

SÜREKLİ GÖZDEN GEÇİRME STOK KONTROL MODELLERİ (*)

— TCK 12. BÖLGE STOK KONTROL SİSTEMİNİN ÖRNEK OLAY İNCELEMESİ —

Prof. Dr. DEMİR ASLAN (**)

1. GİRİŞ ve TEORİ

Süreklî gözden geçirme stok modeli olasılığa dayalı (probabilistik) bir model türüdür. Stok düzeyi süreklî olarak gözden geçirilir ve bu düzey belli bir yeniden sipariş noktasına (reorder point) erişince, belli bir miktar sipariş verilir. Modelin ana amacı, birim zaman başına, toplam stok maliyetini minimum kılacak sipariş miktarını ve yeniden sipariş noktasını bulmaktır.

Herhangi bir zamanda stok düzeyi, S_i , yeniden sipariş noktasına, r , veya bunun altına düşünce sipariş verilir ve sipariş miktarı :

$$m_i = R - S_i$$

birim olur. Literatürde bu durumun (R,r) stok politikası olduğu bilinmektedir. Eğer her seferinde sipariş edilen miktar $S_i = r$ olduğu zaman stoktaki yerini alırsa, bu miktar $m_i = R - r$ kadar olacaktır. Böyle bir durumda genel (R,r) modelinin bir varyasyonu olan ve (Q,r) modeli - ki biz bunu (m,r) olarak gösteriyoruz- diye bilinen stok modeli söz konusu olur. Bu tür modele genel olarak "sabit sipariş miktarlı stok modeli" ismi verilmektedir ki, "m" sabit yığın hacmi, "r" ise yeniden sipariş noktası olmaktadır. Şayet $r=R$ ise stok yenileme siparişleri stoktaki malzemenin her kullanımından sonra verilir. Bu durumda sipariş miktarı stoktan çekilen ya da kullanılan miktara eşit olmaktadır. Ohalde "eldeki miktar + sipariş miktarı düzeyi" daima R kadar olacaktır. R düzeyi temel stok düzeyi olduğundan bu tür stok politikası "temel stok politikası" olarak isimlendirilir.

(*) Bu çalışma 23-25 Mayıs, 1977 de İzmir'de yapılan Yöneylem Araştırması 3. Ulusal Kongresi'ne bildiri olarak sunulmuştur.

(**) A.Ü. İşletme Fakültesi Öğretim Üyesi

Burada sürekli gözden geçirme stok modellerinin Başlıcalarından olan 4 tür model incelenecektir.

1. 1— Karşılanamayan Siparişli Sabit Sipariş Miktarlı Model

Stokun sürekli olarak gözden geçirildiği ve belli bir 'r' yeniden sipariş noktasına erişmesi halinde 'm' kadar siparişin verildiği probabilistik bir model türüdür. Amaç, r ve m nin optimal düzeylerini tesbit etmektir. Böylece toplam stok maliyeti minimum kılınabilecektir.

Sıklık, z, iki siparişin gelmesi arasında geçen zamandır. Önzamanın -siparişin verilmesi ile teslimatın yapılması arasındaki zaman-stokastik olduğu bu modelde yerine getirilemeyen talepler karşılanamayan sipariş durumundadır. Bu durumda mal yokluğu söz konusu olmaktadır. Önzaman süresince talebin dağılımı, talebin vuku bulunması durumunda, zamandan bağımsızdır. Aynı zamanda bu talep hiç bir zaman "r" den büyük değildir ve bu nedenle fevkaladeden bir sipariş söz konusu olmamaktadır.

$f(x/\bar{o})$, x kadar talebin \bar{o} önzamanındaki olasılık dağılımının fonksiyonu olsun, ($x > 0$).

$g(\bar{o})$, "ö" önzamanının olasılık dağılımı fonksiyonu, ($\bar{o} > 0$).

$h(x)$, "x" talebinin önzamandaki mutlak olasılık dağılımı fonksiyonu olup

$$= \int_0^{\infty} f(x/\bar{o}) g(\bar{o}) dz \text{ dir.}$$

Toplam yıllık maliyet fonksiyonu, ortalama tedarik masrafını, \bar{s} , umulan stokta bulundurma masrafını, b, ve umulan noksan stok masrafını, n, kapsar. Umulan stok bulundurma masrafı bir dönemin başında ve sonundaki umulan net stoka dayandırılmıştır. Bir sıklık sonundaki umulan stok düzeyi $E \{r-x\}$ e eşittir. "m" kadar sipariş alınır-alınmaz, yani bir sıklığın başında umulan stok düzeyi:

$m + \{E \{r-x\}$ e eşittir. Bunun anlamı sıklık başına ortalama stokun

$$\bar{s} = \frac{(m + E \{r-x\}) + E \{r-x\}}{2} - (m/2) + E \{r-x\}$$

olmasıdır.

Belli bir $h(x)$ e göre,

$$E\{r-x\} = \int_0^{\infty} (r-x) h(x) dx = r - E(x) \text{ dir. } \bar{s} \text{ ifadesi noksan}$$

stok durumunu, yani $r-E(x)$ in negatif olması halini ihmal etmektedir ki bu durum modelin basitleştirici bir yaklaşımı olarak kabul edilebilir. Sıklık başına karşılanamayan noksan stok miktarı " k " ise,

$$n(x) = \begin{cases} 0, & x \leq r \\ x-r, & x > r \end{cases}$$

Bu durumda sıklık başına umulan noksan stok miktarı :

$$\bar{k} = \int_0^{\infty} k(x) h(x) dx = \int_r^{\infty} (x-r) h(x) dx$$

(Yukarıki ifadelerde $m/2$ sıklık stoku olup, $r-E\{x\}$ emniyet stokudur). Yılda (bir dönem) t/m kadar sipariş olduğundan yıllık umulan nok-

san stok $\frac{t\bar{k}}{m}$ olacaktır. Bu verilere göre stok sisteminin yıllık top-

lam maliyeti :

$$TM(m,r) = \frac{ts}{m} + b \left(\frac{m}{2} + r - E\{x\} \right) + \frac{nt\bar{k}}{m} \quad (1)$$

(1) eşitliğindeki son terimin, zaman nazara alınmadan, sadece noksan stok miktarı ile orantılı olduğu açıktır. Hemen eklemek gerekir ki bu da bir basitleştirmedir. Zira noksan stok masrafının, (özellikle karşılanamayan siparişte) noksan stok zamanının bir fonksiyonu olduğu da bilinmektedir. Toplam maliyet fonksiyonunu minimize edecek m_0 ve r_0 değerlerini bulmak için (1) eşitliğinin türevinin alınması gerekir :

$$\frac{dTM}{dm} = - \left(\frac{ts}{m^2} \right) + \frac{b}{2} - \frac{nt\bar{k}}{m^2} = 0 \quad (2)$$

Buradan " m " nin optimum değeri olan m_0 değerini bulmak mümkündür :

$$m_0 = \sqrt{\frac{2t(s + n\bar{k})}{b}} \quad (3)$$

Ve,

$$\frac{dTM}{dr} = b - (nt/m) \int_r^{\infty} h(x) dx = 0$$

$$\int_{r_0}^{\infty} h(x) dx = \frac{b m_0}{nt} \quad (5)$$

Yukarki eşitliklerden de anlaşılacağı gibi m_0 ve r_0 in açık (eksplisit) çözümlerini yapmak mümkün değildir. (5) eşitliğine göre önzaman zarfında noksan stok ihtimalinin bm/nt olduğu noktada, belli bir m yiğini için, 'r' yeniden sipariş noktası seçilmelidir.

Toplam maliyeti minimize edecek (m_0, r_0) optimal çözüm çiftini bulabilmek için sonlu iterasyonlarla çözüme ulaşmayı sağlayan algoritma uygulamak gerekir. Bu algoritmaya Hadley-Whitin algoritması denmektedir. Algoritmayı şöyle açıklamak mümkündür :

(3) denkleminde \bar{k} olsa olsa sifıra eşit olur. Böyle bir durum da bize $\sqrt{\frac{2ts}{b}}$ nin en küçük m_0 değerini vereceğini gösterir. Eğer $r = 0$ ise

$$m_0 = \hat{m} = \frac{2t(s + nEx)}{b} \quad (6)$$

Ve, (5) eşitliğinden de,

$$m_0 = \bar{m} = \frac{nt}{b} \quad (7)$$

Algoritma $\bar{m} \geq \hat{m}$ ise m_0 ve r_0 in optimal değerleri vardır ve çözüm tektir. Bu optimal değerleri bulmak için sonlu iterasyonlara başvurmak gerekir :

Önce $m_1 = \sqrt{\frac{2st}{b}}$ formülü ile m_0 in ilk sinama değeri bulunur.

Sonra (5) denklemi ile m_1 e karşılık gelen r_1 değeri bulunur. Bu r_1 değeri kullanılarak yeni bir m_2 sinama değeri hesaplanır (3) denklemi kullanılarak). Daha sonra yine (5) denklemi kullanılarak m_2 ye karşılık gelen r_2 değeri hesaplanır. İterasyonlar $m_i \cong m_{i-1}$ veya $r_i \cong r_{i-1}$ oluncaya kadar tekrarlanır. Bu eşitliklere ulaşıncaya son he-

saplanan "m" ve "r" değerleri aranan optimum m_0 ve r_0 değerleridir. Algoritmanın herhangi bir anında $\frac{bm}{nt} > 1$ elde olunursa bunun anlamı; net stok yoluyla eldeki stokun bulunması yaklaşımı yetersiz kalmakta ve daha kesin bir model gerekmektedir.

Eğer önzaman bir rastgele (random) değişken ise, bir başka deyimle, $g(\delta)$ gibi bir yoğunluk fonksiyonu ile gösterilebiliyorsa, $h(x)$ in $f(x/\delta)$ şartlı dağılımından türeyen önzaman talebinin marjinal dağılımı olduğu varsayılabilir. Öyleki,

$$h(x) = \int_0^{\infty} f(x/\delta) g(\delta) d\delta \quad (8)$$

Siparişlerin verilmeleri arasında geçen zaman aralığı, çoğu durumlarda, çok kısa olmadığından yukarıda izah edilmeğe çalışılan yöntem oldukça tutarlıdır.

1.2 — Sabit Sipariş Miktarlı ve Satış Kayıplı Model.

Bu tür modelde de stok sorunu (1.1) alt ayırımında incelenen model türünde olduğu gibi mütalea edilmektedir. Bu modelde mal yokluğu (noksan stok) değişkeni olan "n" aynı zamanda satış kayıplarını (bir açıdan kâr kayıpları) da içermektedir. Sıklık'ı siparişlerin alınmaları arasında geçen zaman olarak kabul edersek, ortalama sıklık " \bar{z} " dir. Eldeki stok miktarı pozitif ise \bar{z}_1 , sıfır ise \bar{z}_2 diyoruz. Karşılanamayan sipariş durumunun olmadığı varsayılırsa -ki modelin yapısı olarak böyledir-

$\bar{z}_1 = m/t$ olacaktır. Yıllık ortalama sıklık sayısı ise

$$\bar{z}_1^{-1} = (z_1 + z_2)^{-1} = \frac{t}{m + tz_2} \quad \text{olur.} \quad (9)$$

mal yokluğu maliyeti küçük değilse \bar{z}_1 , m/t den çok küçük olur ve yıllık umulan sıklık sayısı t/m ye yaklaşır. Deterministik basit stok modellerinde de sıklık sayısının (t/m) olduğu malumdur. Sıklık başına tedarik masrafı $s + fm$ ve mal yokluğu maliyeti ise $n\bar{k}(r)$ dir. ($\bar{k}(r)$ satış kayıplarının umulan sayısıdır.)

Bir sıklığın sonunda eldeki umulan stok miktarı :

$$\begin{aligned} \bar{a}_s(r) &= \int_0^r (r-x) f(x) dx = \int_0^{\infty} (r-x) f(x) dx + \int_r^{\infty} (x-r) f(x) dx \\ &= r - \mu + \bar{k}(r) \end{aligned} \quad (10)$$

Sıklık boyunca eldeki stok minimum olarak $\bar{a}(r)$ ve maksimum olarak $\bar{a}(r) + m$ kadardır. Buna göre ortalama stok :

$$\bar{S} = (m/2) + (r - \mu) + \bar{k}(r) \quad (11)$$

Sıklık başına ortalama maliyeti şöyle yazabiliriz :

$$s + fm + (bm/t) [(m/2) + (r - \mu) + \bar{k}(r)] + n \bar{k}(r) \quad (12)$$

Bu değeri yıllık umulan sıklık sayısı ile çarparak yıllık toplam maliyet fonksiyonuna ulaşmak mümkün olacaktır :

$$TM(m, r) = \frac{st}{m} + ft + b\left[\frac{m}{2} + r - \mu\right] + \left(b + \frac{nt}{m}\right) \bar{k}(r) \quad (13)$$

Optimalite için $dTM/dm = 0$ ve $dTM/dr = 0$ şartları nazara alınınca :

$$m = \sqrt{\frac{2t [s + n \bar{k}(r)]}{b}}$$

$$P'(r) = \frac{bm}{bm + nt} \quad (14)$$

Bu eşitlikler de iteratif işlemlere elverişlidir.

1.3 — Sabit Önzamanlı Stok Sistemi Modeli

Bu tür modelde de basitleştirici varsayımlardan hareket edilmekte ve $m = 1$ kılındığında sistem sabit sipariş miktarlı modele benzerdir. Durum bu olunca temel stok düzeyini

$$R = r + m = r + 1 \quad (15)$$

olarak yazmak mümkündür. Bu tür modelde sorun temel stok düzeyi olan R yi belirlemektir. Modele göre net stok (R, x) olup, mal yokluğu karşılanamayan sipariştten doğmaktadır. Stok yenilemenin önzamanı, \bar{o} , sabittir. "x" önzaman talebi olup, statik $f(x)$ ihtimal yoğunluk fonksiyonuna sahiptir. Bu durumda herhangi bir zaman noktasında umulan eldeki stok,

$$\bar{S} = \int_0^R (R-x) f(x) dx \quad (16)$$

ve umulan karşılanamayan sipariş miktarı,

$$\bar{k} = \int_R^{\infty} (x-R) f(x) dx \quad (17)$$

dir. Sistemin maliyet modeli bu ikisinin toplamı olarak belirlenecektir ki,

$$\begin{aligned} TM(R) &= b \bar{S} + \hat{n} \bar{k} \\ &= b \int_0^R (R-x) f(x) dx + \hat{n} \int_R^{\infty} (x-R) f(x) dx \quad (18) \end{aligned}$$

Bu eşitlikte ilk defa görülen \hat{n} : birim zamanda bir birim karşılanamayan noksan siparişin hasil ettiği masraftır. Modele göre stok politikası siparişin her talepten sonra yerine getirileceğini gerektirdiğinden "s" sabit sipariş masrafını dahil etmeğe gerek kalmamaktadır. Aynı düşünce tarzı ile, değişir tedarik masrafı olan "f" nin de ihmal edilebileceği sonucuna varabiliriz. Toplam maliyet denklemini minimum kılacak optimum R değeri için türev fonksiyonu şöyle olacaktır :

$$\frac{dTM}{dR} = b \int_0^R f(x) dx - \hat{n} \int_R^{\infty} f(x) dx = 0 \quad (19)$$

(19) türev eşitliğinden aşağıdaki değerleri bulabilmekteyiz :

$$P(R_0) = \frac{\hat{n}}{b + \hat{n}}$$

veya,

$$P'(R_0) = \frac{b}{b + \hat{n}}$$

Bu model daha çok bozulabilir malzeme ve modası hemen geçebilen malzeme için daha elverişlidir.

1.4 — Değişir Önzamanlı Stok Sistemi Modeli

Önceki modellere nazaran daha kompleks olan bu model türünde stok yenilemenin önzamanı random değişkendir. Bu tür modeli "Kuyruk Teorisi" nin stok problemlerine uygulanışı olarak ta görmek mümkündür. Queueing teorisindeki terimlerle stok sistemindeki te-

rimlerin birbirlerine karşılık gelenlerini sayarsak iki teori arasındaki ilişki daha iyi görülebilir :

Kuyruktaki müşteri = Taleb

Servis zamanı = Önzaman

Servis Kanalları Sayısı = Satış kaybı durumunda R, karşılanamayan sipariş durumunda sınırsız.

Sistemdeki birim sayısı = Siparişteki birim sayısı

Bekleme hattı (Waiting-Line) yoktur. Gelişler Poisson, servis zamanı ise eksponansiyel olarak dağılmıştır.

Yukarıki karşılaştırma açısından hareket ederek stok sisteminin teorik yapısı aşağıdaki gibi açıklanabilir : Önzaman, "öö", g(ö) = ve^{vo} yoğunluğuna sahip ve eksponansiyel olarak dağılmış bir random değişken olsun. Taleb "p" parametrelili bir Poisson dağılımı gösterebilir, öyleki "z" zaman aralığında olasılık kütle fonksiyonu :

$$P(x, pz) = \frac{e^{-pz} (pz)^x}{x!} \quad (21)$$

Görüldüğü gibi bu fonksiyon bilinen Poisson yoğunluk fonksiyonudur. Bu noktadan itibaren yapılmasına çalışılan yaklaşım, herhangi bir zamanda net stokun olasılık dağılımını bulma çabasıdır. Bulunacak dağılım, yer geldikçe, birim zaman başına umulan kayıpların hesaplanmasında kullanılacaktır. Talebin kesikli olduğunu varsayalım. "o_j" olasılık olsun, öyleki net stok düzeyi, "S_n", "j" dir. Satış kaybı durumunda j = 0, 1, 2, ..., R dir. Karşılanamayan sipariş durumunda ise j = ..., -2, -1, 0 + 1, ..., R olmaktadır. Böyle bir sürecin modelleştirilmesi için siparişteki birim sayısının (R-S_n) kadar olduğunu düşünmek daha uygun ve kolaylaştırıcı bir yaklaşım olur. "j" zamanda siparişteki miktarın olasılığını "M_i" ile gösterelim. Bu ifade şekline göre M_i = o_{R-i} olur ki, gerek satış kaybı gerekse karşılanamayan sipariş durumlarında i = 0, 1, 2, ..., R dir.

Karşılanamayan sipariş durumu için sürekli durum denklemleri :

$$vM_1 - pM_0 = 0$$

$$(i + 1)vM_{i-1} + pM_{i-1} - (p + iv)M_i = 0, (i = 1, 2, \dots) \quad (22)$$

Satış kaybı durumu için denklemler :

$$vM_1 - pM_0 = 0 \quad (23)$$

$$(i + 1)vM_i + pM_{i-1} - (p + iv)M_i = 0, (i = 1, 2, \dots, R-1)$$

$$pM_{R-1} - RvM_R = 0$$

$$\text{Olasılık teorisi gereği gerekli şartlar : } \sum M_i = 1, 0 \leq M_i \leq 1 \quad (24)$$

Karşılanamayan sipariş durumu için (22) ve (24), satış kaybı durumu için (23) ve (24) denklem çiftlerinin çözümü, sırasıyla, şunları verir :

$$M_i = \frac{1}{i!} (p/v)^i e^{-p/v}, \quad (i = 0, 1, 2, \dots) \quad (25)$$

ve,

$$M_i = \frac{1}{i!} (p/v)^i \left[\sum_{k=0}^R \frac{1}{k!} (p/v)^k \right]^{-1}, \quad (i = 0, 1, \dots, R) \quad (26)$$

Bu sürekli durum olasılıklarını kullanarak optimal stok düzeyini, R, belirleyecek bir maliyet modeli geliştirilebilir. Eğer karşılanamayan sipariş durumu söz konusu ise, $i = R-j$ olmak suretiyle net stok düzeyi olasılığını, (25) eşitliğini kullanarak, elde edebiliriz :

$$o_j = \frac{1}{(R-j)!} (p/v)^{R-j} e^{-p/v}, \quad (j = \dots, -1, 0, +1, \dots, R) \quad (27)$$

(p/v) oranına "u" dersek, eldeki ortalama stok,

$$\begin{aligned} \bar{S} &= \sum_{j=0}^{\infty} j o_j = \sum_{j=0}^R j \frac{1}{(R-j)!} u^{R-j} e^{-u} \\ &= RP(R-1, u) - uP(R-2, u) \end{aligned} \quad (28)$$

Bu son eşitliğin -hemen üst tarafındaki eşitliğin sağ tarafı nazara alınırsa- yığımlı Poisson dağılımı olduğu kolayca anlaşılabilir.

Ortalama karşılanamayan sipariş düzeyi için de eşitlikleri yazmak mümkündür :

$$\begin{aligned} \bar{k} &= - \sum_{j=-\infty}^0 j o_j = - \sum_{j=-\infty}^0 j \frac{1}{(R-j)!} u^{R-j} e^{-u} \\ &= RP(R-1, u) - uP(R-2, u) - (R-u) \\ &= \bar{S} - (R-u) \end{aligned} \quad (29)$$

Birim zamanda karşılanamayan sipariş sayısının, "p" talep oranı olasılığı ile sistemin stoksz zaman olasılığı çarpımı olacağı açıktır. Bu ifadeyi eşitlik şeklinde göstermek istersek :

$$\begin{aligned}
 k_s &= \sum_{j=-\infty}^{\infty} o_j = \sum_{j=-\infty}^{\infty} \frac{1}{(R-j)!} u^{R-j} e^{-u} \\
 &= \sum_{k=R}^{\infty} \frac{1}{k!} u^k e^{-u} \\
 &= 1 - P(R-1, u)
 \end{aligned} \tag{30}$$

yazabiliriz.

Sistemin birim zamandaki ortalama maliyeti şöyle yazılabilir :

$$TM(R) = b\bar{S} + \hat{n}\bar{k} + npk_s$$

(\bar{S}), (\bar{k}) ve (k_s) değerlerini bu eşitlikte yerine koyarak ve benzeyen terimleri paranteze alarak yazarsak :

$$TM(R) = (b + \hat{n}) [RP(R-1, u) - uP(R-2, u)] - \hat{n}(R-u) + np [1-P(R-1, u)] \tag{31}$$

Toplam maliyet denkleminin birinci farkını alırsak :

$$\Delta TM(R) = TM(R+1) - TM(R) - (b + \hat{n}) P(R, u) - np P(R, u) - \hat{n} \tag{32}$$

yazabiliriz.

Satış kaybı durumu için sürekli durum denklemi (23) te verilmiştir. Bu eşitliğin çözümü bize aşağıdaki sonuçları verecektir :

$$M_0 = \frac{e^{-u}}{P(R, u)} \text{ olduğu zaman}$$

$$M_i = \frac{1}{i!} (p/v)^i M_0 \text{ dir} \tag{33}$$

Bu durumda olasılık :

$$o_j = \frac{1}{(R, j)!} u^{R-j} \frac{e^{-u}}{P(R, u)} \tag{34}$$

Satış kaybı durumunda ortalama stok :

$$\bar{S} = R - \frac{uP(R-1, u)}{P(R, u)} \tag{35}$$

Umulan karşılanamayan sipariş sayısı ise :

$$k_s = \frac{u^R e^{-u}}{R! P(R, u)} \quad (36)$$

(35) ve (36) eşitliklerini kullanarak satış kayıplı durum için toplam maliyet fonksiyonu geliştirilebilir :

$$TM(R) = (b + \hat{n}) \left[R - \frac{uP(R-1, u)}{P(R, u)} \right] - \hat{n}(R-u) + np \left[\frac{u^R e^{-u}}{R! P(R, u)} \right]$$

2 — TCK 12. Bölge Stok Kontrol Sisteminin Örnek Olay İncelemesi

Bölge merkezi Erzurum'dadır. Bir bina stok servisi ve ambarı olarak kullanılmaktadır. Stok ambarı "koordinat indeks sistemi" ne uygun biçimde düzenlenmiştir. Stok anbarındaki malzemeler karayolları yapım ve servis araçlarının bakım ve onarımı için gerekli olan malzemeler olup, demirbaş malzeme ambarı ve servisi ayrıdır. Kurumda mevcut araçların niteliklerine ve modellerine göre gerekli bütün parçalar için birer stok kartı vardır. Yeni gelen bir araç için aracın genel kataloğuna göre parçalar için bir kart (ambar kartı) açılır. Bu kart stoklama için gerekli bilgi hanelerini içeren bir karttır. Ayrıca koordinat sistemindeki her gözde bir kart daha vardır. Her iki kartta da giren ve çıkan malzeme muntazaman kaydedilmektedir. Bu suretle stok durumu sürekli biçimde kontrol altında tutulmaktadır.

Stoklama sisteminin genel işleyişi şöyledir : Genel Müdürlük bölgelerden yıllık ihtiyaç listeleri istemektedir. Bu listelere göre gerekli malzemeler ithal yoluyla veya iç piyasadan sağlanıp ana depolarda stoklanmakta, peyderpey bölgelere dağıtım yapılmaktadır. Ancak, çoğu zaman özellikle tamir için gerekli yedek parça zamanında ve yeterli miktarlarda sağlanamadığı için bölge talebelerini karşılamakta güçlük çekilmektedir. Bu gibi durumlarda bölgeler ihtiyaçlarını, bulmak mümkün olursa, piyasadan mübayaaya yoluyla karşılamaktadırlar.

Genel Müdürlük bölgelerdeki malzeme stok durumunu yakından takip etmektedir. Zaman zaman bir bölgedeki herhangi bir malzemenin, âcil ihtiyaç duyulan bir başka bölgeye gönderilmesi sağlanmaktadır.

Stok miktarı genel olarak 6 aylık ihtiyaç için maksimum ve 2 aylık ihtiyaç için minimum düzeyde tutulma kuralına bağlıdır. Ancak, işlerin ve hizmetin aksamaması için bu kurala fazla uyulmamakta ve

maksimum olarak kabul edilen miktarın üstünde stok düzeyine rastlanabilmektedir.

Stoktaki malzeme genellikle (yukarda değinildiği üzere) bakım ve onarım için kullanılıyor. Bakım malzemeleri belirli aralıklarla aracın normal bakımı için sarfedilmektedir. Örneğin yağ filtresi, yakıt filtresi gibi malzemeler bu türdendir. Aracın markasına göre yağ filtresi 200-250 saatte bir, yakıt filtresi ise 400-500 saatte bir değiştirilmektedir. Ancak, değiştirme için ihtiyaç süresi değişir mahiyet arz etmektedir. Mevsim ve çalışılan iş-arazi koşullarına göre süre değişebilmektedir. Motor parçaları, rulmanlar, conta takımları gibi malzemeler tamir malzemeleri olarak kullanılmaktadır.

Örnek olay incelemesi için 2 tane bakım ve 1 tane de tamir malzemesi ele alınmıştır. Bu malzemeler en çok işlem gören malzeme tipleri oldukları için seçilmişlerdir. Adı geçen malzemelerin stok hareketleri 1976 mali yılı için kartlarından takip edilerek analize tabi tutulmuşlardır. Malzeme maliyet fiyatları kartlardaki kayıtlardan takip edilebilmektedir. Stok bulundurma masrafı malzeme fiyatının % 15'i olarak Genel Müdürlükçe tesbit edilmiştir. Sabit sipariş masrafını sağlıklı biçimde tesbit mümkün olamamıştır. Ancak, kırtasiye, bir siparişin hazırlanması için gerekli işgücünün bu zamana isabet eden parasal karşılığı gibi bazı masraf unsurları nazara alınarak bu masraf türü 50.— TL olarak alınmıştır. Noksan stoktan doğan masraf için bir aracın parça bekleme nedeni ile çalışmaması sonucu vuku bulabilecek kayıplar nazara alınmıştır: Çalışmayan aracın operatör ücreti, bu araç müteahhide verilseydi getireceği kira bedeli (ki bu rakamlar araç cinslerine göre bellidir) gibi unsurlar dikkate alınarak bu masraf türünün hesaplanması yoluna gidilmiştir. Taleb dağılımı ortalaması ve bu ortalamanın standard sapması gibi veriler tarafımızdan hesaplanmıştır. Değişik zamanlarda gelen malzemenin ambara iki girişi arasındaki (sıklık zamanı) talep miktarları ve gün sayılarından hareket edilerek talebin olasılık dağılımı elde olunmuştur.

Yukarda değinilen üç tür malzeme için yapılan analizler iki kısımda mütalea edilebilir : Önce basit stok modelleri açısından malzemelerin optimum sipariş miktarları, sipariş sayıları ve sıklığı hesaplanmıştır. İkinci kısımda probabilistik modellerden, malzemelerimizin durumuna uyanları, uygulanmıştır.

2.1 — Basit Stok Modeli Analizleri

2.1.1 — Yakıt Filtresi

Veriler : t : 489 birim, s : 50.— TL, f : 38.60 TL, i : 0.15

Bulgular :

$$m_0 = \sqrt{\frac{2st}{if}} = 92 \text{ birim. } r = t/m_0 = 5.32 \text{ defa.}$$

$$z = m_0/t = 0.19 \text{ yıl} = 69 \text{ gün.}$$

Dönem başında 223 birim olan malzemeye çeşitli sıklıklarla toplam 1575 birim eklenmiş ve dönem sonunda 1309 birim mal stokta kalarak 1977 mali yılına devretmiştir. Altı aylık dönem için maksimum stok miktarı 800 birim, 2 aylık dönem için minimum düzey 200 birim olarak öngörülmüşse de minimum düzey 24.8.1976 tarihinde 26 birime kadar inerken, maksimum düzey 31.8.1976 da 1341 birime kadar yükselmiştir. Bu düzensizliğin başlıca nedeni Mayıs ve Haziran aylarında yapılan siparişlerin "karşılanamayan sipariş" durumuna düşmesi ve toplam 1300 birimlik siparişlere karşılık 60 birim gönderilmesidir. Bu durumda bölge, yoğun çalışma mevsimine girilmesi ve hizmetin aksamaması için, piyasadan 1000 ve 353 birimlik iki parti malzeme mübayaaya etme durumunda kalmıştır. Ambar kartlarına göre kurumun ana deposundan 20.46 TL. na malolan malzeme piyasadan 38.60 TL. na satın alınmıştır. Galion, Adams 550, Austin W, Oliver 88 gibi çeşitli araçlarla USSR 400 marka jeneratörler için kullanılan malzeme olan talep bazı gün 1 birim, bazı gün 42 birim olmuştur. Bu rakamların maksimum ve minimum talep miktarları olduğu açıktır. Bazı günler ise hiç talep vuku bulmamıştır. Yani malzemeye olan talep "değişir talep" durumundadır. Yakıt filtresi aracın cinsine ve çalıştığı ortama göre 400-500 saatte bir değiştirilmektedir. Bu süre kış aylarında 50-62 güne, yaz aylarında ise 25-31 güne tekabül etmektedir. Malzemeyi kullanan araç sayısı 34 tür. Ortalama günlük talep 1.34 birim olup, talep dağılımı ortalaması 2.35, bu ortalamanın standart sapması 2.95 tir.

2.1.2 — Yağ Filtresi

Veriler : t : 639 birim, s : 50.— TL, f : 78.90 TL, i : 0.15

Bulgular : m₀ = 73 birim, r = 9 defa, z = 0.11 yıl = 40 gün.

Dönem başında 244 birim olan malzemeye dönem içinde 852 birim ilâve yapılmış olup, stoktan çıkan birim sayısı 639, stokta kalan malzeme sayısı ise 457 dir. Stok düzeyinin maksimum ve minimum

değerleri yakıt filtresindeki gibi tesbit edilmiş olmakla beraber buradada bu kayıtlara fazla riayet edilmemiştir. 16.8.1976 da minimum düzey 28 birime kadar inmiştir. Maksimum düzey ise 24.8.1976 tarihinde 868 birime kadar yükselmiştir. Haziran ayında yapılan 1000 birimlik siparişe karşılık 12 birim gönderilebilmiştir. Bölge piyasadan bir defada 840 birimlik mübayaaya yapma durumunda kalmış, ana depodan 28.— TL bedel karşılığı sağlanan malzeme piyasadan 78.90 TL: na satın alınmıştır.

Malzemeye olan talep günlük 2 ilâ 10 birim arasında değişmektedir. Lerol, 817-B, TD-16-18-20-24 model araçlarda çift filtre olup bir değişimde iki yağ filtresi birden kullanılmaktadır. Filtre değişme süresi 200-250 saat arasında olup, tek yada çift vardiya çalışılmasına göre bu süre 25-38 ile 12-16 gün arasında değişmektedir. Malzemeye olan talebin günlük ortalaması 1.75 birimdir. Taleb dağılımının ortalaması 1.66 ve bu ortalamanın standard sapması 1.02 dir.

2.1.3 — Gasket Kit (Silindir Kapak Contası)

Veriler : t : 47 birim, s : 50.— , f : 242.— TL, i : 0.15

Bulgular : $m_0 = 12$ birim, $r = 4$ defa, $z = 0.24$ yıl = 88 gün

Dönem başında 17 birim olan malzemeye dönem içinde 56 birim ilâve yapılmış ve dönem sonunda 26 birim malzeme stokta kalmıştır. Maksimum stok düzeyi 25, minimum stok düzeyi 5 birim olarak öngörülmüştür. Minimum fiili düzey 13.4.1976 da 5 birime inmiş, maksimum fiili düzey ise 15.7.1976 da 33 birime yükselmiştir. Taleb miktarı bir seferde 1 birimi geçmemiştir. GM motorları için kullanılan malzeme ana depodan 242.— liraya sağlanmıştır. Piyasadan bir defaya mahsus olmak üzere 10 birim satın alınmış, diğer siparişler beş ayrı zamanda ana depo tarafından gönderilmiştir. Malzeme tamir takımı olduğu için gerek duyuldukça, yani tamirat gerektikçe kullanılmıştır. Ortalama günlük talep 0.13 birimdir. Taleb dağılımının ortalaması 0.135, bu ortalamanın standard sapması 0.027 dir.

2.2 — Probabilistik Model Analizleri

Teorik yapı olarak ele alınan 4 tür probabilistik ve sürekli gözden geçirme stok modellerinden 1. ve 4. tip modeller sırasıyla Yakıt Filtresi ve Gasket Kit malzemeleri verilerine uygulanmıştır. 3. tip modelin karşılanamayan sipariş olasılığı üç tip malzeme için de uygulanmıştır. Analiz sonuçları aşağıda, sırasıyla özetlenmiştir.

2.2.1 — Yakıt Filtresi İçin "Karşılanamayan Siparişli Sabit Sipariş Miktarlı Model" Uygulaması

Veriler : $t : 489$ birim, $s : 50$.— TL, $b = if = 5.79$ TL. $\mu = 35.25$,
 $: 44.30$, $n : 345$.— TL. $\mu = E\{x\}$

Teorik kısımda değinildiği üzere bu tür modelde optimum stok miktarının ve sıklığının eksplisit çözümleri mümkün değildir. Bu nedenle Hadley-Whitin algoritması uygulanarak, (3) ve (5) numaralı eşitlikler yardımı ile sonuçlara ulaşılmıştır. Sonuçlara ulaşmada "Birim Normal-Doğrusal Kayıp Entegral" tablolarından da yararlanılmıştır. Sonucun alınabilmesi için 5 iterasyon işlem yapmak gerekmiştir. 5. iterasyon sonunda $r_4 = r_5 = 42.1$ bulunmuştur. İterasyon sonucu bulunan m_s değeri $921.83 = 922$ birimdir. $P'(r) = 0.0316$, $\bar{k}(r_s) = 14.452$ bulunmuştur. Sonuçlara göre optimal sipariş miktarı 922 birim, yeniden sipariş noktası 42 birimdir. Önzaman süresince umulan noksan birim olasılığı 0.032 dir. Sıklık başına umulan karşılanamayan sipariş miktarı 14 birim olacaktır.

Dönem sonunda fiili eldeki stokun değeri 50.533.— TL dir. Eğer optimizasyon kurallarına uyulsa idi 14.951.— TL daha az satınalma masrafı yapılmış olacaktı.

2.2.2 — Gasket Kit için "Değişir Önzamanlı Stok Modeli" Uygulaması

Veriler : $p : 4$, $v : 0.5$, $u : p/v = 8$, $n : 220$.—, $b = if = 36.30$ TL. $n=0$.

Modelin uygulaması sonucu $P(R, 8) > 0.86$ elde olunduktan sonra Yığımlı Poisson Dağılımı tablosu yardımı ile optimal temel stok düzeyi $R = 11$ birim olarak bulunmuştur. Bu sonuçtan yararlanılarak umulan eldeki stok ortalama miktarı $\bar{S} = 14.7 = 15$ birim bulunmuştur. Karşılanamayan siparişin umulan ortalaması, $\bar{k} = 11.7 = 12$ ve mal yokluğu olasılığı $k_s = 0.18$ bulunmuştur. Bu son rakama göre zamanın % 18 inde mal yokluğu olması ihtimali vardır. Birim zamanda ortalama maliyet (bulguların eşitlikte yerine konması yoluyla) 4.264.80 TL olarak hesaplanmıştır. Optimizasyon kurallarına uyulmadığı açık olan malzeme için dönem sonunda elde mevcut 26 birim için bağlı tutulan meblağ 6.292.— TL dir.

2.2.3 — Üç Tip Malzeme için "Sabit Önzamanlı Stok Modeli" Uygulaması

Bu tür model daha çok bozulabilir ve modası çabuk geçen malzeme türü için daha elverişli ise de model, malzemeye karşı olan talebin hangi oranda stoktan karşılanabildiğini, karşılanamayan si-

parişin zamanın kesiri olarak ifadesini mümkün kıldığı için uygulama konusu yapılmıştır. (20) numaralı formülden yararlanılarak yapılan işlemler sonucu üç tip malzeme için bulgular, sırasıyla, aşağıdaki gibidir :

1) **Yakıt Filtresi** : Malzemeye olan talebin tamamı stoktan karşılanabilmektedir. Durum bu olunca karşılanamayan sipariş ve bunun zaman kesiri söz konusu olmamaktadır.

2) **Yağ Filtresi** : Talebin % 99'u stoktan karşılanabilmektedir. Bu durumda zamanın % 1'i kadar sürede (ki 3 ilâ 4 gün) karşılanamayan sipariş olması söz konusudur.

3) **Gasket Kit** : Zamanın % 2 si kadar sürede karşılanamayan sipariş olması ihtimali vardır ki bu süre 7 gündür. Dolayısıyla malzemeye olan talebin % 98'i stoktan karşılanabilecektir.

3. SONUÇ

Yapılan araştırma ve uygulamaların sonucunu kısaca aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür :

TCK 12. Bölge Stok Ambarı, diğer bölgelerdeki gibi, Genel Müdürlük stok prensiplerine göre düzenlenmiştir. Sistem olarak en iyi düzeyde bulunmasına rağmen, mevcut şartlarda sistemin gereklerine fazlası ile uyulmadığı da gözden kaçmamaktadır. Elde mevcut verilerle talep projeksiyonları yapmak ve bunlardan yararlanarak çok dönemli stok modellerinin de yardımı ile şartlara ve duruma en uygun stok modelini ve bu modelin göstereceği stok politikasını uygulamak, kanımızca, mümkündür. Böylelikle optimizasyona gitmek ve stoklama masrafları ile, stoktaki malzemeye bağlanan yatırım payında tasarruf sağlamak imkân dahiline girecektir. Ancak kurumun bir kamu kuruluşu olduğu nazara alınırsa sistemin neden bir türlü bütün gereklerine uygun biçimde işlemediği kısmen izah olunabilir. Ayrıca stok sisteminin başında bulunan sorumluların stoklama konusunu fazla bilmedikleri de açıktır.

Sistemin iyi işlememesinden Genel Müdürlük ilgili dairesinin de sorumlu olduğunu hatırdan çıkarmamak gerekir. Bölgenin ihtiyaç duyduğu malları zamanında ve gerektiği miktarda karşılayamamaktadır. Bu nedenle de zaman zaman piyasadan yüksek fiyatla malzeme alımlarına baş vurulmaktadır. Araçların çoğunluğu için bazı tamir malzemesinin ithal yoluyla sağlanması zorunluluğu vardır. Bu malzemelerin zamanında ithal edilmemesi ihtiyacın zamanında ve yeteri kadar karşılanamaması sonucunu hasıl etmektedir. İş ve hiz-

metin yoğun olduğu mevsimlerde aracın en hayati parçasının arızalanması karayolu bakım ve yapım hizmetinin aksamasına neden olabilmektedir. Bu gibi ciddi durumlarda acil sipariş yurt dışından uçak ile getirilmekte ve bu da büyük oranda tedarik masrafına yol açmaktadır.

Görünüşte çok iyi olan sistemin aksayan yanlarının, sistemli bir araştırma ile tesbiti ve giderilmesine çalışılması yerinde olacaktır. Böylece sistem daha iyi ve rasyonel çalışacak ve optimizasyon kuralları sayesinde yapılan masraflarda tasarruf sağlanabilecektir. Bu tedbirlerin hizmetin daha iyi ve daha ucuza yapılmasını sağlayacağı da açıktır.

EK : 1

KULLANILAN SEMBOLLER

- m : Sipariş miktarı
m_o : Optimal sipariş miktarı
s : Sipariş başına sabit stok masrafı (tedarik masrafı)
f : Satınalma fiyatı (fonksiyon ifadesi f(.) den ayrı)
b : Stok bulundurma masrafı (if şeklindedede ifade edilebilir)
i : Stok bulundurma masrafı yüzdesi (zaman endisi olan "ii" den ayrı)
t : Taleb miktarı
z : zaman olarak sıklık
r : Yeniden sipariş sayısı
r_o : Optimum sipariş sayısı
R : Temel Stok düzeyi
S : Stok düzeyi
k : Karşılanamayan sipariş miktarı
ö : Önzaman
n : Noksans stok süresinden bağımsız olan noksans stok masrafı
 \hat{n} : Birim başına noksans stok masrafı
: Ex olup, taleb dağılımı ortalaması
M_i : İ zamanında siparişteki miktarın olasılığı
u : Umulan sipariş durumu
P : Genel olarak olasılığı belirtmek üzere kullanılmıştır.
p : Taleb dağılımı parametrisi
v : Önzaman olasılığı
x : Herhangi bir taleb miktarı
f(.), g(.), h(.) : fonksiyon ifadesi

KAYNAKLAR

- JOHNSON, Lynwood A.** — Douglas C. Montgomery, Operations Research in Production Planning, Scheduling, and Inventory Control: John Wiley, N.Y. 1974
- KING, John R.** — Production Planning and Control. Pergamon Press, Oxford 1975
- TAHA, Hamdy A.** — Operations Research, An Introduction. MacMillan, N.Y. 1971
- HILLIER, Frederick S.** — Gerald J. Lieberman — Operations Research. Halden-Day Inc. 2. ed. San Francisco 1974.
- ZIMMERMANN, Hans Jürgen,** — Michael G. Soverlign — Quantitative Models for Production Management. Prentice-Hall, N.J. 1974
- GREENE, James H.** — Production and Inventory Control, Systems and Decisions. Richard D. Irwin. Ill. 1974
- HOLT, Charles C. Holt,** Franca Madigliani, John F. Muth, Herbert A. Siman. Planning Production, Inventories, and Work Force. Prentice-Hall 1960
- HOROWITZ, Ira.** An Introduction to Quantitative Business Analysis. Mc Graw 1965
- BUFFA, Elwood S.** Modern Production Management. John-Wiley, 1973
- FABRYCKY, W.J.** — P.M. Ghore - P.E. Torgersen — Industrial Operations Research. Prentice-Hall, 1972
- ROCCAFERRERA, Giuseppe M. Ferrero Di.** — Operations Research Models for Business and Industry. South Western Publ. 1964
- BATTERSBY, Albert.** — A guide to Stock Control. Pitman Publ. 1970
- WHITIN, T.M.** — G. HADLEY — Analysis of Inventory Systems. Prentice-Hall 1963
- BUCHAN, Joseph.,** Ernest Koenigsberg. — Scientific Inventory Management Prentice-Hall 1966
- THOMAS B. Adin.** — Stock Control in Manufacturing Industries. Gower Press London 1970
- NADDOR E.** Inventory Systems. John Wiley, 1966
- MAGEE, John F. and David M. Boadmann.** — Production Planning and Inventory Control Mac Graw-Hill 1967.
- NILAND, Powell.** — Production Planning, Scheduling and Inventory Control. MacMillan, 1970
- PLOSSL, G.W., O.W. Wight.** — Production and Inventory Control : Principles and Techniques. Prentice-Hall 1967.