlanmıştır.

Seçilen pilot bölge ve parçalar için önerilen model uygulanarak stok seviyeleri düzenlenip maliyetten ciddi tasarruflar sağlanırsa, aynı yöntemler şirket maliyetinde önemli paya sahip diğer yedek parçalar için de uygulanacaktır. Zaten yedek parça maliyetlerini azaltmayı hedefleyen ve bu doğrultuda bir proje ekibi oluşturmuş firma için, önerilecek model çalışmalarına katkı sağlayacaktır.

Gelecek araştırmalar farklı temin süreli, farklı arıza olasılık dağılımları gösteren çeşitli parçalar için bu modelin uygulanması konulu olabilir. Model, tamir edilebilir yedek parçalar için geliştirilebilir. Bilgisayar programı, arızaların olasılık dağılımı için önceden belirlenen λ , p gibi değerleri, istatistik verilerin girilmesiyle hesaplayacak şekle dönüştürülebilir. Programın uygun olasılık dağılımlarını önermesi sağlanabilir.



KAYNAKLAR

- Arnold, J.R.T., Chapman, S.N., 2004,** Introduction to Materials Management, Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River.
- Aronis, K.P., Magou, I., Dekker, R., Tagaras G., 2004,** Inventory control of spare parts using a Bayesian approach: A case study, *European Journal of Operational Research*, **154**, 730-739.
- Braglia, M., Grassi, A., Montanari, R., 2004,** Multi-attribute classification method for spare parts inventory management, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, **10-1**, 55-65.
- Chang, P-L., Chou, Y-C., Huang, M-G., 2005,** A (r, r, Q) inventory model for spare parts involving equipment criticality, *International Journal of Production Economics*, **97**, 66-74.
- Corder, A.S., 1976,** Maintenance Management Techniques, Mc-Graw Hill, London.
- Dekker, R., Kleijn, M.J., de Rooij, P.J., 1998,** A spare parts stocking policy based on equipment criticality, *International Journal of Production Economics*, **56-57**, 69-77.
- Dhakar, T.S., Schmidt, C.P., Miller, D.M., 1994,** Base stock level determination for high cost low demand critical repairable spares, *Computer and Operations Research*, **21-4**, 411-420.
- Erkovan, İ., 1990,** Klinker Üretim Tekniği, Çitosan Eğitim ve Ders Notları Serisi, Ankara.
- Guide, V.D.R.Jr., Srivastava, R., 1997,** Repairable inventory theory: Models and applications, *European Journal of Operational Research*, **102**, 1-20.
- Huiskonen, J., 2001,** Maintenance spare parts logistics: Special characteristics and strategic choices, *International Journal of Production Economics*, **71**, 125-133.
- Kanber, H., 2005,** Kişisel Görüşme, AkçanSA Çimento Bakım Planlama Şefi.

- Kalchschmidt, M., Zotteri, G., Verganti R.**, 2003, Inventory management in a multi-echelon spare parts supply chain, *International Journal of Production Economics*, **81-82**, 397-413.
- Kelley, J., Schneider, K.**, 2003, Slash maintenance inventory costs-Five steps for managing MRO parts, <http://www.thefabricator.com>
- Kennedy, W.J., Patterson, J.W., Fredendall, L.D.**, 2002. An overview of recent literature on spare parts inventories, *International Journal of Production Economics*, **76**, 201-215.
- Öztürk, A.**, 1997, Yöneylem Araştırması, Ekin Kitabevi Yayınları, Bursa.
- Schonberger, R.J., Knod, E.M.Jr.**, 1994, Operations Management, Burr Rich, Irwin INC.
- Sueur, M.L., Dale, B.G.**, 1998, The procurement of maintenance, repair and operating supplies: a study of the key problems, *European Journal of Purchasing & Supply Management*, **4**, 247-255.
- Tanyaş, M.**, 2001, Bakım Yönetimi Ders Notları.
- Vaughan, T.S.**, 2005, Failure replacement and preventive maintenance spare parts ordering policy, *European Journal of Operational Research*, **161**, 183-190.
- Walker, J.**, 1997, Base stock level determination for “insurance type” spares, *International Journal of Quality and Reliability Management*, **14-6**, 569-574.
- Winston, W.L.**, 1994, Operations Research: Applications and Algorithms, Duxbury Pres, California.
- Waters, C.D.J.**, 1992, Inventory Control and Management, John Wiley & Sons, England.
- Yang, S.C., Du, Z.W.**, 2004, Criticality Evaluation for Spare Parts Initial Provisioning, *IEEE*, 507-513.

ÖZGEÇMİŞ

03.02.1979 tarihinde İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini aynı şehirde tamamladıktan sonra 1997-2001 yıllarında İstanbul Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde öğrenim gördü. Yaz stajlarını Arçelik A.Ş. Çayırova ve Ford Otosan A.Ş. Acıbadem Fabrikalarında tamamladı. Döneminin en yüksek bölüm ortalamasıyla mezun oldu. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Mühendislik Yönetimi yüksek lisans programında öğrenime başladı. Lisans ve yüksek lisans öğrenimi süresince Vehbi Koç Vakfı tarafından burs almaya hak kazandı 2002-2004 yıllarında Uzel Makina San. ve Tic. A.Ş.'de satınalma uzmanı olarak çalıştı. Aralık 2004'te Akçansa Çimento San. ve Tic. A.Ş.'de tesis mühendisi olarak çalışmaya başlamıştır.

Dilek Kılıçay İngilizce bilmekte, halen yüksek lisans öğrencisi olarak öğrenimine devam etmektedir.