

**TEDARİK ZİNCİRLERİNDE
DURAĞAN OLMAYAN TALEP
ALTINDA ÇOK KADEMELİ STOK
KONTROL YÖNETİMİ İÇİN BİR
STOKASTİK PROGRAMLAMA
YAKLAŞIMI**

*Hacettepe Üniversitesi
İktisadi ve İdari Bilimler
Fakültesi Dergisi,
Cilt 33, Sayı 1, 2015,
s. 45-77*

Bülent ÇEKİÇ

Dr., Hacettepe Üniversitesi,
İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi,
İşletme Bölümü
bulentc@hacettepe.edu.tr

*Bu çalışma, Hacettepe Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü'nde yazılan
"Çok Aşamalı Stok Kontrol Yönetimi
İçin Bir Stokastik Programlama
Yaklaşımı" adlı doktora tezini temel
almaktadır.*

ÖZ: Bu çalışmada, durağan olmayan talep ve sabit sipariş maliyetleri içeren envanter problemlerinin çok stok noktalı sistemlerde uygulanabilirliği ve bu zor envanter kontrolü problemine esnek bir modelleme yaklaşımı olarak bilinen stokastik programlama tabanlı çözüm önerileri sunulmaktadır. Bu kapsamda burada belirtilen envanter kontrol yaklaşımları için, minimum optimal maliyeti sağlayacak envanter kontrol kararlarını belirlemek amacıyla matematiksel modeller geliştirilmiştir. Bunlar çeşitli talep ve maliyet parametreleri altında hipotetik envanter test problemleri kullanılarak karşılaştırılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Çok kademeli envanter yönetimi, durağan olmayan talep, stokastik programlama.

**A STOCHASTIC PROGRAMMING
APPROACH FOR MULTI-ECHELON
INVENTORY CONTROL MANAGEMENT
IN SUPPLY CHAINS AT NON-
STATIONARY DEMAND**

*Hacettepe University
Journal of Economics
and Administrative
Sciences
Vol 33, Issue 1,2015,
p. 45-77.*

Bülent ÇEKİÇ

Dr., Hacettepe University
Faculty of Economics and
Administrative Sciences,
Department of **Business**
Administration
bulentc@hacettepe.edu.tr

A **BSTRACT:** In this paper, the inventory problems with fixed ordering costs under stochastic and non-stationary demand were adapted to multi-echelon inventory systems.

Also we are offering flexible stochastic programming approaches to this difficult inventory control problem. In this manner, two mathematical models were developed in order to obtain minimum optimal cost under these assumptions of inventory control approaches. Furthermore these models are compared in terms of cost values to be obtained as a result of these approaches under various demand and cost parameters using hypothetical inventory test problems.

Keywords: *Multi-echelon inventory management, non-stationary demand, stochastic programming.*

GİRİŞ

İşletmelerin varlıklarını sürdürebilmeleri için kar elde etme çabaları, küresel rekabetin değişen koşullarında oldukça zorlaşmaya başlamıştır. Bu koşullar için de firmalar gerek hammadde temini, gerekse de son ürünlerini pazara ulaştırmada büyük maliyetlere katlanmaktadırlar. Bu tip lojistik kaynaklı maliyetlerin azaltılabilmesi ve aynı zamanda malların doğru zamanlamayla firmaya ve pazara ulaşması iyi bir tedarik zinciri yönetimiyle mümkün olmaktadır. Bu düşünce çerçevesinde de en kritik nokta firmaların envanter kontrollerini sağlıklı bir biçimde yönetmesinden geçmektedir.

Bu anlamda, değişen rekabet koşullarına uyum sağlamak ve pazar paylarını kaybetmek istemeyen firmalar maliyetlerini azaltmak veya kontrol edebilmek ve uzun dönemli planlar yapabilmek amacıyla envanter bulundurma yoluna giderler. Envanter kontrolü bütün firmaların karşı karşıya kaldığı ortak bir problemdir. Kullanılan envanter kontrol politikaları, çeşitli varsayımlar ve koşullar altında firmaların kararlarına temel oluşturacak araçlardır. Bu varsayımlar ve koşullar envanter kontrol politikasının çalışabileceği ortamı ifade eder.

Envanter kontrol politikalarının girdi olarak kullandığı bileşenler (parametreler), çeşitli maliyet bileşenleri ve talep bileşeni olarak tanımlanabilir. Her bileşen için birçok farklı varsayım kullanılabilir ve bunlar envanter kontrol politikasının matematiksel karmaşıklığını etkiler. Yazın alanındaki birçok örnekte görüleceği gibi, gerçek yaşamda karar vericiler bu politikaların çözüm aşamasındaki karmaşıklığını bahane ederek uygun envanter planını kullanmamaktadırlar, bu da doğal olarak firmalara hesap edemedikleri artı maliyetler getirmektedir.

İşletme uygulamalarında ve bunun bir yansıması olan modelleme ortamında çok kademeli tedarik zincirlerinde envanter yönetiminin, tek stok noktalı sistemlere göre çok daha zor olduğu bilinmektedir. Ancak bu kapsamda özellikle durağan olmayan stokastik talep ve sabit sipariş maliyetleri içeren envanter problemleri matematiksel açıdan güçlükler içermektedir (Sobel, Zhang, 2001). Tek aşamalı tek stok noktalı

sistemler için bu belirtilen özellikleri içeren çok sayıda çalışma mevcutsa da, bunların çok stok noktalı sistemlerde uygulanabilirliği oldukça düşüktür. Bu çalışma kapsamında yapılan çalışmalar bu zor envanter kontrolü problemine esnek bir modelleme yaklaşımı olarak bilinen stokastik programlama tabanlı çözüm önerileri sunmaktadır.

Bu çalışmada temel olarak iki stokastik programlama yaklaşımı ele alınacaktır. Bunlardan ilki literatürde iki aşamalı, diğeri de çok aşamalı telafi (recourse) modeli olarak bilinen stokastik programlama modellerine dayanmaktadır. Bu iki yaklaşımın her biri tedarik zincirlerinin envanter kontrolünde kullanılabilirler (Bienstock, Shapiro, 1988). Çalışma bunun yanı sıra, envanter kontrol kararlarının alınması noktasında iki farklı model önerisi sunmaktadır. İlk model sipariş zamanlarının ve miktarlarının planlama ufku başında daha hiç talep gerçekleşmeden belirlenmesi durumunu ele almıştır. İkinci model ise ne zaman ve ne kadar sipariş verileceğini, her dönem başında elde bulunan envanter miktarını da göz önünde bulundurarak dinamik olarak karar vermektedir.

Bu çalışma kapsamında, yukarıda belirtilen envanter kontrol yaklaşımları için minimum optimal maliyeti sağlayacak envanter kontrol kararlarını belirlemek amacıyla, geliştirilen matematiksel modeller, çeşitli talep ve maliyet parametreleri altında elde edilecek maliyet değerleri karşılaştırılacaktır.

1. İLGİLİ LİTERATÜR

Envanter, işletmelerin ileriki dönemlerde gereksinimlerini karşılamak amacıyla, depoladıkları materyal ya da üretim sürecinde herhangi bir sorunla karşılaşmamak için elde bulundurdukları fiziksel mal stokudur (Demir, Gümüőğlu, 1998: 539). Bir üretim sisteminde son ürünün üretimine dolaylı veya dolaysız olarak katılan tüm fiziksel varlıklar ve mamuller stok kavramı içinde düşünülebilir (Kobu, 2006: 303). Envanter yönetimi ise, stok kapsamındaki materyallerin planlanması, alımı, depolanması, bakımı ve dağıtım faaliyetlerinin tek bir yönetimsel fonksiyon altında ele alınması olarak açıklanabilir (Beekman-Love, Nieger, 1978: 23). Dolayısıyla, gerek üretim, gerekse

hizmet sektöründe yer alan organizasyonlar için envanter yönetimi oldukça önemlidir. Ayrıca, envanter problemleri sadece özel şirketleri değil, aynı zamanda kar amacı gütmeyen kurumları da ilgilendirmektedir (Arrow *vd.*, 1951: 250). Hizmet sektöründe faaliyet gösteren firmalar için stok olarak genellikle, verilen hizmeti gerçekleştirmek için kullanılan malzemeler ve/veya eğer varsa satılan somut ürün gösterilebilir. Üretim yapan firmalar için ise, temel olarak şu şekilde bir stok sınıflandırması yapılmaktadır:

- i. Hammaddeler,
- ii. Ürün bileşenleri,
- iii. Ara ürünler ve
- iv. Nihai ürünler (Nahmias, 1997: 213).

Firmaların envanter bulundurmalarının temel amacı, talebin gerçekleştiği anda, fiziksel olarak istenilen ürünün sağlanmasının imkansız olması ya da sağlanabilse bile, böyle bir yöntemin ekonomik olmamasıdır (Hadley, Whitin, 1963: 1). Bununla birlikte firmalar farklı nedenlerden dolayı envanter bulundurma yoluna giderler. Firmaların envanter bulundurma nedenleri aşağıda yer alan beş ana başlık üzerinden açıklanabilir (Chase *vd.*, 1998: 583).

- i. Operasyonların bağımsızlığını sürdürmek
- ii. Ürün talebindeki değişimleri karşılamak
- iii. Üretim planında esneklik sağlamak
- iv. Hammadde teslim zamanlarında yaşanabilecek değişikliğe karşı önlem almak
- v. Ekonomik sipariş miktarından faydalanmak

Firmalar, ürün üretiminde doğrudan yer almayan fakat temizlik, bakım ve onarım gibi faaliyetlerde kullandıkları materyaller için de, operasyonların sağlıklı ilerlemesi için bakım stoğu bulundurmaktadırlar. Bunun dışında, ürünün müşteriye teslim anına kadar nakil aşamasında hala elde bulundurulan stoklar ise nakil stoğu olarak değerlendirilmektedir (Reid, Sanders, 2005: 421).

Firmalar açısından düşünüldüğünde, müşteriler tarafından talep edilen herhangi bir son ürünü veya bu ürünü üretmek için gerekli ara ürünleri zamanında temin

edememek istenmeyen bir durumdur. Günümüzde müşteri memnuniyetinin artan önemi göz önüne alındığında, bir müşterinin tam anlamıyla tatmin edilememesi firmalar için ciddi bir sorun teşkil etmektedir. Dolayısıyla, müşterinin talep ettiği ürünü, istediği şekilde ve istediği zamanda vermek oldukça önemlidir. Bu noktada, zaman konusunda meydana gelebilecek problemlerle başa çıkabilmek için doğru bir envanter yönetimi izlenmesi gerekmektedir. İlk bakışta, tam anlamıyla müşteri memnuniyetini sağlamak için yüksek miktarlarda envanter bulundurmak mantıklı görülebilir; fakat unutulmamalıdır ki, envanter bulundurmanın faydalarının yanında, firmaya yüklediği değişik maliyetler de bulunmaktadır. Bu nedenle üretim/sipariş zamanlarının ve elde tutulacak envanter miktarlarının belirlenmesi firmalar için verilmesi gereken önemli bir karar haline gelmektedir.

Envanter problemleri yukarıda bahsedilen farklı motivasyonlarla ortaya çıkmaktadır. Envanter yönetiminde temel olarak iki problemin cevabı bulunmaya çalışılmaktadır (Gaither, 1983: 411; Heisig, 2002: 7; Taha, 2000: 433):

- i. Sipariş verme veya üretim yapma kararlarının verileceği zamanları belirlemek,
- ii. Belirlenen bu zamanlarda ne kadar sipariş verileceğine veya üretim yapılacağına karar vermek.

Bu doğrultuda, envanter problemlerini çözebilmek için literatürde, envanter planları oluşturmak amacıyla değişik matematiksel envanter modellerinin geliştirildiği görülmektedir. Envanter planlarında hangi tür stok türünden, ne zaman ve ne kadar sipariş edileceği/üretileceği belirlenmeye çalışılmaktadır. Doğal olarak, gerçek hayatı tam olarak modellerde yansıtmak zordur (Bellman *vd.*, 1955:83; Hadley, Whitin, 1963: 2). Bunun nedeni ise, gerçek hayatta modellere dahil edilmesi imkansız olan ve/veya dahil edilirse modelin çözümlenmesi olanaksız hale getiren birçok değişkenin ve faktörün var olmasıdır. Dolayısıyla, matematiksel envanter modelleri geliştirilirken, kaçınılmaz olarak bir takım varsayımlar ve basitleştirmelerde bulunulur (Hadley, Whitin, 1963: 2).

1.1. Envanterlerin İşletme Ekonomisindeki Yeri

Ülke ve işletme ekonomilerinde envanterlere yapılan yatırımlar önemli bir yer tutmakta ve bu yatırımlar firmaların daha da gelişmesi için önemli bir potansiyel olarak görülmektedir (Axsater, 2006: 1). Stok fazlalığı veya azlığı tarım, demir-çelik, tekstil, gübre, çimento, şeker gibi temel endüstrilerde ciddi sorunlara sebebiyet verebilmektedir (Kobu, 2006: 305). Dolayısıyla, envanter yönetimi işletme içerisinde, her kademedeki yöneticinin ilgilenmesi gereken bir alan olarak görülebilir. İşletme bünyesindeki birimlerin değişik yükümlülükleri nedeniyle, envanter bulundurma eğilimleri birbirinden farklılık gösterebilmektedir. (Schroeder, 1989: 416; Tersine, 1988: 18). Örneğin, finans biriminin yükümlülüğü işletmeye fon teminidir, dolayısıyla finans birimi etkin bir sermaye kullanımıyla düşük miktarlarda envanter bulundurma eğilimindedir. Bunun aksine, üretim birimi ise mamul üretimi yükümlülüğü altında, optimal miktarda üretim yapmayı hedefleyerek, yüksek miktarlarda envanter bulundurma eğilimi içerisine girer. Bu tür çatışmaların önlenmesi için tüm birimlerin katkısı ile etkin ve iyi işleyen bir envanter kontrol sistemi kurulmalıdır. Böyle bir sistemin kurulması ve başarıyla yönetilmesi işletmeye ve dolaylı olarak ülke ekonomisine şu faydaları sağlayabilir:

- a. Üretim süreci içerisinde makine, insan ve malzeme kaynaklarından daha yararlı bir şekilde faydalanılır (Kobu, 2006: 305). Bu şekilde etkinliğin ve toplam verimliliğin artması sağlanabilir.
- b. Sistemli bir envanter yönetimi ile üretim ve istihdam düzenliliği sağlanabilir (Yüksel, 1975: 233).
- c. İşletme içerisinde stoklar gereğinden fazla bulundurulmayarak, envanter finansmanına olan ihtiyaç azalabilir (Tersine, 1988: 22).
- d. Stoklarla ilgili maliyet kalemlerinde belirli azalmalar sağlanabilir (Magad, Amos, 1989: 18).
- e. Dikkatsizlik ve farklı hatalar yüzünden kaybedilen malzeme ve mamullerin miktarı azaltılabilir ve bu hataların telafisi için çok fazla zaman geçmeden müdahale edilebilir (Kobu, 2006: 305).

f. Müşteri hizmet seviyesinde olumlu anlamda iyileşmeler sağlanabilir, çok sayıda müşteriye istediği anda, istediği miktarda ürün sunulabilir (Arnold, 1991: 147).

g. Üretim programlarının daha kolay ve gerçeğe yakın planlanması mümkün olabilir (Kobu, 2006: 305).

1.2. Envanter Maliyetleri

İşletmeler faaliyet giderlerini azaltabilmek ve karlılıklarını daha da artırabilmek için belirli düzeylerde envanter bulundurmaktadırlar. Envanter yönetiminin amacı ise; müşteri taleplerini sekteye uğratmadan, envanter maliyetlerini mümkün olduğunca düşürmeye çalışmaktır.

Temel olarak envanter maliyetleri dört ana başlıkta ele alınabilir:

- a. Bulundurma Maliyetleri
- b. Sipariş/Kurulum Maliyetleri
- c. Bulundurmama/Ceza Maliyetleri
- d. Diğer Maliyetler (Axsater, 2006: 44; Silver, 1981: 630).

1.2.1. Bulundurma Maliyetleri

Elde tutma maliyeti olarak da ifade edilmektedir. Yalın bir ifadeyle, herhangi bir zamanda fiziksel olarak elde bulundurulan envanterlerin belirli bir yüzdesinden oluşmaktadır. Temin edilen envanterleri depolayacak alanları sağlamada katlanılan masraflar, vergi ve sigorta giderleri, kırılma, bozulma, zarar görme veya tamamen kullanılamaz hale gelme durumunda ortaya çıkan zararlar ve envantere yapılan yatırımın fırsat maliyeti, elde bulundurma maliyeti içinde yer almaktadır. Çoğu durumda, firmalar için bu maliyet türleri içinde, yatırımın fırsat maliyeti en önemli kalem olarak görülmektedir (Nahmias, 1997: 216; Plossl, 1985: 24; Winston, 2004: 847). Genellikle h sabiti kullanılarak ifade edilir. Bulundurma maliyetleri, sabit bir sayı kullanılarak, ya da eldeki envanterin değerinin belirli bir yüzdesi alınarak hesaplanabilir. Örneğin, h = Elde bulundurma maliyeti, I = Yüzde oranı, c = Bir birimlik envanterin maddi değeri olarak belirtildiğinde, aşağıda verilen basit denklem bulundurma maliyetini hesaplamada kullanılır.

$$h = lc \quad (1)$$

1.2.2. Sipariş/Kurulum Maliyetleri

Başka bir firmadan satın alma durumunda sipariş, firmanın kendisi tarafından üretimi durumunda ise kurulum maliyetleri olarak ifade edilir. Bulundurma maliyetleri elde tutulan envanter üzerinden hesaplanırken, sipariş/kurulum maliyetleri, sipariş edilecek veya üretilecek envanter göz önünde bulundurularak hesaplanır.

Çoğu durumda, sabit ve değişken maliyetler olmak üzere iki bileşenden oluştuğu kabul edilmektedir. Bu bileşenler içinde sabit maliyet, sipariş miktarından bağımsızdır. Bu bağlamda sipariş düzenleme masrafları, teslim alma masrafları, makine ve teçhizat kurulumu ve/veya alımı ile ilgili masraflar sabit maliyetler içinde ele alınmaktadır. Sabit maliyet genellikle K sabiti kullanılarak ifade edilir. Ancak sipariş miktarı 0'a eşit olursa, sabit maliyet de doğal olarak 0'a eşit olacaktır. Değişken maliyet ise, sipariş edilen veya üretilen mal için katlanılan maliyettir ve genellikle c sabiti kullanılarak ifade edilir. Çoğunlukla sipariş/üretim miktarından bağımsız bir değer olarak ele alınmakta ve değişken maliyetin sipariş/üretim miktarıyla çarpılmasıyla hesaplanmaktadır. Ancak gerçek hayattaki ticari faaliyetlerde miktar iskontoları söz konusu olabilir. Böyle durumlarda toplam değişken maliyet $C(q)$ gibi bir fonksiyon olarak tanımlanarak, birim değişken maliyet $C(q)/q$ olarak hesaplanabilir. Değişken maliyetin, sipariş/üretim miktarından bağımsız bir değer olarak ele alınması durumunda ve cq ifadesi, q birim mal sipariş etmek veya üretmek için katlanılan maliyet olarak ifade edildiğinde, aşağıda verilen denklem sipariş/kurulum maliyetlerini hesaplamada kullanılır.

$$C(q) = \begin{cases} 0, & \text{eğer } q = 0, \\ K + cq, & \text{eğer } q > 0, \end{cases} \quad (2)$$

1.2.3. Bulundurmama/Ceza Maliyetleri

Stoksuz kalma maliyetleri olarak da ifade edilmektedir. Müşteri talebinin olduğu anda, bu talebi karşılayacak yeterli stok düzeyinin olmaması durumunda karşı karşıya kalınan maliyetleri içermektedir. Genellikle p sabiti kullanılarak ifade edilir. Firmalar için envanter yönetiminde dikkatle üzerinde durulması gereken bir maliyet kalemi olarak görülmektedir. Gecikmeli teslim ve kayıp satış (yok satma) olmak üzere iki farklı durum çerçevesinde incelenmektedir (Aft, 1987: 139).

Gecikmeli teslim durumunda, zamanında karşılanamayan müşteri talebi daha sonraki ilk fırsatta karşılanmaya çalışılmaktadır. Böyle bir durumda, firma için müşteri memnuniyetsizliğinden kaynaklanan itibar ve güven kaybı söz konusu olacaktır. Firmalar bu zararı, talebi karşılanamayan birim başına sabit bir maliyet kullanarak hesaplayabilmektedirler. Farklı bir yaklaşımla, sabit maliyet zamana bağlı bir fonksiyon tanımlanarak da hesaplanabilmektedir. Örneğin, $p(t), t$ (gecikme süresi) zamanına bağlı bir fonksiyon olarak ifade edilebilir.

Kayıp satış durumunda ise, müşteri talep ettiği ürün için beklememekte, diğer bir ifadeyle talebini karşılamak üzere tekrar firmaya geri dönmemektedir. Bu da satış gelirlerinden direkt bir azalma anlamına gelmektedir.

Bulundurmama/Ceza maliyetleri kapsamında yer alan, itibar kaybı ve/veya müşteri kaybı gibi bileşenlerin uygulamada ölçülmesinin zor olması, bu tür maliyetleri hesaplamayı güçleştirmektedir.

1.2.4. Diğer Maliyetler

Envanter yönetimini doğru ve planlı biçimde yürütmek için, firma içinde iyi işleyen bir envanter kontrol sistemi bulunması gerekmektedir. Bunun için ise düzenli organize edilmiş bir bilgi ağı sistemine gereksinim vardır. Dolayısıyla, sistem kontrol maliyetleri, bu sistem içerisinde kullanılacak personelin eğitimi ve düzenli bilgi akışı için gerekli maliyetler diğer envanter maliyetleri kapsamında düşünülebilir.

1.3. Talep Yapısı

İşletmeler ellerinde bulundurdukları stokları, yeri geldiğinde talep karşısında kullanma ihtiyacı duyarlar. Talep olarak ifade edilen kavram kapsamında, müşteriden son ürüne yönelik olan talebin yanı sıra, firma içinde bu ürünü üretmek için gerekli olan ara ürünlere ve bu ürünün bileşenlerine yönelik talep de olabilir. Firmaların piyasaya arz ettikleri son ürünlere olan talep bağımsız talep olarak ifade edilmektedir. Daha düzgün envanter planları yapabilmek için firmalar nihai ürünlerine olan talepleri matematiksel veya yargısal yöntemler kullanarak tahmin etmeye çalışırlar. Bu sayede yaklaşık olarak da olsa talebi daha önceden öngörmek, firmalara büyük avantaj sağlamaktadır. Son ürünü üretmek için kullanılan ara ürünlere ve bu ürünün bileşenlerine yönelik talep ise, bağımlı talep olarak ifade edilmektedir; çünkü bu ürünlere olan talep son ürüne olan talepten dolaylı olarak etkilenir. Nihayetinde, son ürüne gelen talep miktarı göz önüne alınarak üretim gerçekleştirilecek ve belirlenen bu üretim düzeyine bağlı olarak ara ürünlere ihtiyaç duyulacaktır. Dolayısıyla, ilk olarak son ürüne olan bağımsız talep belirlenmekte, sonrasında da ara ürünlere ve bileşenlere yönelik bağımlı talep hesaplanmaktadır.

Talebin daha önceden kesin olarak bilinip bilinmemesi durumu da, envanter yönetimi açısından bir diğer önemli noktadır. Eğer işletme ileriki dönemlerde karşılaşıacağı talep miktarlarını ve zamanlarını planlama ufkunun başında kesin olarak biliyorsa, deterministik talep söz konusudur (Petrovic *vd.*, 1986: 7). Fakat, gerçek hayatta çoğu zaman talebi daha önceden kesin olarak öngörmek veya bilmek oldukça zor rastlanılan bir durumdur; ancak deterministik talep varsayımı altında çalışan envanter modelleri envanter teorisinde önemli bir temel oluşturmaktadır. Bunun tam aksine talebin daha önceden kesin olarak bilinmediği ve ancak olasılıklar çerçevesinde tahmin yapılabildiği durumda ise, stokastik talep söz konusudur (Taha, 2000: 433). Diğer bir ifadeyle, stokastik talep durumunda taleple ilgili bilgi, ne zaman ve ne kadar taleple, hangi olasılıkla karşılaşılabileceği düzeyindedir. Gerçek hayatta firmalar genellikle stokastik taleple karşı karşıya kaldıkları için, envanter modellerinin bir bölümü talepteki bu belirsizliği ele almaktadır.

Talep yapısının tüm dönemler için sabit veya değişken olmasına göre de bir sınıflandırma bulunmaktadır. Deterministik talep ortamında, her dönem için sabit talep yapısına sahip envanter sistemleri statik, değişken talep yapısına sahip envanter sistemleri ise dinamik envanter sistemleri olarak ifade edilir. Stokastik talep ortamında ise, her dönem için sabit talep yapısına sahip envanter sistemleri durağan, değişken talep yapısına sahip envanter sistemleri ise durağan olmayan envanter sistemleri olarak ifade edilir (Sox, 1997). Durağan envanter modelleri tüm planlama ufku boyunca döngüsel bir yapıya sahip olmaktadır. Durağan olmayan modeller ise farklı parametrelere sahip olduklarından dolayı döngüsel bir yapıya sahip değildir (Tarım, Kingsman, 2006).

1.4. Diğer Kavramlar

Bu bölümde envanter yönetimiyle ilgili envanter takip sistemleri, tedarik, planlama ufku ve hizmet düzeyi gibi diğer kavramlar ve bileşenler hakkında bilgi verilecektir.

1.4.1. Envanter Takip Sistemlerinin Sınıflandırılması

Envanter yönetiminde, sürekli takip ve periyodik takip olmak üzere iki farklı envanter kontrol yaklaşımı bulunmaktadır. Eğer işletmede her an envanter seviyesi biliniyorsa, sürekli takip sistemi uygulanıyor demektir. Örneğin, süpermarketlerde tüketiciler tarafından alınan her ürün, anında kurulmuş olan sistem sayesinde stoktan direkt düşürülür; dolayısıyla bu gibi işletmelerde gelen talep, aynı zamanda işlenmekte ve envanter seviyesi hakkında her an bilgi alınabilmektedir (Hax, Candea, 1984: 219; Krajewski, Ritzman, 2002: 673). Bunun tam aksine, envanter seviyeleri sadece belirli zamanlarda tam olarak biliniyorsa, periyodik takip sisteminin varlığından söz edilir. Bir işletmede dönem içinde gelen taleplerin, direkt envanterden düşürülmemesi; dönem sonunda envanter seviyesinin belirlenmesi için stok sayımlarının yapılması, bu işletmede periyodik kontrolün uygulandığını gösterir.

1.4.2. Tedarik

Tedarik, hammadde, levazım, yedek parça, mamul gibi işletmenin ihtiyaç duyduğu materyalleri temin etmesi anlamına gelmektedir. Bu yüzden, tedarik stokların artmasını sağlayan bir özelliktir. Tedarik zinciri ise, malzemelerin tedarikçiden son kullanıcıya ulaşmasını sağlayan faaliyetler topluluğudur (Russel, Taylor, 2003: 268).

Hemen hemen bütün sektörlerde faaliyet gösteren firmalar için, tedarik zinciri yönetimi, üzerinde durulması gereken önemli bir konudur (Axsater, 2006: 1). Stok alınmasına veya üretilmesine karar verilmesinden itibaren başlayan ve üretilen veya sipariş edilen materyallerin talebi karşılamaya hazır hale gelmesine kadar geçen süre tedarik süresi olarak ifade edilir. Envanter modellerinde bu süre kesin veya olasılıksal olarak bilinebilir, aynı zamanda tedarik süresinin tamamen belirsiz olduğu durumlar da söz konusu olabilmektedir.

1.4.3. Planlama Ufku

Envanter planları geleceğe yönelik olarak oluşturulurlar. Planlama ufku ise envanter planının kapsayacağı, diğer bir ifadeyle etkileyeceği süreyi ifade eder. Bu süre sonlu veya sonsuz olabilir. Fakat, genellikle işletmeler tarafından sonlu planlama ufkuna sahip envanter planları yapılır. Bunun sebebi ise, planlama ufku arttıkça, envanter planlarında hata yapma ihtimalleri de artar. Nihayetinde envanter planları talep tahmini içerir, dolayısıyla uzun dönemi az hatayla tahmin etmek oldukça güçtür.

1.4.4. Hizmet Düzeyi

Firmaların stoksuz kalma maliyetlerinden biri de, talep zamanında karşılanamadığında envanter modellerinde kullanılmak üzere belirli bir ceza maliyetiydi. Bu yaklaşıma alternatif olarak, ceza maliyetlerini kullanmadan, hizmet düzeyi yaklaşımıyla da envanter modelleri geliştirilebilmektedir.

Hizmet düzeyi, modellemeler içine farklı şekillerde dahil edilebilmektedir (Axsater, 2006: 95; Fogarty vd.,1991: 166). Örneğin, modele olasılıksal olarak hizmet düzeyinin belirli bir seviyenin altına düşmemesi veya ortalama bekleme zamanının

belirli bir oranı geçmemesi şeklinde değişik kısıtlar getirerek hizmet düzeyi modelleme içine alınabilmektedir.

2. ÇOK KADEMELİ ENVANTER SİSTEMLERİ

Çok kademeli stok kontrol modelleri, birden fazla kurulumdaki stok miktarlarının kontrolü amacı ile geliştirilmiş modellerdir. İlk defa Clark ve Scarf tarafından araştırılmıştır (Clark, Scarf, 1960; Scarf, 1959). Bu modelde bir kademede stok maliyetleri ve miktarları, kendisi ile aynı sistemde yer alan diğer kademede elemanların maliyet ve miktarlarını da etkilemektedir. Aynı şekilde sipariş teslim süreleri de diğer sistem elemanlarından etkilenmektedir. Birden fazla kurulumdaki stok miktarları ele alındığından dolayı, diğer tek kademeli sistemlerden farklı olarak burada karşılaşılan sipariş süresi, sadece tedarikçisinden ona siparişin gelmesi için beklenmesi gereken zaman değildir. Örneğin bir kademeli stok sistemi 1,2,...,N adet işletmeden oluşmaktadır ve 1. işletme siparişlerini 2. işletmeden, 2. işletme 3... vb. işletmeden almaktadır. Bu sistemde bir numaralı işletmenin vermiş olduğu siparişlerin süresi sadece ürünün iki kurulum arasındaki aralıkta taşınması için geçen süreye bağlı olmayacaktır. Aradaki mesafeye ek olarak ikinci işletmenin elinde bulundurduğu stok miktarına da bağlı olarak değişecektir. (Clark, Scarf, 1960: 475)

Çok kademeli stok sistemleri talep ve sistemdeki diğer değişkenlerin sipariş süreleri vb. bilinirliğine göre iki ayrı başlık altında incelenebilir.

2.1. Deterministik Modeller

Bu modeller diğer klasik stok modellerindeki ile aynıdır. Talep, bekleme zamanları gibi bütün değişkenler önceden belirlidir ve rassal değildir. Bu modellerde %100 servis düzeyine ulaşmak mümkündür. Ancak gerçek hayatta karşılaşılması çok da mümkün değildir.

2.2. Stokastik Modeller

Bu modeller klasik modellerdeki gibi talebin veya sipariş sürelerinin olasılıklı olması durumunda stok kontrolü amacıyla geliştirilmiştir. Tedarik zinciri yönetiminde, talebin önceden kesin olarak bilinmemesi durumlarında bu stok kontrol modelleri kullanılmaktadır. (Q, r) modeli ve temel stok kontrol modeli gibi stok modelleri talebin olasılıklı olduğu durumlarda uygulanabilecek modellerdendir (Verma, 2006: 446). Temel stok kontrol modeli bu modeller arasında uygulamadaki basitliği nedeniyle en yaygın olarak kullanılan modeldir.

2.3. Temel Stok Kontrol Modeli

Çok kademeli sistemlerde, yalnızca bir alt kademelinin talep durumuna bağlı olarak verilen yeniden sipariş verme kararları sırasında problemlerle karşılaşmak mümkündür. Temel stok sistemi, bu problemlere bir çözüm olabilmektedir. (Silver, Peterson, 1985: 476)

Temel stok sistemleri, stok kontrolünde elemanın stok miktarının hesaplanması yöntemlerine göre ikiye ayrılabilir. Bunlardan birincisi kademeli temel stok sistemi, bu sistemde bir elemanın stok miktarı hesaplanırken ve sipariş kararı alınırken bir önceki alt akış elemanının sipariş kararına veya stok durumuna göre değil, en alt akış elemanının stok miktarından kendisine kadar ki bütün alt akış elemanlarının stok durumuna göre hesaplamalar yapılır. Kurulum temel stok kontrolünde ise bir alt akış elemanının stok ve sipariş bilgilerine göre firma sipariş kararlarını belirler.

Bu sistemde stoklar önceden belirlenmiş periyodik zaman aralıklarıyla kontrol edilir ve stok seviyesi eğer önceden belirlenmiş olan temel stok seviyesinin altına düşmüş ise, stok seviyesini o seviyeye yeniden getirecek miktarda sipariş verilir. Her kademedeki eleman diğerlerinden bağımsız bir temel stok miktarı ve sipariş miktarına sahiptir ve her dönem sipariş miktarları değişebilmektedir. Genellikle az miktarda talebi olan, değerli ürünlerin stok kontrolünde bu yöntem kullanılmaktadır.

2.4. Çok Kademeli Dağıtım Sistemleri

Çok kademeli stok sistemlerini gerek üretim, gerek dağıtımla ilgili problemlerin çözümünde bir ayırım yapılmaksızın kullanmak mümkündür. Diğer bir ifadeyle, aynı stok modeli ve analiz teknikleri hem birden fazla mal, hem de birden fazla konum söz konusu olduğunda hiçbir değişikliğe gerek kalmaksızın oldukları gibi kullanılabilirler. Bu benzerlik aslında doğaldır; gerek üretim, gerekse nakliye ayrıntılarda farklılıklar olmakla birlikte, her ikisi de stok yönetimi açısından sonucunda zaman ve para gerektiren fiziksel dönüşümlerdir. Buna göre çok elemanlı olarak adlandırılacak bir model farklı ürünlerin veya farklı coğrafi konumların veya her ikisinin birden mevcut olduğu bir model olarak anlaşılacaktır.

Çok kademeli stok sistemleri, elemanların düğüm noktaları (nodlar), bunlar arasındaki bağıntıların (arklar) da oklarla gösterildiği yönlendirilmiş bir ağ şebeke sistemi oluşturur. Amaca uygun olarak farklı stok sistemleri oluşturmak mümkündür. En genel hatları ile çok kademeli stok sistemleri beş ana gruba ayrılabilir (Zipkin, 2000).

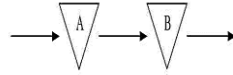
- a. Seri sistemler.
- b. Üretim sistemleri.
- c. Dağıtım sistemleri.
- d. Ağaç sistemler.
- e. Genelleştirilmiş karma sistemler.

Bu sistemlerin en yalını Şekil 1'de gösterilen seri sistemlerdir. Burada müşteri talepleri B stok noktasından karşılanmakta, B noktası A 'dan ve son olarak A da sistem dışındaki bir tedarikçiden taleplerini karşılamaktadır. Böyle bir sistem dağıtım amaçlı ise, A işletmenin üretim tesisine yakın bir noktadaki ana ürün deposunu, B ise müşterilerin bulunduğu daha uzak bir bölgedeki yerel dağıtım deposunu tanımlar. B için tedarik süresi, A ile B arasındaki sevkiyat süresine eşittir. Üretim amaçlı benzer bir sistemde ise örneğin B son ürün stoku, A ise bunun

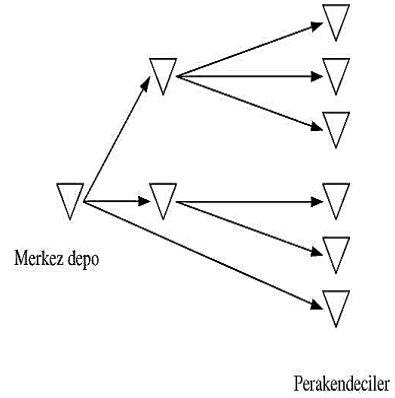
üretilmesi için gerekli bir yarı ürün stoku olarak düşünülebilir. Bu durumda *B* için tedarik süresi ağırlıklı olarak üretim süresine eşittir. Her iki sistemde de *B*, *A*'nın müşterisi, *A* ise *B*'nin tedarikçisi olarak ele alınır.

Dağıtım amaçlı olarak ele alındıklarında ise şebekenin başlangıç düğümü merkez (ana) depo, son düğümleri ise perakendeciler veya son tüketicilerdir. Ara düğümler ise bölgesel dağıtım depoları gibi ara stoklama birimlerine karşılık gelirler (Şekil 2). Bu sistemde her düğüm noktasının en fazla bir tane dağıtıcısı vardır.

Şekil 1. Seri Halde İki Kademeli Stok Sistemi



Şekil 2. Çok Kademeli Bir Dağıtım Sistemi



Dağıtım amaçlı bir sistemde, farklı bölgelerdeki hizmet seviyesini yüksek tutabilmek için ilgili perakendeciler için stok tutma gereksinimi vardır. Perakendecilerin talebi merkez depo veya ara depolardan karşılanmaktadır. Merkez ve ara depolardaki stok seviyesi yüksek tutularak teslimat süreleri daha kısa ve daha az değişken hale getirilebilir. Bu durum perakendecilere stoklarını düşük tutma imkanı sağlar. Sistem içindeki toplam stok miktarının dağılımı sistemin yapısına, talepteki değişimlere, sevkiyat sürelerine ve birim maliyetlere bağlıdır. Merkez depoda çok miktarda stok tutulmasını gerektiren durumlar olmakla birlikte, çoğu zaman toplam stok miktarı beklenenden düşük seviyede kalmaktadır (Lim *vd.*, 2003).

Ağaç sistemler, üretim ve dağıtım sistemlerinin bir arada bulunduğu, geliştirilmiş karma sistemler ise daha karmaşık ilişkiler içeren sistemler olarak

karşımıza çıkmaktadırlar. Bu sistemlerde her düğümün birden fazla öncülü ve ardılı bulunabilmektedir. Bu sebeple böyle sistemler için optimum çözümün elde edilmesi oldukça güç olabilmektedir.

3. YÖNTEM VE PROBLEM TANIMI

Stok kontrol politikalarındaki varsayımlar, kurulan matematiksel modelleri içinde bulunulan duruma daha çok yaklaştırabilmek, dolayısıyla matematiksel modelin daha verimli ve anlamlı sonuç vermesini sağlamak amacıyla kullanılırlar. Kısaca, kullanılan matematiksel model, içinde bulunduğumuz gerçek yaşamı yansıttığı oranda duruma uygun sonuçlar verecektir. Aslına bakılırsa, çoğu durumda gerçek yaşam matematiksel modellerle ifade edilemeyecek kadar karmaşık bir yapı göstermektedir.

Bu noktada bir ikilemin içine düşülmektedir. Bu ikilem, gerçeğe yakın modelin daha iyi sonuç vermesine rağmen, çoğunlukla çözüm ve modelleme açısından yüksek çaba gerektirmesidir. Bu durum matematiksel modellere dayanan envanter kontrol politikaları için de geçerlidir.

Günümüzde literatürde çok sayıda envanter kontrol politikası bulunmaktadır. Hatta envanter kontrol politikaları kendi varsayımlarını değiştirerek farklı politikalar oluşturmaktadır. Bu değişen varsayımlar, envanter politikasının matematiksel yapısını tamamen değiştirebilmektedirler. Dolayısıyla bu noktada, optimal sonucu elde etmek için yüksek çaba gerektirecek problem çözülmeli mi, yoksa daha düşük eforla optimalden kötü sonuca razı mı olunmalı mıdır sorusuna cevap verilmelidir.

Problemimizde çok sayıda stok noktasından oluşan bir tedarik zincirinin maliyet minimizasyonu (en küçükleme) hedeflenmektedir.

Her bir stok noktasında elde tutulan stok kadar bir maliyet oluşur ve sabit sipariş maliyeti karşılanır. Müşteri talebi yalnızca tedarik zincirinin son stok noktasında oluşmaktadır (perakendeci), perakendeciler yalnızca depolardan tedarik sağlayabilirler.

Müşteri taleplerinin zamanında karşılanamaması durumunda stoksuz kalma durumu oluşur ve her bir durum için ceza maliyetine katlanılır.

Belirli bir dönemde belirli bir depoya verilen sipariş miktarı yalnızca o depoda bulunan stok miktarıyla sınırlıdır. Dolayısıyla depoların stoksuz kalamayacağı ve sipariş miktarının kapasite kısıtına göre belirlendiği varsayılmıştır.

Planlama ufku sınırlı sayıda zaman periyodundan oluşmaktadır. Her bir periyotta ve her bir perakendeci noktasında oluşacak talep miktarı rassal bir değişkendir ve bu değişken bilinen kesikli bir olasılık dağılımını takip etmektedir.

Tedarik süresi sıfırdır. Talep edilen ürün periyot başında ulaşır. Başlangıç envanter düzeyi sıfırdır.

Maliyet farkının inceleneceği bir problem için öncelikle varsayımları ve notasyonlarını saymak yerinde olacaktır;

n : Periyot sayısı $n \in \mathbb{N}$

j : Tedarik ağı üzerindeki stok noktalarından her biri ;

$j \in J$

$h(j)$: Her bir stok noktasında oluşan elde bulundurma maliyeti

$L(j)$: Her bir stok noktasında oluşan sipariş maliyeti

$Y(j)$: stok noktası j 'ye tedarik sağlayan stok noktaları

$U(j)$: stok noktası j 'den tedarik sağlayan stok noktaları

i : Tedarik ağı üzerindeki müşteri talebini doğrudan karşılayan stok noktaları (perakendeci)

$i \in I; I \subset J$

$p(i)$: Her bir perakendecide oluşan elde bulundurmama maliyeti

Yukarıda tanımlanan problem rassal bir süreç kapsamında değerlendirilebilir. Burada durum uzayı gerçekleşmesi muhtemel talepler ile tanımlanabilir. Bu uzaydaki her

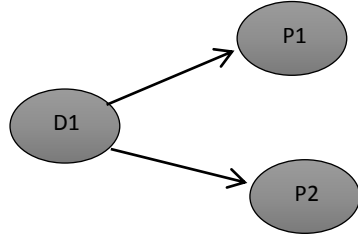
bir durum bir düğüme karşılık gelmektedir. Aşağıda bu yapıyı tanımlamak için kullanılacak notasyon verilmiştir.

- b : tedarik zinciri dışından tedarik sağlayan stok noktaları $b \in B ; B \subset J$
 k : Olasılık ağacındaki düğümlerden (node) her biri ; $k \in K$
 $v(k)$: Bir düğümün bağlı olduğu ana düğüm noktası (parent)
 $r(k)$: Bir düğümün içinde bulunduğu periyot
 $D(k,j)$: j 'nci stok noktasına k düğümünde gelen talep
 $\rho(k)$: $v(k)$ düğümünden k düğümüne geçiş olasılığı
 $P(k)$: k düğümünün gerçekleşme olasılığı $P(k) = \rho(k) \cdot P(v(k))$

Problemde iki tip tedarik zinciri yapısı kullanılmıştır. Bunlardan ilki Şekil 3'te gösterilen ağaca benzer (arborescent) yapıda olan ve D1 ile ifade edilen bir depo ve P1,P2 ile ifade edilen iki adet perakendeciden oluşan yapıdır. Bu zincirde P1 ve P2 tedariklerini D1'den karşılamaktadır. Diğer yapı ise seri (serial) olarak adlandırılan ve

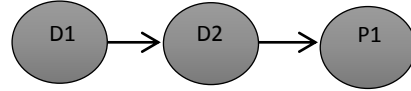
Şekil 3. Ağaç Tipi (Arborescent) Tedarik

Zinciri



Şekil 4. Seri Tip (Serial) Tedarik

Zinciri



Şekil 4'te görülen yapıdır. Bu yapıda ise D1 ve D2 olarak adlandırılan iki adet depo ve tedariki bunlardan sağlayan P1 adlı perakendeci mevcuttur.

Problemin stokastik sürecinde, ağaca benzeyen yapının her bir ayırım (karar) noktası aynı zamanda durum uzayını da oluşturmaktadır. Periyot sayısı arttıkça düğüm sayısında dallanarak artar. Örneğin, 3 periyotluk bir yapıda bu 14 düğüme, 4 periyotluk bir yapıda ise 30 düğüme ulaşmaktadır.

4. MATEMATİKSEL MODELLER

Daha önce tanımlanan iki yaklaşım için belirlenen varsayımlar altında, optimal envanter kararlarının belirlenebilmesinde kullanılacak matematiksel model önerileri aşağıda detaylı olarak sunulmuştur.

4.1. Statik Model

Statik modelde tüm envanter kararlarının planlama ufkunun başında verileceği varsayılmaktadır. Dolayısıyla planlama ufkü dâhilinde yer alan her bir dönem için hangi stok noktalarında ne kadar sipariş verileceği belirlenecektir. Bu kapsamda kullanılan karar değişkenleri aşağıdaki gibidir:

I_{jk} : stok noktası j 'de, nod (düğüm) k 'da oluşan envanter düzeyi
 I_{jk}^+ : stok noktası j 'de, nod k 'da oluşan envanter düzeyinin pozitif değeri
 I_{jk}^- : stok noktası j 'de, nod k 'da oluşan envanter düzeyinin negatif değeri
 R_{jn} : stok noktası j 'de, periyot n 'de sipariş kararı verilip verilmediğini gösteren 0-1 değişkeni

Q_{jn} : stok noktası j 'de, periyot n için sipariş miktarı

$V_{jj'n}$: stok noktası j 'de, periyot n 'de, stok noktası j 'ye gönderilen ürün miktarı

Min.

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in J} P_k \cdot h_j \cdot I_{jk}^+ + \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} P_k \cdot \rho_i \cdot I_{ik}^- + \sum_{n \in N} \sum_{j \in J} L_j \cdot R_{jn} \quad (1)$$

s.t.

$$I_{jk} = I_{jk}^+ - I_{jk}^- \quad \forall j \in J, k \in K \quad (2)$$

$$I_{jk} = 0 \quad \forall k \in K, j \in J/I \quad (3)$$

$$I_{j0}^+ = 0 \quad \forall j \in J \quad (4)$$

$$I_{jk} = I_{jv(k)} + Q_{jr(k)} - \sum_{j' \in U_j} V_{jj'r(k)} - D_{jk}; \quad \forall k \in K; j \in J \quad (5)$$

$$Q_{jn} = \sum_{j' \in Y_j} V_{jj'n} \quad \forall n \in N, j \in J/B \quad (6)$$

$$Q_{jn} \leq M \cdot R_{jn} \quad \forall n \in N, j \in J \quad (7)$$

Yukarıdaki matematiksel tanımda;

(1) Amaç fonksiyonunu ifade etmektedir. Burada her bir stok noktası ve her bir düğüm için karşılaşılabilecek elde tutma maliyeti, her bir perakendeci ve her bir düğüm için stoksuz kalma maliyetlerinin ağırlıklı ortalaması ile her bir stok noktasının ve her bir periyot için sabit sipariş maliyetlerinin toplamı verilmiştir.

Kısıtlar ise şöyledir;

- (2) Envanter düzeyinin pozitif ve negatif değerleri arasındaki ilişkiyi açıklar.
- (3) Depolar için stoksuz kalma durumunun gerçekleşmeyeceğini garanti eder.
- (4) Başlangıç envanter düzeyinin tüm stok noktaları için 0 olduğunu belirtir.
- (5) Tedarik zincirinde gerçekleşen ürün akışlarını açıklar.
- (6) Tedarik miktarı ile stok noktaları arasında transfer edilen ürün miktarlarını birbiriyle ilişkilendirir.
- (7) Sipariş kararı değişkeni ile tedarik miktarı arasındaki ilişkiyi belirtir.

4.2. Dinamik Model

Dinamik modelde tüm envanter kararlarının her dönem içinde dinamik olarak yapıldığı varsayılmaktadır. Dolayısıyla durum uzayını oluşturan her bir düğüm için hangi stok noktalarında ne kadar sipariş verileceği belirlenecektir. Bu modelin statik modelle matematiksel açıdan temel farkı anlaşıldığı üzere statik modelde periyoda bağlı olarak tanımlanmış olan R_{jn} ve $V_{jj'n}$ değişkenlerinin dinamik modelde düğümlere (nod) bağlı olarak R_{jk} ve $V_{jj'k}$ şeklinde tanımlanmalarıdır. Bu bağlamda kullanılan karar değişkenleri aşağıdaki gibidir:

I_{jk} : stok noktası j 'de, nod k 'da oluşan envanter düzeyi

I_{jk}^+ : stok noktası j 'de, nod k 'da oluşan envanter düzeyinin pozitif değeri

I_{jk}^- : stok noktası j 'de, nod k 'da oluşan envanter düzeyinin negatif değeri

R_{jk} : stok noktası j 'de, nod k 'da sipariş kararı verilip verilmediğini gösteren 0-1 değişkeni

Q_{jk} : stok noktası j 'de, nod k için sipariş miktarı

$V_{j,j,k}$: stok noktası j 'de, nod k 'da stok noktası j ' ye gönderilen ürün miktarı
Min.

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in J} P_k (h_j \cdot I_{jk}^+ + L_j \cdot R_{jk}) + \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} P_k \cdot \rho_i \cdot \Gamma_{ik} \quad (1)$$

s.t.

$$I_{jk} = I_{jk}^+ - I_{jk} \quad \forall j \in J, k \in K \quad (2)$$

$$I_{jk} = 0 \quad \forall k \in K, j \in J/I \quad (3)$$

$$I_{j0}^+ = 0 \quad \forall j \in J \quad (4)$$

$$I_{jk} = I_{jv(k)} + Q_{jk} - \sum_{j' \in U_j} V_{j'jk} - D_{jk} \quad \forall k \in K; j \in J \quad (5)$$

$$Q_{jk} = \sum_{j' \in Y_j} V_{j'jk} \quad \forall k \in K, j \in J/B \quad (6)$$

$$Q_{jk} \leq M \cdot R_{jk} \quad \forall k \in K, j \in J \quad (7)$$

Bu modelin matematiksel ifadesinde ise;

(1) Amaç fonksiyonunu ifade etmektedir. Burada her bir stok noktası ve her bir düğüm için karşılaşılabilecek elde tutma maliyeti ve sabit sipariş maliyetleri, her bir perakendeci ve her bir düğüm için stoksuz kalma maliyetlerinin ağırlıklı ortalaması toplamı verilmiştir.

Bu modeldeki kısıtlar ise şöyledir;

- (2) Envanter düzeyinin pozitif ve negatif değerleri arasındaki ilişkiyi açıklar.
- (3) Depolar için stoksuz kalma durumunun gerçekleşmeyeceğini garanti eder.
- (4) Başlangıç envanter düzeyinin tüm stok noktaları için 0 olduğunu belirtir.
- (5) Tedarik zincirinde gerçekleşen ürün akışlarını açıklar.
- (6) Tedarik miktarı ile nodlar arasında transfer edilen ürün miktarlarını birbiriyle ilişkilendirir.
- (7) Sipariş kararı değişkeni ile tedarik miktarı arasındaki ilişkiyi belirtir.

4.3. Deney Tasarımı Ve Sonuçları

Burada, çeşitli maliyet ve talep parametreleri ile ağ yapıları altında statik ve dinamik modeller maliyet açısından karşılaştırılmıştır. Böylece envanter yönetimine ilişkin kararların planlama ufku başında verilmesinin maliyet açısından avantajı veya dezavantajı sayısal olarak belirlenmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda modeller bilgisayar ortamında IBM ILOG programı yardımıyla kodlanarak CPLEX çözücüsüyle çalıştırılmış ve tüm durumlar için de optimal sonuçlar elde edilmiştir.

Kullandığımız maliyet ve taleplere ilişkin parametreler aşağıdaki gibidir:

- i. Ağ yapısı: 2 tip ağ yapısı vardır. İlki ağaç tipi (arborescent) yani 1 depo ve 2 perakendeciden oluşmaktadır. İkincisi ise seri (serial) tiptir yani 2 depo ve 1 perakendeciden ibarettir.
- ii. Periyot sayısı: Örnekler 3 değişik periyotta ayrı ayrı incelenmiştir (2, 3, 4).
- iii. Sabit sipariş maliyeti ağaç tip yapıda depo için 1000, perakendeciler için sırasıyla 100,200 olarak belirlenmiştir. Seri tipte ise depolar için sırasıyla 500,300 ve perakendeci içinse 100 olarak alınmıştır.
- iv. Elde tutma maliyeti ağaç tip yapıda depo için 1, perakendeciler için sırasıyla 3, 4 olarak belirlenmiştir. Seri tipte ise depolar için sırasıyla 1, 2 ve perakendeci içinse 4 olarak alınmıştır.
- v. Ceza maliyeti ağaç tip yapıda perakendeciler için sırasıyla 4, 8 ve 16, 32 olmak üzere iki set olarak belirlenmiştir. Seri tipte ise perakendeci için yine iki set olmak üzere sırasıyla 4 ve 16'dır.
- vi. Olasılık ağacı her nod için 2 farklı talep olasılığı olacak şekilde dizayn edilmiştir bu olasılık değerleri her periyot için (0,5: 0,5) ve (0,9: 0,1) olarak belirlenmiştir.
- vii. Talep, her iki sistemde her dönem için 100 ile 300 arasında uniform (tekbüçimli) dağılımdan rassal olarak çekilmiştir.

Bu maliyet parametreleri seçilirken bir envanter planında mümkün olabilecek ihtimallerin bir kısmını yansıtabilecek olmasına dikkat edilmiştir. Örneğin sipariş

maliyetinin çok yüksek olduğu bir durumda ortaya çıkacak envanter planı, firmanın mümkün olduğu kadar az sayıda sipariş vermesi hatta sipariş maliyetiyle karşılaşmamak için bir seviyeye kadar, yok satmadan kaynaklanan ceza maliyetine katlanması şeklinde gelişecektir. Bunun yanında sipariş maliyetinin çok düşük ceza maliyetinin ise göreceli olarak büyük olduğu bir durumda envanter planı çok sıklıkla sipariş verme ve mümkün olduğu kadar ceza maliyetinden kaçınma gibi yolları izleyecektir. Bu örneklerden daha rahat anlaşılabilmesi gibi, yukarıda ifade edilen maliyet parametrelerinin değer kümeleri bu alternatif planların birçoğunu içerebilecek bir şekilde tasarlanmaya çalışılmıştır. Bu parametrelerin bütün kombinasyonları ile toplam 24 problem oluşturulmuştur. Her bir problem için kullanılan parametreler ve çözüm sonucu elde edilen maliyet değerleriyle beraber aşağıdaki tablolarda özetlenmiştir (Tablo 2 ve Tablo 3).

Bu oluşturulan modellerin çıktılarını değerlendirecek olursak, görülmektedir ki stokastik yapı, seri sistemlerde maliyetlerin azaltılması açısından daha fazla yarar sağlamaktır. Test tasarımında deney yaptığımız parametreleri ele alacak olursak, her iki ağ tasarımında da, diğer değişkenlerin farklılaştığını da göz önünde bulundurarak, çözüm periyodunu arttırdıkça dinamik model yönünde yüzdesel olarak pozitif artışlar, diğer bir deyişle maliyet düşüşü gözlemlenmektedir. Bu durum deney tasarımının tamamında bu yönde işlemiştir ve seri ağ yapısı her durumda ağaç tipi ağ yapısı karşısında toplam maliyet açısından daha negatif seyir izlemiştir. Bunun dışında değişikliğe gittiğimiz parametrelerden olan olasılık, baskın veya meyilli (bias) olan değerlerde (0.9'a, 0.1 değerinde) sistem karar vermede daha az zorluk yaşadığı için optimum sonuca dolayısıyla da minimum maliyete, daha kısa zamanda ulaşmıştır. Ceza maliyetinde yapmış olduğumuz değişiklikler de ceza maliyeti miktarı arttıkça toplam sipariş maliyetinin doğal olarak arttığını ancak statik ve dinamik yapılar arasındaki maliyet farkının dinamik yapı lehine artış gösterdiğini göstermektedir.

Deney ortamında periyotları arttırdığımızda, hem seri tip hem ağaç tip ağ yapılarında statik modeldeki maliyet değişimi dinamik modele oranla daha fazla olmuştur. Her iki model kendi içinde karşılaştırıldığında seri sistemlerdeki değişimin

daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Eğer sipariş maliyeti, bu tasarımdaki gibi deterministik bir değer yerine, bir fonksiyona bağlı doğrusal (linear) değişim gösterseydi, bu durumda sözü edilen toplam maliyet farkları bu oranlarda oluşmayabilirdi. Aynı durumda ceza maliyetlerini değiştirdiğimizde diğer tüm koşullar aynı kalmak şartıyla, periyotlar arttıkça maliyetlerde artmaktadır. Burada yine her iki ağ yapısında da, dinamik model statik modele oranla daha iyi performans sergilemektedir. Ancak bias olduğu durumlarda periyotları da aynı ortamda arttırdığımızı göz önünde bulundurursak, bu artış doğrusal seyir izlemeyip kesikli bir hal almaktadır.

Bu farklı durumları göz önünde bulundurup, sistem sınırlılığı açısından sonuçları ele aldığımızda statik modelin dinamik modele oranla daha iyi performans gösterdiği görülmektedir (Carlson *vd.*,1979; De Kok, Inderfurth, 1997; Tunç *vd.*, 2013). Ancak her iki model birlikte ele alındığında ve durağan modellerle karşılaştırıldığında, talebin durağan olmamasından kaynaklı genel bir performans eksikliğinden söz edilebilir.

Tablo 2. Ağaç Tipi (arborescent) Ağ Yapısının Sayısal Sonuçları

	#	L			h			p			Olasılık	n				Optimal Sonuç		Fark	
		D1	P1	P2	D1	P1	P2	D1	P1	P2		n1	n2	n3	n4	Statik	Dinamik		
Ağaç Tipi Tedarik Zinciri (Arborescent)	1	1000	100	200	1	3	4	--	4	8	(0,5,0,5)	P1	183	201			2126,50	2126,50	0%
												P2	110	145					
	2	1000	100	200	1	3	4	--	4	8		P1	284	208	176		3804,50	3714,00	-2%
												P2	136	163	183				
	3	1000	100	200	1	3	4	--	4	8		P1	258	275	185	280	5934,94	5377,44	-9%
												P2	273	165	112	239			
	4	1000	100	200	1	3	4	--	16	32	P1	183	201			2237,00	2166,50	-3%	
											P2	110	145						
	5	1000	100	200	1	3	4	--	16	32	P1	284	208	176		4218,00	3848,50	-9%	
											P2	136	163	183					
	6	1000	100	200	1	3	4	--	16	32	P1	258	275	185	280	6967,75	5765,13	-17%	
											P2	273	165	112	239				
	7	1000	100	200	1	3	4	--	4	8	(0,9,0,1)	P1	183	201			1998,60	1984,60	-1%
										P2		110	145						
	8	1000	100	200	1	3	4	--	4	8		P1	284	208	176		3586,40	3458,10	-4%
										P2		136	163	183					
	9	1000	100	200	1	3	4	--	4	8		P1	258	275	185	280	5097,02	4402,61	-14%
										P2		273	165	112	239				
	10	1000	100	200	1	3	4	--	16	32	P1	183	201			2230,00	2230,00	0%	
										P2	110	145							
	11	1000	100	200	1	3	4	--	16	32	P1	284	208	176		3743,11	3634,68	-3%	
										P2	136	163	183						
	12	1000	100	200	1	3	4	--	16	32	P1	258	275	185	280	7258,68	5391,96	-26%	
										P2	273	165	112	239					

Tablo 3. Seri Tip (serial) Ağ Yapısının Sayısal Sonuçları

	#	<i>L</i>			<i>h</i>			<i>p</i>			Olasılık					Optimal Sonuç			
		D1	D2	P1	D1	D2	P1	D1	D2	P1		n1	n2	n3	n4	Statik	Dinamik	Fark	
Seri Tip Tedarik Zinciri (Serial)	1	500	300	100	1	2	4	--	--	4	(0.5, 0.5)	P1	121	144			852,0	852,0	0%
	2	500	300	100	1	2	4	--	--	4		P1	157	242	256		3330,0	2936,0	-12%
	3	500	300	100	1	2	4	--	--	4		P1	242	162	286	181	4760,0	3968,0	-17%
	4	500	300	100	1	2	4	--	--	16		P1	121	144			864,0	864,0	0%
	5	500	300	100	1	2	4	--	--	16		P1	157	242	256		4079,0	3188,0	-22%
	6	500	300	100	1	2	4	--	--	16		P1	242	162	286	181	6394,0	4230,0	-34%
	7	500	300	100	1	2	4	--	--	4	(0.9, 0.1)	P1	121	144			800,8	800,8	0%
	8	500	300	100	1	2	4	--	--	4		P1	157	242	256		2907,1	2386,4	-18%
	9	500	300	100	1	2	4	--	--	4		P1	242	162	286	181	4666,3	3358,0	-28%
	10	500	300	100	1	2	4	--	--	16		P1	121	144			839,2	839,2	0%
	11	500	300	100	1	2	4	--	--	16		P1	157	242	256		3564,2	2961,6	-17%
	12	500	300	100	1	2	4	--	--	16		P1	242	162	286	181	5181,6	3358,0	-35%

SONUÇ

Bu çalışmada incelenen matematiksel modellerde yer alan varsayımlardan bir tanesi, talebin stokastik ve durağan olmayan bir şekilde gerçekleştiği varsayımdır. Bu yaklaşım gerçek hayatta firmaların karşılaşılabileceği durumları daha net bir biçimde ortaya koymakla beraber günümüzde bu tür uygulamaların, gerek firma bilinçsizliğinden kaynaklı, gerekse de bu tip yazılımları geliştiren şirketlerin gelen taleplerin bu yönde oluşmamasından dolayı ek maliyetlere girmek istememelerinden kaynaklı, göz ardı edilmeleri söz konusudur. Günümüzde firmalar çok basit envanter kontrol yöntemlerini kullanmayı tercih etmektedirler. Ancak gelişen rekabet koşulları çerçevesinde, nüansların kar marjlarını belirlediği bir ortamda, bu tip çalışmaların firmaların ilgisini çekmesi kaçınılmazdır. Özellikle çoklu belirsizlik ortamlarında, gerçek hayatta karşılaşılan durumları daha gerçekçi yansıtmaya çalışan bu tip modellere ihtiyaç duyulacağı çok açıktır.

Daha önce değinildiği gibi çok kademeli tedarik zincirlerinde envanter yönetiminin tek stok noktalı sistemlere göre çok daha zor olduğu bilinmektedir. Bu çalışma kapsamında yapılan çalışmalar, bu zor envanter kontrolü problemine esnek bir modelleme yaklaşımı olarak bilinen stokastik programlama tabanlı çözüm önerileri sunmuştur.

Bu kapsamda geliştirilen modeller, hipotetik envanter test problemleri üzerinde uygulanmıştır. Tedarik zincirinin büyüklüğü ve gerçekleştirilecek talep düzeylerinin çok sayıda olması geliştirilen modellerin sayısal karmaşıklığını ciddi ölçüde arttıracığı açıktır. Bu nedenle daha verimli sezgisel yaklaşımların geliştirilmesi önemli bir araştırma alanı olarak görülebilir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar özellikle seri tip tedarik zincirlerinde ve periyot sayısı arttıkça dinamik modellerin statik modellerden çok daha iyi maliyet performansı sergilediğini göstermektedir. Bu nedenle özellikle dinamik modellerin daha verimli çözülebilmesine yönelik çalışmaların önemi açıktır.

Bu çalışmada ele alınan envanter kontrol yaklaşımları saf dinamik ve saf statik politikaları içermektedir. Ancak uygulamalarda bu iki uç yönelimin hibritleri de kullanılmaktadır. Örneğin; sipariş zamanlarının planlama ufku başında belirlenip sipariş miktarlarının dinamik olarak sipariş dönemlerinde belirlendiği sistemlerle pratikte sıkça karşılaşmaktadır. Envanter kontrol politikaları çerçevesinde (R,S) olarak adlandırılan bu politikanın tek stok noktalı sistemlere uygulanması konusunda çok sayıda bilimsel çalışma yapılmıştır (Bookbinder, Tan, 1988; Tarım, Kingsman,2004; Tarım ve Kingsman, 2006). Bu tip hibrit statik-dinamik yaklaşımların çok aşamalı envanter sistemlerinde de yüksek maliyet performansı göstermesi beklenebilir. Bunun yanı sıra gerçek hayat problemlerine uyarlanmak istendiğinde bu çalışma kapsamında geliştirilen modeller, firmaların tedarik zinciri yönetiminde, montaj hattı dengelemesinde ve envanter kontrolünde kullanılabilir.

KAYNAKÇA

- Aft, L. S. (1987) **Production and Inventory Control**, Harcourt Brace Jovanovich, Inc.
- Arnold, T. (1991) **Introduction to Materials Management**, New Jersey: Prentice Hall, Inc.
- Arrow, J.K., T. Harris, J. Marschak (1951) "Optimal Inventory Policy", **Econometrica**, 19(3), 250-272.
- Axsater, S. (2006) **Inventory Control** (2nd ed.), USA: Springer Science-Business Media, LLC.
- Beekman-Love, G.K., L. Nieger (1978) **Materials Management**, Series on Applied Business Logistics, Vol. L, Netherlands: Mennen, Asten.
- Bellman, R., I. Glicksberg, O. Gross (1955) "On the Optimal Inventory Equation", **Management Science**, 2(1),83-104.
- Bienstock, D., J. Shapiro (1988) "Optimizing Resource Acquisition Decisions by Stochastic Programming", **Management Science**, 34(2), 215-229.
- Bookbinder, J. H., J. Tan (1988) "Strategies for the Probabilistic lot-Sizing Problem with Service-Level Constraints", **Management Science**, 34(9), 1096-1108.
- Carlson, R.C, J.V. Jucker, D.H. Kropp (1979) "Less Nervous MRP Systems: Adynamic Economic Lot-Sizing Approach", **Management Science**, 25, 8, 754-761.

- Chase, R.B., N.J. Aquilano, F.R. Jacobs (1998) **Production and Operations Management: Manufacturing and Services** (8th Ed.) USA: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Clark, A.J., H. Scarf (1960) Optimal Policies for a Multi-Echelon Inventory Problem, **Management Science**, 5(4), 475-490.
- Demir, M. H., Ş. Gümüšoğlu (1998) **Üretim Yönetimi - İşlemler Yönetimi** (5. Baskı), İstanbul: Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş.
- Fogarty, D. W., J.H. Blackstone, T.R. Hoffman (1991) **Production and Inventory Management**, Ohio: South-Western Publishing Co.
- Gaither, N. (1983) **Production and Operations Management: a Problem Solving and Decision Making Approach** (2nd ed.), USA: Dryden Press.
- Hadley, G., T.M. Whitin (1963) **Analysis of Inventory Systems**, Englewood Cliffs, N.J: Prentice-Hall, Inc.
- Hax, A. C., D. Candea (1984) **Production and Inventory Management**, Englewood Cliffs, N.J: Prentice-Hall, Inc.
- Heisig, G. (2002) **Planning Stability in Material Requirements Planning Systems**, Berlin: Springer-Verlag.
- Kobu, B. (2006) **Üretim Yönetimi** (13.Baskı), İstanbul: Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş.
- De Kok, T., K. Inderfurth (1997) Nervousness in Inventory Management: Comparison of Basic Control Rules, **European Journal of Operational Research**, 103(1), 55-82.
- Krajewski, L.J., L.P. Ritzman (2002) **Operations Management: Processes and Value Chains** (7th ed.), New Jersey: Pearson Education, Inc.
- Lim, W.S., J. Ou, C.P. Teo (2003) "Inventory Cost Effect of Consolidating Several One-Warehouse Multiretailer Systems", **Operations Research**, 51(4), 668-672.
- Magad, L. E., J.M. Amos (1989) **Total Materials Management: The Frontier Formaximizing Profit in the 1990's**. Newyork: Competitive Manufacturing Series.
- Nahmias, S. (1997) **Production and Operations Analysis**, Singapore: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Petrovic, R., A. Senborn, M. Vujosevic (1986) **Hierarchical Spare Parts Inventory Systems, Studies in Production and Engineering Economics 5**, Tokyo: Elsevier.
- Plossl, G.W. (1985) **Production and Inventory Control: Principles and Techniques** (2nd ed.), Englewood Cliffs, N.J: Prentice-Hall, Inc.

- Reid, R. D., N.R. Sanders (2005) **Operations Management An Integrated Approach** (2nd ed.), USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Russel, R. S., B.W. Taylor (2003) **Operations Management** (4th ed.), New Jersey: Prentice Hall, Inc.
- Scarf, H. (1959) Optimality of (s,S) Policies in the Dynamic Inventory Problem in K.Arrow, S. Karlin, P. Suppes (eds.), **Mathematical Methods in the Social Sciences**, 196-202. Stanford, CA: Stanford University Press.
- Schroeder, R.G. (1989) **Operations Management: Decision Making in the Operations Function** (3th ed.), Singapore: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Silver, E.A. (1981) "Operations Research in Inventory Management: A Review and Critique", **Operations Research**, 29, 4, 628-645.
- Silver, E. A., R. Peterson (1985) **Decision Systems for Inventory Management and Production Planning** (2nd ed.), Singapore: John Wiley & Sons, Inc.
- Sobel, M.J., R.Q. Zhang (2001) "Inventory Policies for Systems with Stochastic and Deterministic Demand", **Operations Research**, 49(1), 157-162.
- Sox, C.R. (1997) "Dynamic Lot Sizing with Random Demand and Non-Stationary Costs", **Operations Research Letters**, 20, 155-164.
- Taha, H.A. (2000) **Operations Research an Introduction** (Ş.A. Baray, Ş. Esnaf, Çev.) İstanbul: Literatür Yayıncılık.
- Tarım, S.A., B.G. Kingsman (2004) "The Stochastic Dynamic Production/Inventory Lot-Sizing Problem With Service-Level Constraints", **International Journal of Production Economics**, 88, 105-119.
- Tarım, S. A., B.G. Kingsman (2006) "Modelling and Computing (Rn,Sn) Policies for Inventory Systems With non-Stationary Stochastic Demand", **European Journal of Operational Research**, 174,581-599.
- Tersine, J.R. (1988) **Principles of Inventory and Materials Management** (3rd ed.), USA: Elsevier Science Publishing Co., Inc.
- Tunc, H., O.A. Kilic, S.A. Tarim, B. Eksioğlu (2013) A Simple Approach for Assessing the Cost of System Nervousness, **International Journal of Production Economics**, 141(2), 619-625.
- Winston, W.L. (2004) **Operations Research: Applications and Algorithms** (4th ed.), Canada: Thomson Learning, Inc.

Yüksel, A. (1975) “Stok-Stok Problemleri ve Stok Yönetim Anlayışı”, **İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi**, 4(2), 233.

Ziemba, W., J. Mulvey editors (1998) **World Wide Asset and Liability Management**, Cambridge University Press.

Zipkin, P.H. (2000) **Foundations of Inventory Management**, Boston: McGraw-Hill Pub..