



Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü
İşletme Anabilim Dalı
Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler Bilim Dalı

DURAĞAN OLMAYAN (R,S) TİPİ ENVANTER POLİTİKASI İÇİN BİR HAREKETLİ PLANLAMA UFKU UYGULAMASI

Burcu Ellidört

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2010

DURAĞAN OLMAYAN (R,S) TİPİ ENVANTER POLİTİKASI İÇİN BİR
HAREKETLİ PLANLAMA UFKU UYGULAMASI

Burcu Ellidört

Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü
İşletme Ana Bilim Dalı
Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2010

KABUL VE ONAY

Burcu ELLİDÖRT tarafından hazırlanan “Durağan Olmayan (R,S) Tipi Envanter Politikası İçin Bir Hareketli Planlama Ufku Uygulaması” başlıklı bu çalışma, 28 Nisan 2010 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.


Prof. Dr. Mehmet Baha KARAN (Başkan)


Prof. Dr. Ş. Armağan TARIM (Danışman)


Yrd. Doç. Dr. Hatice ÇALIPINAR


Yrd. Doç. Dr. Ayşegül TAŞ


Öğr. Gör. Dr. Onur KOYUNCU

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. İrfan ÇAKIN
Enstitü Müdürü

BİLDİRİM

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

Tezimin/Raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir.

Tezim/Raporum sadece Hacettepe Üniversitesi yerleşkelerinden erişime açılabilir.

Tezimin/Raporumun 3 yıl süreyle erişime açılmasını istemiyorum. Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir.

28.04.2010



Burcu Ellidört

Varlığı ile her zorluğun üstesinden gelmemi sağlayan Hüseyin'e

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmam sűresince yardım, destek ve en önemlisi sabrını esirgemeyen sayın danıőmanım Prof. Dr. Armaėan Tarım teőekkűrű bir borç bilirim. Tezdeki kodlama ve siműlasyon kısımlarında yardımlarını aldığım, yűksek lisans yapmam için beni ikna eden ve bu amaç doėrultusunda yardımlarını esirgemeyen niőanlım Hűseyin Tunç'a çok teőekkűr ederim.

Tűm eėitim hayatım boyunca olduėu gibi tez çalıőmamda da sabırla yanımda yer alan, duygusal ve finansal olarak sűrekli desteklerini aldığım ve teőekkűrű en çok hak eden babam Grgűn ELLİDÖRT, annem Nuran ELLİDÖRT ve abim Ozan ELLİDÖRT'e sonsuz teőekkűr ederim. Ŭniversite hayatım boyunca hep yanımda olan, bana her zaman sevgisini hissettiren, yurt arkadaőım, ev arkadaőım ve kardeőim Yeőim SAKALLI'ya teőekkűr ederim. Çalıőmam sırasında sűrekli beni motive eden arkadaőlarım Gűlcan YILDIRIM GűNGÖR, Ebru SİNAN, Gizem UMUT DOėAN, Aslıhan KABADAYI, Tunca DOėAN, Gökçen ŬZGEEN ve Evren KAYAŐ'a teőekkűr ederim.

ÖZET

ELLİDÖRT, Burcu. *Durağan Olmayan (R,S) Tipi Envanter Politikası İçin Bir Hareketli Planlama Ufku Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara 2010.

Envanter planları oluşturulurken karşılaşılan en önemli problemlerden biri talebin belirsiz olmasıdır. Bu belirsizlik nedeni ile optimal olarak bulunan envanter planları en iyi olma özelliklerini kaybedebilecektir. Dolayısıyla optimalliğini yitirmiş bu planların güncellenmesi gerekecektir. Yani talebin belirsizliği firmaların envanter yönetiminde zorlanmasına neden olmakta ve planlama sürecinde doğru politikanın seçilmesi önem kazanmaktadır.

Bu tez çalışmasında durağan olmayan talep varsayımı altında (R,S) tipi envanter politikasının optimal çözümü ile bu modele temel teşkil eden Bookbinder ve Tan'ın (1988) önerdiği statik belirsizlik stratejisinin hareketli planlama ufku altında uygulaması farklı talep desenleri durumunda karşılaştırılacaktır. Statik belirsizlik stratejisi, (R,S) politikasına göre analitik olarak çok daha basit ve kolay çözülebilir bir yapıya sahip olup optimal sonucu garanti edemez. Bu stratejinin hareketli planlama ufku ile çözülmesi ile talepteki belirsizliklere göre planın güncellenmesini sağlayacağı ve daha iyi sonuçlara ulaşılacağı düşünülmektedir.

Sonuç olarak, bahsedilen iki yöntemin farklı servis düzeyi, sabit kurulum maliyeti ve değişkenlik katsayısı altında verdiği sonuçlar karşılaştırılacak ve bu sonuçlara göre modeller arasındaki farklılıklar yorumlanacaktır.

Anahtar Sözcükler:

Envanter Modelleri, Statik Belirsizlik, Hareketli Planlama Ufku, (R,S) Politikası.

ABSTRACT

ELLİDÖRT, Burcu. *A Rolling Horizon Application for The Non-Stationary (R,S) Inventory Policy*, Master's Thesis, Ankara 2010.

One of the most important problem that is faced in inventory planning is demand uncertainty. Because of this uncertainty the optimal solution may lose the optimality by the time. If a solution lose the optimality, it must be updated. In other words handling the inventory may be more complex under the demand uncertainty, so that selecting the appropriate planning policy become more important.

In this thesis rolling horizon application of Bookbinder and Tan's (1988) static uncertainty strategy, the basis of the (R,S) policy, is compared with the non-stationary (R,S) inventory policy, that is the optimal solution, under the different demand designs. However, static uncertainty strategy is simpler and easier than (R,S) policy, it cannot guarantee the optimal solution. By using rolling horizon method static uncertainty strategy can be updated through planning horizon, so it can reach the better solutions.

In conclusion, the comparison of both methods' solutions under different service levels, fixed set-up costs and coefficient of variations are given and the cost differences are interpreted.

Key Words:

Inventory Models, Static Uncertainty, Rolling Horizon, (R,S) Policy.

İçindekiler

KABUL VE ONAY	i
BİLDİRİM	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İçindekiler	vi
Şekil Listesi	viii
Tablo Listesi	ix
1. GİRİŞ	1
1.1 ÇALIŞMANIN AMACI VE ÖNEMİ.....	1
1.2 TEZİN İÇERİĞİ	4
2. ENVANTER YÖNETİMİ	5
2.1 TEMEL KAVRAMLAR.....	5
2.2 ENVANTER MODELLERİ	7
2.3 ENVANTER MALİYETLERİ	9
2.3.1 Birim Değişken Maliyet (v)	9
2.3.2 Kurulum veya Sipariş Maliyeti (a)	9
2.3.3 Envanter Bulundurma Maliyeti (h)	10
2.3.4 Envanter Bulundurmama Maliyeti (p)	10
2.3.5 Sistem Kontrol Maliyeti	11
2.4 TALEP YAPILARI.....	11
2.5 DİĞER TANIMLAR	12
2.5.1 Tedarik Süresi	12
2.5.2 Servis Düzeyi	12
2.5.3 Planlama Ufku.....	13
3. ENVANTER POLİTİKALARI	14
3.1 GELENEKSEL ENVANTER POLİTİKALARI.....	14
3.1.1 (s,Q) Envanter Politikası	15
3.1.2 (s,S) Envanter Politikası.....	16
3.1.3 (R,S) Envanter Politikası.....	17
3.1.4 (R,s,S) Envanter Politikası	18
3.2 İLGİLİ LİTERATÜR.....	19
4. BOOKBINDER-TAN VE TARIM-KINGSMAN MODELLERİ	25

5. SERVİS DÜZEY KISITINA SAHİP (R,S) MODELİ İLE HAREKETLİ PLANLAMA UFKU İLE KULLANILAN STATİK BELİRSİZLİK YAKLAŞIMLARININ KARŞILAŞTIRILMASI	36
5.1 PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ	36
5.2 PROBLEMİN YAPISI VE SAYISAL SONUÇLAR	38
5.2.1 Problem Yapısı.....	38
5.2.2 Sayısal Sonuçlar	42
6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	54
Kaynaklar	56
Ekler	61
Ek 1: Talep Desenleri.....	61
Ek 2: Örneklerin Çözümleri	62
ÖZGEÇMİŞ.....	64

Şekil Listesi

Şekil 1: (s,Q) Politikası	15
Şekil 2: (s,S) Politikası	16
Şekil 3: (R,S) Politikası	17
Şekil 4: (R,s,S) Politikası	18
Şekil 5: Talep Desenleri	41
Şekil 6: Talep Desenlerine Göre Maliyet Farkının Ortalaması	43
Şekil 7: Sabit Kurulum Maliyeti (a) Sabit İken Maliyet Farklılıkları	44
Şekil 8: Değişken Katsayısı (cv) Sabit İken Maliyet Farklılıkları	45
Şekil 9: Servis Düzeyi Sabitken Maliyet Farklılıkları	46
Şekil 10: Bookbinder-Tan Sipariş/Üretim Planı (Örnek 1)	48
Şekil 11: Tarım-Kingman Sipariş/Üretim Planı (Örnek 1)	49
Şekil 12: Bookbinder-Tan Sipariş/Üretim Planı (Örnek 2)	51
Şekil 13: Tarım-Kingman Sipariş/Üretim Planı (Örnek 2)	52

Tablo Listesi

Tablo 1: Bookbinder-Tan Sipariş/Üretim Planı (Örnek 1)	47
Tablo 2: Tarım-Kingman Sipariş/Üretim Planı (Örnek 1).....	48
Tablo 3: Bookbinder-Tan Sipariş/Üretim Planı (Örnek 2)	50
Tablo 4: Tarım-Kingman Sipariş/Üretim Planı (Örnek 2).....	51
Tablo 5: Hareketli Planlama Ufku Yaklaşımı ile Uygulanan Statik Belirsizlik Modeli ve Durağan Olmayan (R,S) Modeli Karşılaştırılması.....	53

1. GİRİŞ

Firmalar faaliyet giderlerini azaltmak veya kontrol edebilmek ve uzun dönemli planlar yapabilmek amacıyla envanter bulundururlar. Envanter kontrolü bütün firmaların karşı karşıya geldiği ortak bir problemdir (Hadley ve Whitin, 1963). Bu problemi verimli bir şekilde çözebilmek için çeşitli envanter kontrol politikaları vardır. Bu politikalar doğrultusunda firma çeşitli çevre koşulları altında üretim ve sipariş miktarlarını planlayabilmektedir.

Envanter planları gelecek ile ilgili kesin verilerin olmaması nedeni ile geleceğe yönelik beklentiler doğrultusunda yapılmaktadır. Bu planların uygulanma sürecinde geleceğe yönelik beklentilerde sapmalar meydana gelebilmektedir. Planlama ufğunun başında yapılan ve firma için en uygun olarak görünen envanter planı bu sapmalar nedeni ile en uygun olma özelliğini kaybedebilmektedir. Uygulamada bu durumun ortaya çıkması envanter planının güncellenmesine neden olacaktır.

Envanter kontrol politikasının girdi olarak kullandığı bileşenler çeşitli maliyet bileşenleri ve talep bileşeni olarak tanımlanabilir. Her bileşen için birçok farklı varsayım kullanılabilir ve bu varsayımlar envanter kontrol politikasının karmaşıklığını değiştirir. Karar vericiler çoğu zaman en uygun envanter planı yerine en az karmaşık olanı tercih etmektedirler. Sonuç olarak planlama aşamasında kaçındıkları maliyetlerin çok daha fazlası ile uygulama sırasında karşılaşabilmektedirler.

1.1 ÇALIŞMANIN AMACI VE ÖNEMİ

Envanter kontrol politikalarının kendi içerisinde kullandığı varsayımlar gerçek hayat problemlerinin matematiksel modellerle ifade edilebilmesini sağlamak amacıyla kullanılırlar. Kullanılan varsayımlar gerçek hayata yaklaştıkça bu problemlerin matematiksel modellerle gösterilmesi zorlaşmaktadır. Yani modelin gerçek hayatı

yansıtma özelliği artıkça modelin karmaşıklığı da artacaktır. Bu noktada karar vericiler ikileme düşmekte, modelleme açısından yüksek efor sarf etmenin gerekliliği konusunda tereddüt etmektedirler.

Günümüzde literatürde çok sayıda envanter kontrol politikası bulunmaktadır. Hatta envanter kontrol politikaları kendi içlerindeki değişik varsayımları da göz önüne alındığında kullanılabilir alternatifler ciddi şekilde artmaktadır. Bu durumda hem envanter politikasının hem de bu politikaya ait varsayımların arasından seçim yapmak da karar verme açısından zorlu bir süreç olacaktır.

Envanter modelleri için en önemli bileşenlerden biri olan talep hakkındaki bazı sınıflamalar yapılabilir. Envanter modelleri talep varsayımları açısından iki başlıkta incelenebilir. Bunlardan ilki talep bilgisinin kesin olarak bilindiği deterministik, diğeri ise belirsizlikleri de hesaplama katan ve talep bilgisinin olasılıksal olarak bilindiği stokastik taleptir. Diğeri bir sınıflandırma da talep yapısının tüm dönemler için aynı ya da değişken olması konusunda yapılmaktadır. Deterministik ve her dönem için aynı talep yapısına sahip envanter modelleri statik, her dönem için farklı talep yapısına sahip envanter modelleri ise dinamik olarak adlandırılır. Stokastik talep durumunda ise talep dağılımının tüm dönemler için aynı olduğu modeller durağan, farklı olduğu modeller ise durağan olmayan envanter modelleri olarak adlandırılır (Taha, 1987). Tezin bundan sonraki bölümünde statik ve dinamik kavramları deterministik talep yapısı kavramı, durağan ve durağan olmayan kavramları ise stokastik talep yapısı kavramı olmadan kullanılacaktır.

Gerçek hayatta bu talep yapılarının hepsine rastlansa da en büyük oranın durağan olmayan talep yapısına ait olduğu bir gerçektir. Bekleneceği gibi durağan olmayan yapıdaki envanter sistemlerinin modellemeleri ve bu envanter modellerinden sayısal sonuçların elde edilmesi, sistemin kararlı yapıya sahip olduğunu varsayan durağan sistemlere göre oldukça zordur (Hadley ve Whitin, 1963).

Envanter politikaları ile ilgili en temel ayrımlardan birisi de ne zaman sipariş verilmeli sorusuna verilen iki farklı cevapla ortaya çıkar. Birinci yaklaşım sipariş zamanını elde

kalan envanter seviyesine göre belirlemek, ikinci yaklaşım ise belirli periyotlarda sipariş vermektir. Her iki yaklaşımı da benimseyen çok önemli envanter politikaları vardır. Bunların birçoğu ileriki bölümlerde detaylıca anlatılacaklardır. Bu bölümde çalışmanın ana konusu olan (R,S) tipi envanter politikasından çok kısa bahsedilecektir.

(R,S) envanter politikası belirli periyotlarda sipariş verme yaklaşımını benimseyen bir politikadır. En temel avantajlarından birisi literatürde de şu anda başka bir araştırma konusu olan üretim planındaki değişmeyi ifade eden sistem sinirliliği problemine iyi bir çözüm yöntemi olabilmesidir. Sistem sinirliliği oluşturulan üretim planının koşullar değiştikçe iyi bir plan olma özelliğini kaybetmesinden dolayı yeniden planlama yapılması durumunda ortaya çıkar (Tarım ve Kingsman 2006). (R,S) politikası sipariş periyotlarını sabitlediği için sistem sinirliliği açısından pratik anlamda avantajlı bir konumdadır.

Bu tez çalışmasında durağan olmayan talep varsayımı altında (R,S) tipi envanter politikasının optimal çözümü ile bu modele temel teşkil eden Bookbinder ve Tan'ın (1988) önerdiği statik belirsizlik stratejisinin hareketli planlama ufku altında uygulaması karşılaştırılacaktır. Statik belirsizlik stratejisi, (R,S) politikasına göre analitik olarak çok daha basit ve kolay çözülebilir bir yapıya sahiptir. Bundan dolayıdır ki birçok modele temel teşkil eder (Bkz. Tarım ve Kingsman (2004), Tarım ve Kingsman (2006), Chen ve Krass (2001), Sox (1997)). Fakat çözüm yöntemi sezgisel bir algoritmaya dayalı olduğu için optimal sonucu garanti edemez. Bu nedenle Tarım ve Kingsman 2004 yılında bu problemi optimal olarak çözebilmişlerdir. Doğal olarak optimal sonucu veren modelin hem çözüm zamanı hem de karmaşıklığı statik belirsizlik stratejisinden daha yüksektir.

Hareketli planlama ufku uygulaması birçok çalışmada kullanılmıştır (Bkz Baker (1977), Wemmerlov ve Whybark (1984) ve Bookbinder ve H'ng (1986)). Hareketli planlama ufku yöntemi, zaman içinde ortaya çıkan bilgilerin modele dahil edilerek yeniden planlama yapılmasına dayanmaktadır. Statik belirsizlik stratejisi hareketli planlama ufku yaklaşımı kullanılarak maliyet performansı olarak daha iyi sonuçlar elde edilebilir. Dolayısıyla, geleneksel planlama ufku uygulaması ile çalışan ve bu problemi optimal

olarak çözen (R,S) politikası ile hareketli planlama ufku yaklaşımını kullanan ama problemi sezgisel bir yaklaşımla çözen statik belirsizlik stratejisinin performans karşılaştırması önemli bir hale gelmektedir.

1.2 TEZİN İÇERİĞİ

Bu tez çalışması 6 bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde envanter yönetimi ile ilgili genel bilgiler verilecek, tanımlar ve varsayımlar anlatılacaktır.

Üçüncü bölümde geleneksel envanter kontrol politikaları incelenecek birkaç optimal envanter modeli hakkında bilgi verilecektir.

Dördüncü bölümde bu tez çalışmasının temelini oluşturan Bookbinder ve Tan'ın hareketli planlama ufku yaklaşımı ile Tarım ve Kingsman'ın servis düzey kısıtı içeren doğrusal olmayan (R,S) modeli açıklanacaktır.

Beşinci bölümde, dördüncü bölümde anlatılan iki modelin karşılaştırılması için uygulanan süreçler ile bu süreçlerin sonuçları incelenecektir.

Altıncı ve son bölümde ise tezin sonucu kısaca anlatılıp, tez ile ilgili değerlendirmelere yer verilecektir.

2. ENVANTER YÖNETİMİ

Bu bölümde envanter yönetiminin temel kavramlarına ait tanımlar ve açıklamalara yer verilecek ve bu tanım ve açıklamalar tezin ileriki bölümlerinde kullanılacaktır. Çalışmada envanter ve stok kavramları eş anlamlı olarak kullanılmıştır.

2.1 TEMEL KAVRAMLAR

Envanter, firmalar tarafından üretimde kullanılmak veya satılmak için bulundurulan bütün ürün ve malzemelere verilen addır. Firmalar ürettikleri ve tedarikçilerden satın aldıkları hammaddeler, ara ürünler ve son ürünler için envanter tutabilirler. Firmaların envanter tutmasının temel nedeni, sipariş geldiği an bu siparişi karşılama yeteneğini ellerinde tutmak istemeleridir. Daha ayrıntılı incelenecek olursa firmaların envanter tutma nedenleri Chase, Jacobs ve Aquilano'nun 2004 yılındaki çalışmalarında belirttiği gibi 5 başlıkta incelenebilir.

- a. Bağımsız işlemleri sürdürebilmek. Birçok üretim biriminin bir arada çalışmasıyla üretim süreci oluşur. Bu birimlerin kendi içlerinde üretim düzeylerini belirleyen çok sayıda özellikleri birbirlerinden farklıdır. Ancak bu birimlerin uyum içerisinde çalışması ile üretim süreci verimli bir şekilde çalışabilir. Ara ürünler için envanter bulundurmak bu uyumun sağlanması için gereklidir. Ayrıca, tutulan envanter üretim birimlerinde meydana gelen aksaklığın diğer birimleri de etkilemesini engeller.
- b. Beklenen talepte meydana gelebilecek sapmalara karşı önlem almak. Firmalar genellikle gelecekte meydana gelecek talepler konusunda kesin bir yargıya varamazlar. Dolayısıyla firmaların envanter tutmaları beklenen talep miktarında oluşabilecek sapmalara daha rahat uyum sağlamalarına yardımcı olacaktır.

- c. Üretim planında esneklik sağlamak. Üretim hattında envanter tutmak üretim planlarında yapılabilecek değişikliklere kolaylık sağlayarak, üretim sistemindeki baskıyı azaltacaktır. Yani üretim planının esnekliği için önemli eylemlerden biri envanter tutmaktır.
- d. Tedarik süresinde meydana gelebilecek değişkenliklere karşı önlem almak. Tedarik süresi, üretim veya sipariş kararının verilip, malın talebinin karşılanmasına kadar geçen sürenin tamamına verilen addır. Üretimin yanı sıra tedarik süresi kapsamında yer alan ulaştırma gibi sistemlerde ortaya çıkabilecek aksaklıkların bertaraf edilmesi için envanter tutmak gereklidir.
- e. Ekonomik sipariş miktarından faydalanmak. Üretim sistemlerinde karşımıza çıkan sabit maliyetler nedeniyle firmalar daha seyrek ve büyük miktarlarda üretim yapmayı tercih edebilirler. Yani üretimi daha ekonomik hale getirmek için envanter bulundurmamak tercih edilebilmektedir.

Firmalar amaçlarına göre değişik envanter çeşitleri bulundururlar. Bu envanter çeşitleri 6 başlıkta incelenebilir (Reid ve Sanders, 2004)

- a. Beklentiye Dayalı Stok: Gelecek dönemlerde talep, mevsimsel dalgalanmalar, tatil dönemleri gibi üretim faktörlerini düşünülerek üretim seviyesini korumaya yönelik firmaların tuttuğu stokları ifade eder.
- b. Güvence Stoğu. Özellikle belirsiz ortamlarda beklenen ile gerçekleşen stok arasındaki farkları karşılayabilmek için firmaların tuttuğu stoktur. Bu stok miktarı belirsizliğin artışı ile yükselmesi beklenir.
- c. Yığın Üretim Stoğu. Firmaların fazla sipariş vermeleri ya da üretim yapmaları sonucunda ellerinde yer alan stoktur. Kurulum ve sipariş maliyetlerinin yüksek olduğu durumlarda firmalar toplu üretim yapmak ya da sipariş vermek yolunu

seçmekte ve bunun sonucu da ellerinde yığın üretim stok miktarında artış olmaktadır.

- d. Nakil Stoğu. Üretimi yapılmış ama dağıtım deposuna ulaşana kadar talep karşılayamaz durumda olan taşıma sürecinde bulunan stoklarıdır. Firmaların dağıtım ağlarının güçlü olması bu stok miktarında düşüşe neden olmaktadır.
- e. Spekülatif Stok. Piyasa dengesizliklerine karşı önlem olarak tutulan stoklarıdır. Ürünün maliyetinin artışının beklenmesi firmaların bu tip stoğa yönelmesine neden olmaktadır.
- f. Bakım Stoğu. Bakım, temizlik, tamir gibi üretime yardımcı birimler için tutulan stoktur.

Firmalar tarafından üretim sürecinde ihtiyaç duyulan ara ürünler ile talep edilen son ürünleri zamanında sağlayabilmek önemli bir konudur. Firma, müşterinin güvenini kaybetmemek için stok tutmayı tercih etmektedir. Stok tutmanın da bir maliyeti olduğundan hem talepleri karşılayabilecek hem de maliyeti minimize edecek stok miktarının belirlenmesi için karmaşık bir problemi çözmek gerekecektir.

2.2 ENVANTER MODELLERİ

Envanter Yönetimi, firmaların katlanılabilir düzeyde maliyetler ile müşteri beklentilerini eksiksiz ve tam zamanında karşılaması amacına hizmet ederek stokların yönetilmesidir. “Ne zaman” ve “ne kadar” sipariş verilmeli sorularının cevabı envanter yönteminin asıl konusunu oluşturmaktadır. Firmaların bu kararı verebilmesi için bazı matematiksel modeller kurması ve çalıştırması gerekecektir. Gerçek hayattaki her değişkenin modele konulması ise modelin çözümsüz olmasına neden olabilecektir. Modelin çözüme ulaştırılabilir halde kalabilmesi için bazı varsayımların kabul edilmesi

gerekmektedir. Envanter modelleri de en çok bu varsayımlar konusunda farklılık göstermektedir (Tunç, 2007).

- a. Tek dönemli / Çok dönemli envanter modelleri. Tek dönemli envanter modelleri stoklanamayan, yani elde kaldığında kullanılmaz olan mallar için uygulanır. Dolayısıyla, tek dönemli envanter modellerinde sadece dönem içindeki üretim/sipariş miktarının ne olacağı bulunmaya çalışılır. Çok dönemli envanter modelleri stoklanabilen, yani dayanıklı mallar için kullanılır. Bu modellerde çok sayıda dönem göz önüne alınıp üretim/siparişin ne zaman ve ne kadar yapılacağı sorularına yanıt aranır.
- b. Tek ürünlü / Çok ürünlü envanter modelleri. Sistemde tek ürün veya çok ürün bulunması durumuna göre kullanılan envanter modelleri değişmektedir. Çok ürünlü envanter modellerinin sonuçlandırılması tek ürünlülere göre son derece zordur.
- c. Tek kademeli / Çok kademeli envanter modelleri. Talep tek stok noktasına gelip karşılanıyorsa tek kademeli, birden çok stok noktasında karşılanıyorsa çok kademeli envanter modelleri uygulanmaktadır. Çok kademeli envanter modellerinde çok sayıda noktada talep oluşup yine çok sayıda noktadan karşılanabilir.
- d. Kapasite kısıtlı olan / Kapasite kısıtlı olmayan envanter modelleri. Üretim/sipariş miktarı, üretim sürecinden veya tedarikçilerden kaynaklanan nedenlerle belli bir düzeyin üzerine çıkamayabilir. Böyle durumlarda kapasite kısıtlı envanter modelleri kullanılır. Kapasite sınırı varken, kapasite sınırı olmayan envanter modellerini kullanmak uygulanamayacak bir envanter planı oluşmasını sağlayabilir. Bu nedenle, kapasite kısıtı olan durumlarda bu kısıt mutlaka modele dahil edilmelidir.

2.3 ENVANTER MALİYETLERİ

Envanterin firmalar için çoğu konuda bir tampon görevi gördüğü bir gerçektir. Firmaların bu konuda dikkatli davranmasının nedeni ise envanter maliyetlerinin büyüklüğüdür. Envanter ancak firmaya verdiği fayda, maliyetinden fazla olduğu sürece tercih edilecek bir unsurdur. Bu maliyetlerin anlaşılması karar verme süreci için gereklidir. Envanter maliyetleri kısaca 5 başlıkta toplanabilir. Bunlar birim veya birim değişken maliyet, sipariş veya kurulum maliyeti, envanter bulundurma maliyeti, envanter bulundurmama maliyeti ve son olarak sistem kontrol maliyetidir (Silver, Pyke ve Peterson, 1998).

2.3.1 Birim Değişken Maliyet (v)

Sipariş edilen malın taşıma maliyetleri dahil edilerek hesaplanan mal için ödenen maliyetlerin hepsini ifade eden kavramdır. Üretim durumunda ise birim maliyet hesaplanması zor olduğundan malın defter değeri olarak kabul edilmektedir.

Birim maliyet, alınan veya üretilen malın miktarından bağımsız v gibi bir değerle ifade edilir. Üretilen veya satın alınan mal miktarını q gibi bir sabitle gösterirsek, toplam birim maliyet vq olacaktır.

2.3.2 Kurulum veya Sipariş Maliyeti (a)

Sipariş maliyeti satın alınan her kalem için ısmarlama işlemleri, formlar, tedarikçiyi seçme, bilgiyi gönderme, dokümanları alma ve alınan malı muayene etme gibi işlemleri kapsamaktadır. Üretim durumunda bu maliyete kurulum maliyeti adı verilir. Sipariş/kurulum maliyeti, satın alınan veya üretilen malın miktarından bağımsızdır. Kurulum veya sipariş maliyeti a gibi bir sabitle gösterilebilir.

2.3.3 Envanter Bulundurma Maliyeti (h)

Elde tutulan envanter için katlanılan kira, elektrik, ısıtma, soğutma, vergi harcamaları ile hasarlı, eskimiş, bozulmuş malların ve alternatif yatırımların fırsat maliyetleri bu kapsamda değerlendirilir. Envanter bulundurma maliyeti h gibi bir sabitle gösterilir. Elde tutulan mal miktarına bağlıdır. Modellerde genellikle dönem sonunda kalan envanter miktarından hesaplanmaktadır.

2.3.4 Envanter Bulundurmama Maliyeti (p)

Elde bulundurmama maliyetleri, mevcut bir talebin stoklardan karşılanamaması durumunda ortaya çıkan veya da stoklardan karşılanamayan talep miktarına işletmenin ulaşınca kadar geçirdiği zaman dilimiyle oluşan maliyetlerdir. Çok basit bir yaklaşımla elinde stok bulundurmamayan satıcı satışları kaçırmış (kayıp satış) ve kayba uğramış olur. Ancak elde bulundurmama maliyetleri sadece satış kaybından kaynaklanmamakta, aynı zamanda talebe cevap verememenin gelecekteki yankılarını (yok satma) da içermektedir. Yok satma durumunda, talep sonraki periyotta envanter sağlanınca er ya da geç karşılanacaktır. Burada karşılaşılan maliyet gecikmeden dolayı firmanın karşı karşıya olduğu itibar kaybıdır. Yok satma maliyeti p gibi bir sabitle ifade edilir. Kayıp satış durumunda ise talebi karşılanamayan müşteri bir daha geri dönmekte ve firma bu müşteriyi kaybetmektedir. Ceza maliyeti olarak adlandırılan envanter bulundurmama maliyetlerinin belirlenmesi oldukça güçtür.

Stokastik envanter modellerinde, talebi karşılayabilme oranının üstünde olması istenen olasılık düzeyini ifade eden “servis düzeyi” kısıtının gösterimi ile envanter bulundurmama maliyetinin modele eklenmesine gerek kalmayacaktır. Bu kısıt sayesinde model sürekli olarak talebi karşılama oranını belli bir seviyenin üstünde tutmaya çalışmakta, böylece firma ceza maliyeti ile karşı karşıya kalmamaktadır. Bu çalışmaya konu olan modellerde servis düzeyi kısıtı kullanılacaktır.

2.3.5 Sistem Kontrol Maliyeti

Bilgisayar sistemlerinin kullanılması, talep tahminlerinin yapılması veya envanter sayımı gibi maliyetler envanter sistemlerinin kontrol edilebilmesi için gerekli olan bilgi akışını sürekli sağlamak amacıyla katlanılan maliyetlerdir. Bu maliyetin çok yüksek olması firmaların sık kontrol gerektiren envanter politikalarından kaçınmasına neden olmaktadır.

2.4 TALEP YAPILARI

Envanter modellerinde talep öncelikle bağımlı ve bağımsız olarak ikiye ayrılmaktadır. Firmaların ürettiği son ürüne olan talep bağımsız talepken, bu talep ile belirlenen son ürünü üretmek için kullanılan ara ürün ve bileşenlerin talebi bağımlı talep olmaktadır. Burada ilk belirlenmesi gereken bağımsız taleptir. Ancak son ürüne olan talebin bilinmesi ile ona bağlı yarı mamullerin talepleri hesaplanabilir.

Talebin sürekli ve kesikli olarak da sınıflaması yapılmaktadır. Envanter modellerinde talebin gerçek sayılar ile ifade edilebildiği durumlarda sürekli talep, tamsayı ile ifade edilebildiği durumlarda ise kesikli talep varsayımı kullanılır. Birçok problemde ürünler adet olarak modele konulduğu için kesikli talep varsayımı kullanılmaktadır.

Diğer bir talep sınıflaması ise kesin veya olasılıksal talep olarak yapılmaktadır. Önceki bölümlerde bahsedilen bu sınıflama deterministik-statik (her dönem aynı olan kesin talep bilgisi), deterministik-dinamik (her dönem farklı olabilen kesin talep bilgisi), stokastik-durağan (her dönem aynı dağılıma sahip olasılıksal talep bilgisi) ve stokastik-durağan olmayan (her dönem farklı dağılıma sahip olabilen olasılıksal talep bilgisi) şeklinde dörde ayrılmaktadır. Envanter modelinin karmaşıklığı bu talep yapılarına göre değişmektedir. En basit uygulanabilen ve en hızlı çözüme ulaşan talep yapısı deterministik-statik talepken, durağan olmayan talep yapıları uygulaması zor, karmaşık ve çözüm süresi fazla olan problemlerin meydana gelmesini sağlamaktadır. Literatürde

durağan olmayan modellerin gerçek hayata daha yakın olmalarına rağmen uygulamada kullanılmadıklarını gösteren çok sayıda çalışma bulunmaktadır. (Bkz. Tunç, Kılıç, Tarım ve Ekşioğlu 2010, Graves ve Willems 2008, Silver, Pyke ve Peterson 1998)

2.5 DİĞER TANIMLAR

Yukarıda stok çeşitleri, envanter modelleri, maliyetler ve talep yapıları açıklanmıştır. Envanter sisteminde önceki başlıklar altına girmeyen bazı kavramlar burada anlatılacaktır.

2.5.1 Tedarik Süresi

Üretim/sipariş kararının verilmesi ile üretilen/sipariş edilen parçaların talebi karşılamaya hazır hale gelmesine kadar geçen süreye verilen addır. Satın alma durumunda, ürünlerin satış ve nakliyat işlerinin tümü, üretim miktarında ise kurulumdan ürünün dağıtım ağlarına ulaşmasına kadar geçen süre tedarik süresi olarak adlandırılmaktadır.

Envanter modellerinde tedarik süresi kesin veya olasılıksal olabileceği gibi tamamen belirsiz de olabilir.

2.5.2 Servis Düzeyi

Envanter modellerinde, talebi karşılayamama durumunda karşılaşılan ceza maliyeti modele kısıt olarak konulmaktadır. Diğer bir yaklaşım ise planlama ufğunun herhangi bir noktasında talebi karşılayabilme yüzdesini ifade eden servis düzeyi olarak adlandırılan olasılığın modele konulmasıdır. Bu tez çalışmasında, uygulaması yapılan modeller *servis düzeyi kısıtı* kullanılarak oluşturulmuştur.

2.5.3 Planlama Ufku

Envanter planlarının oluşturulması için talep bilgisi gibi geleceğe yönelik verilerin kullanılması gerekmektedir. İstatistiksel tahminleme yöntemleri bu bilgileri belirlemede kullanılan yöntemlerdir. Tahminleme sürecinde uzak gelecek için tahmin hataları fazlalaşacağı için firmalar planlama ufku olarak adlandırılan süre için planlama yapacaklardır. Planlama yapılan ortama göre planlama ufku sonlu veya sonsuz olabilmektedir.

Uygulamada sıkça karşılaşılan ve bu tez çalışmasında karşılaştırılan iki çalışmanın birinin temelini oluşturan *hareketli planlama ufku* yaklaşımında, firmalar planlarını sadece planlama ufku başında yapmak yerine her dönem başında yaparak envanter planlarını güncellemektedirler. Bu yaklaşıma ait modelleme ve açıklama Bölüm 4’de yer almaktadır.

3. ENVANTER POLİTİKALARI

Bu bölümde stokastik talep durumunda envanter yönetiminde kullanılan geleneksel politikalar ile stok yönetiminin temelini oluşturan envanter modelleri anlatılacaktır. Bunun yanında çalışmanın konusu olan envanter modelleri ve ilgili literatür ayrıntılı olarak incelenecektir.

3.1 GELENEKSEL ENVANTER POLİTİKALARI

Envanter politikaları firmaların planlama ufku boyunca her dönemde ellerindeki envanter sistemi ile ilgili bilgilere dayanarak tedarik miktarının belirlenmesidir (Scarf, Gilford ve Shelley, 1963). Envanter politikaları kuralları farklı olduğundan, aynı durumda kullanılacak farklı envanter politikaları farklı sayısal sonuçlar doğuracaktır.

Bölüm 2.2’de belirtildiği gibi envanter politikaları iki soruya cevap aramaktadır. Bunlar, ne zaman ve ne miktarda tedarik yapılacağıdır.

“Ne zaman” sorusuna iki farklı cevap verilebilir. Bunlar:

- a. Önceden belirlenmiş aralıklarla (R , sipariş periyodu) sipariş verilmesi,
- b. Envanter düzeyi belli bir miktarın (s , yeniden sipariş miktarı) altına düşüldüğünde sipariş verilmesidir

“Ne kadar” sorusunun cevabı da ikiye ayrılmaktadır. Bunlar:

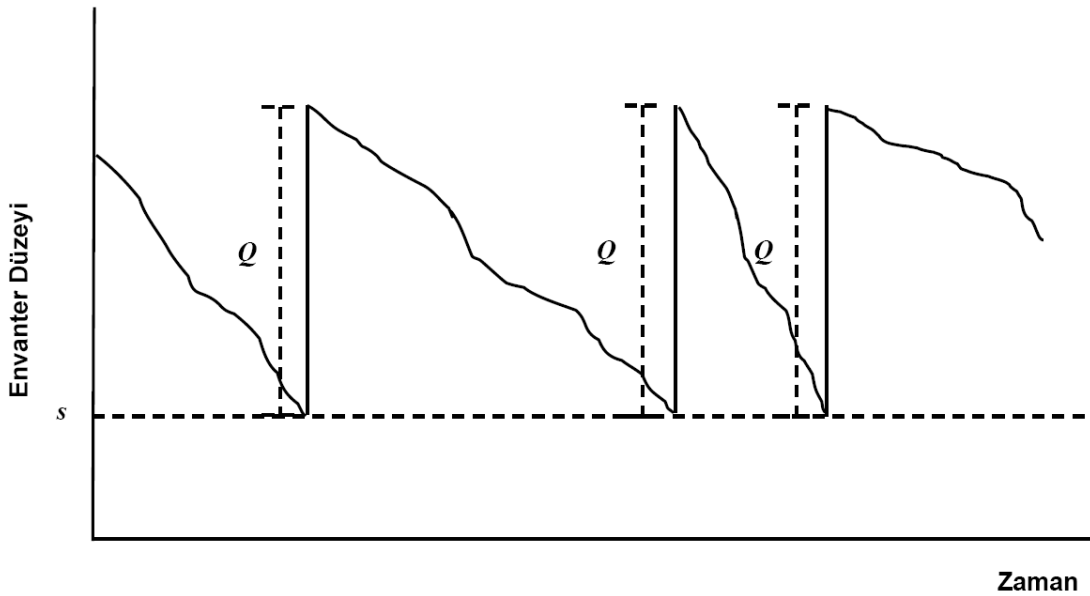
- a. Önceden belirlenmiş sabit bir değer (Q , sipariş miktarı) kadar sipariş verilmesi,

- b. Envanter miktarını belli bir düzeye (S , sipariş yükseltme düzeyi) çıkaracak kadar sipariş verilmesidir.

Silver, Pyke ve Peterson (1998) bu sınıflamalar doğrultusunda geleneksel envanter politikalarını (s,Q) , (s,S) , (R,S) ve (R,s,S) olarak 4 başlıkta incelemiştir.

3.1.1 (s,Q) Envanter Politikası

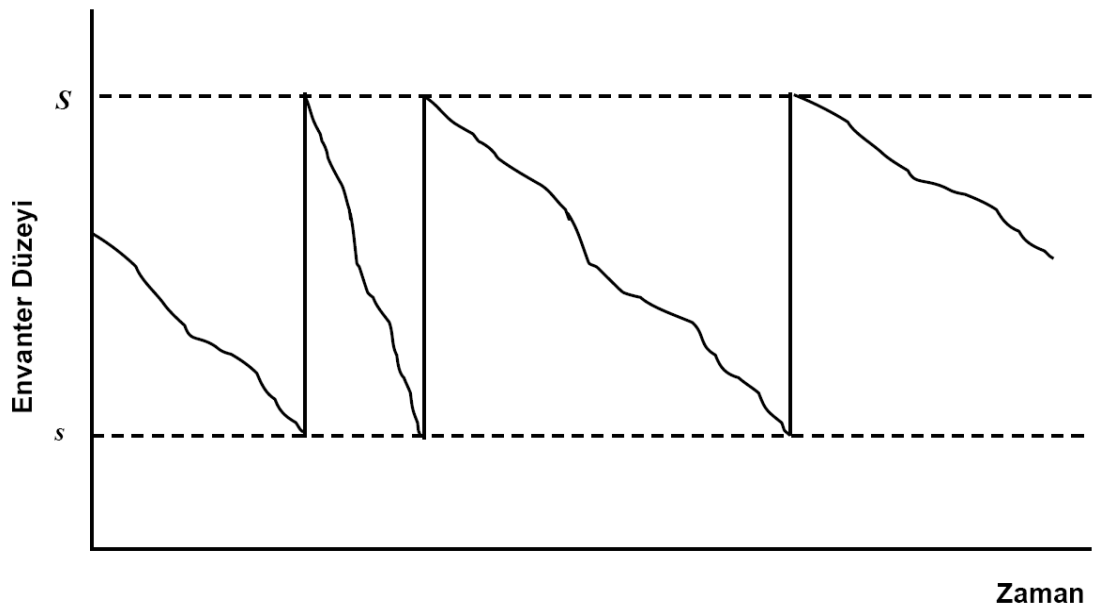
(s,Q) politikasında envanter düzeyi yeniden sipariş miktarı (s)'e düştüğünde sabit sipariş miktarı (Q) kadar sipariş verilir. Uygulaması kolay bu politika düşük hata düzeyi sağlamaktadır. Bu politikanın verimli bir şekilde uygulanabilmesi için çok iyi bir envanter takip sisteminin bulunması gerekmektedir. Çünkü bu politikanın uygulanabilirliği için envanterin (s) seviyesine inip inmediği dikkatlice incelenmelidir. (s,Q) politikasının durağan talep durumu için örnek bir uygulaması aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 1: (s,Q) Politikası

3.1.2 (s,S) Envanter Politikası

(s,S) envanter politikasının (s,Q) envanter politikasına bazı benzerlikleri olduğu söylenebilir. Her iki politikada da ne zaman sipariş verileceği yeniden sipariş düzeyi (s) ile belirlenir. Bu politikalar arasındaki farklılık ne kadar sipariş verileceği konusundadır. (s,Q) politikasında sabit sipariş miktarı (Q)'nun yerini (s,S) politikasındaki sipariş yükseltme düzeyi (S) almaktadır. Yani bu politikanın farkı envanter düzeyini (S) seviyesine kadar çıkartma yolunu seçmiş olmasıdır. Durağan talep durumunda (s,S) politikasının (s) ve (S) parametreleri her dönem için aynı değeri alacaktır. Politikanın durağan talep için bir uygulaması aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



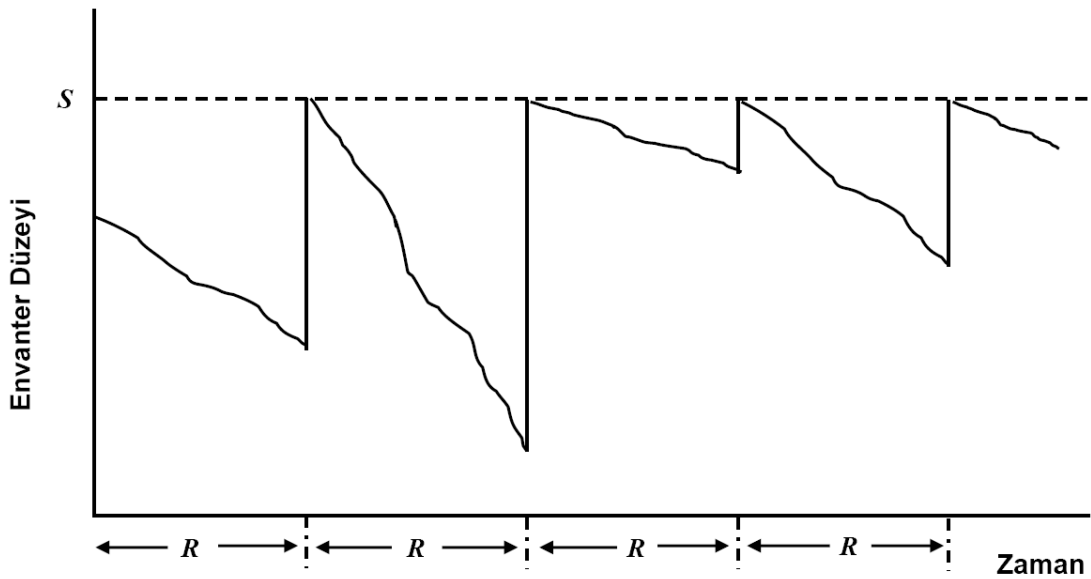
Şekil 2: (s,S) Politikası

Talebin birim zamanda birim büyüklüğünde geldiği varsayımında, (s,S) politikasının (S) sipariş yükseltme düzeyi $S = s + Q$ özelliğine sahip olacak ve (s, Q) politikası ile aynı sonuçlar bulunacaktır. Eğer birim zamanda birim talep varsayımı kaldırılırsa, yeniden sipariş noktası tam olarak (s) düzeyinde olamayabileceğinden aynı sonuçları verme ihtimali oldukça düşecektir. (s,S) politikasında hesaplanan (S) değeri sistemdeki geri kalan planlama ufku için optimal envanter düzeyidir. Dolayısıyla, maliyet açısından

(s,S) politikası (s,Q) politikasından her zaman daha iyi sonuç verecektir. (s,S) envanter politikasında sipariş miktarı ve zamanı belirsiz olduğundan, uygulama açısından zor bir sistemdir. Ayrıca (s,Q) politikasındaki gibi bu politikada da etkin bir şekilde uygulanabilirlik için iyi bir envanter takip sistemine ihtiyaç duyulmaktadır.

3.1.3 (R,S) Envanter Politikası

(R,S) politikası anlatılan ne zaman sipariş verilmeli sorusuna aradığı cevap yönüyle (s,Q) ve (s,S) politikalarından daha farklıdır. Bu politika en uygun yeniden sipariş periyodunu yani (R) periyodunu bulmaya çalışır. (S) değeri önceki politikalarda ifade edilen kavramın aynısıdır. Dolayısıyla (R,S) politikasına göre envanter düzeyi (R) periyotta bir (S) seviyesine çıkarılır. Bu politikada kontrol sadece tedarik zamanlarında yapılacaktır. Durağan talep durumunda (R,S) politikası aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



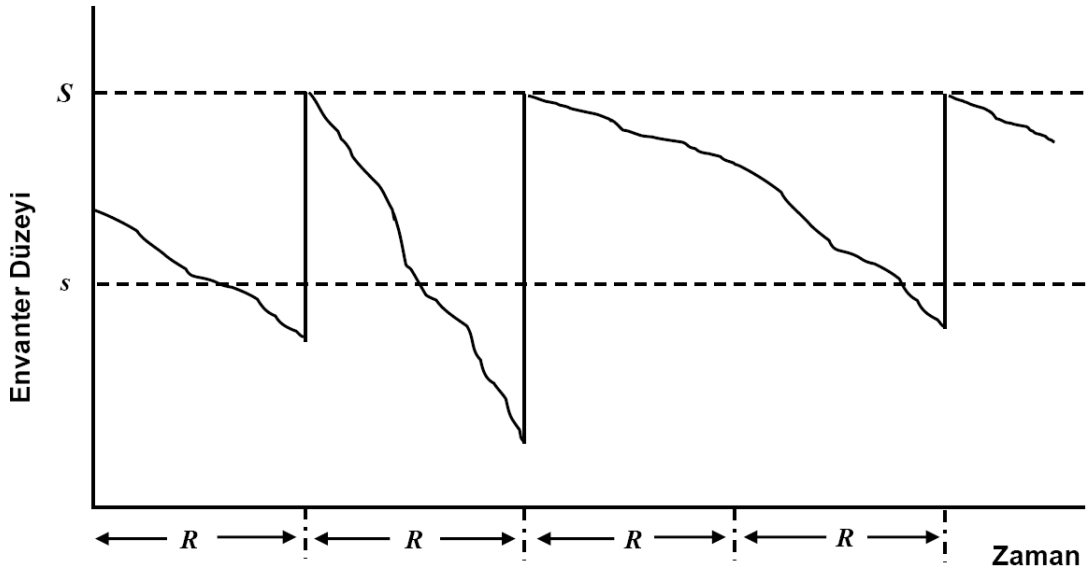
Şekil 3: (R,S) Politikası

(R,S) politikası siparişlerin önceden belirlenmiş aralıklarla yapılması nedeni ile (s,S) ve (s,Q) gibi yeniden sipariş düzeyinin kullanıldığı politikalara göre daha kararlı bir envanter planıdır. Bunun sonucu olarak ilişkili malların koordineli siparişine yardımcı

olarak sistem üzerindeki baskıyı azaltır. Bu politikanın kullanımında karşılaşılabilecek en büyük problem ise, güvence stoğuna daha fazla ihtiyaç duyması nedeniyle envanter maliyetlerinin daha fazla olmasıdır.

3.1.4 (R,s,S) Envanter Politikası

(R,s,S) politikası (R,S) ve (s,S) politikalarının bir birleşimi olarak ifade edilebilir. Bu politikada envanter kontrolü (R,S) politikasındaki gibi (R) periyotta bir yapılıdır. Bu kontroller sırasında envanter düzeyi (s) düzeyinin üstünde olduğu görülürse sipariş verilmez, ama (s) düzeyinin altında olduğu tespit edilirse envanter düzeyi (S) seviyesine çıkartılacak kadar sipariş verilir. (R,s,S) politikasının (s,S) politikasından farkı ve envanter kontrol maliyetinin yüksek olduğu durumlarda daha tercih edilir olmasının sebebi envanter kontrolünün sürekli değil sadece (R) periyotta bir yapılmasıdır. Durağan talep durumunda (R,s,S) politikasının bir örneği aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.



Şekil 4: (R,s,S) Politikası

3.2 İLGİLİ LİTERATÜR

Envanter problemleri çok daha eskilerde baş edilmesi gerekli bir belirsizlik olarak düşünülse de, bu konu üzerine analitik çalışmalar 20. yüzyılda yapılmaya başlamıştır. Envanter problemlerinin matematiksel metotlarla çözülmeye başlanması üretim sektörünün ve mühendislik bilimlerinin gelişmesi ile aynı zamana denk gelmektedir (Hadley ve Within, 1963). Kurulum ücretinin fazla olduğu, yani yığın üretim yapılan ve envanterin fazla olduğu sektörlerde bu analize daha fazla ihtiyaç duyulmuştur.

Envanter problemini oluşturan “ne zaman” ve “ne kadar” sorularına cevap arayan ilk çalışma 1915 yılında Harris tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada ortaya konan basit ekonomik sipariş miktarı formülü literatürde önemli bir yer edinmiştir. Bu formül üzerinden birçok çalışma ve araştırma yapılmış ve bu formül literatürde Wilson formülü olarak adlandırılmıştır.

En temel envanter modeli olan ekonomik sipariş miktarı modeli deterministik ve statik talep durumunda optimal sipariş veya üretim miktarını belirlemektedir (Harris, 1915). Bu modelin varsayımlarını incelemek envanter modellerinin temelini anlaşılması için yerinde olacaktır. Temel modele göre varsayımlar aşağıda sıralanmıştır:

- a. Üretim/siparişte kapasite sınırı yoktur.
- b. Tedarik süresi kesin olarak bilinmektedir.
- c. Talep deterministik ve statiktir.
- d. Kurulum/sipariş maliyetleri ve birim elde tutma maliyetleri sabittir.

Bu varsayımlar modelin çeşitli versiyonlarında ve literatürde modeli temel alan çalışmalarda farklılık gösterebilmektedir.

Envanter problemleriyle ilgili yazılmış ilk kitap Raymond'un (1931) ekonomik sipariş miktarı formülü ve farklı uygulamalarının pratikte nasıl kullanılacağını tartıştığı kitabıdır.

Çalışmalar deterministik olarak devam etmekte iken, II. Dünya savaşından sonra yönetim bilimlerinin ve yöneylem araştırmalarının gelişmesiyle stokastik envanter problemleri de incelenmeye başlamıştır. İlk defa detaylı stokastik envanter modellerini inceleyen çalışma Whitin'in (1953) kitabıdır.

Dinamik programlama, ana problemi oluşturan alt-problemlerin optimal yapılarından faydalanarak, kullanılan algoritmaların çözüm sürelerini azaltan bir metottur (Kılıç, 2006). Dinamik programlama konusunda ilk çalışma Bellman (1957) tarafından yapılmıştır. Bu konuda önemli gelişmeler sağlanmış ve Wagner ve Whitin (1958) çok dönemli dinamik envanter modelinin optimal çözümüne dinamik programlamayı kullanarak ulaşmıştır. Bu model günümüzde bile çok bilinip kullanılmakta ve Wagner-Whitin dinamik öbek büyüklüğü (lot-sizing) modeli olarak adlandırılmaktadır. Bu tez çalışmasında da Wagner-Whitin algoritması kullanılmıştır. Bu modelin varsayımları aşağıdaki gibidir (Whitin, 1953):

- a. Planlama ufku sonlu sayıda dönemlerden oluşur ve talep her dönem için deterministik olarak bilinir.
- b. Başlangıç envanter düzeyi sıfırdır.
- c. Tedarik edilen ürünler dönem başında gelmektedir.
- d. Kurulum/sipariş maliyetleri ve birim elde tutma maliyetleri miktardan ve zamandan bağımsızdır.
- e. Tedarik süresi kesin olarak bilinmektedir.

f. Üretim/siparişte kapasite sınırı yoktur.

Ekonomik sipariş miktarı modelinde olduğu gibi bu modelin de farklı varsayımlar altında uygulaması literatürde yer almaktadır.

Envanter problemlerinin ekonomi alanındaki öneminin artması ile bu problemlerin çözümüne olan ilgi de artmıştır. Literatürde Stanford çalışmaları olarak anılan ve şu an bile envanter yönetiminin literatürdeki temel referans kaynağı olan bir dizi makale ve kitap yayınlanmıştır. Bu çalışmaların ilki ekonomist Arrow, Harris ve Marschak (1951) tarafından yapılan ve envanter modelleri üzerine ilk ciddi matematiksel analizler içeren yayındır. Bu çalışmada sürekli takip varsayımı altında çok dönemli statik sistemler ve tek dönemli stokastik sistemler için optimal envanter modelleri oluşturulmuştur. Yine aynı çalışmada çok dönemli stokastik modeller de incelenmiş, sabit kurulum ile birim maliyeti varsayımları altında optimal politikanın (s,S) politikası olabileceği vurgulanmıştır. Dvoretzky, Kiefer ve Wolfowitz (1953) de çalışmalarında (s,S) politikasının optimal olabileceğini belirtmişlerdir.

Aynı dönemde Stanford çalışmalarından biri olarak anılan stokastik envanter sistemleri üzerine bir çalışma niteliğindeki kitap Arrow, Karlin ve Scarf (1958) tarafından hazırlanıp yayınlanmıştır. Bu çalışmada birçok politika için matematiksel model kurulup optimal sonuç hesaplanırsa da optimal model kesin olarak belirtilememiştir. Yine bu kitap içerisinde Karlin ve Scarf (1958) matematiksel envanter modellerine tedarik süresi, gecikmeli teslim ve kayıp satış varsayımlarını ekledikleri bir çalışmaya yer vermiş gecikmeli teslim ve kayıp satış durumunda optimal modelin değişebileceği vurgulanmıştır.

Scarf (1959) k-konveks tanımıyla elde tutma ve ceza maliyetlerinin doğrusal olması durumunda ve sonlu planlama ufkuна sahip stokastik envanter problemleri için optimal politikanın (s,S) olduğunu ispatlamıştır. Bu modelin varsayımları aşağıda verilmiştir (Scarf, 1959):

- a. Planlama ufku belirli sayıda dönemlerden oluşur ve talep her dönem için olasılıksal olarak bilinir.
- b. Tedarik edilen ürünler dönem başlarında gelmektedir ve tedarik süresi yoktur.
- c. Kayıp satış durumu yoktur.
- d. Elde tutma, ceza ve birim maliyeti fonksiyonları doğrusaldır.
- e. Kurulum/sipariş maliyeti sabittir.
- f. Üretim/siparişte kapasite sınırı yoktur.

Iglehart (1963) çalışmasıyla aynı varsayımlara ve sonsuz planlama ufkuna sahip problem için de (s,S) politikasının optimal olduğunu kanıtlamıştır.

Değınilen çalışmalarda stokastik envanter modelleri dinamik programlama ile çözülmüş ve (s,S) modeli optimum olarak bulunmuştur. Silver (1978) ve Askin'in (1981) çalışmaları stokastik talep yapısında (R,S) politikasının kullanıldığı ilk çalışmalardır. Bu çalışmalarda benzer sezgisel yöntemlerle ve farklı amaç fonksiyonları ile optimal sonuca ulaşılmaya çalışılmıştır.

Bookbinder ve Tan (1988) servis düzeyi kısıtını da modele koyarak sezgisel yaklaşımla problemi çözmeye çalışmıştır. Bookbinder ve Tan (1988), bu çalışmada problemin çözümüne yönelik üç farklı yaklaşım geliştirmişlerdir. Bunlar sırası ile statik belirsizlik stratejisi, dinamik belirsizlik stratejisi ve statik-dinamik belirsizlik stratejisidir. Statik-dinamik belirsizlik stratejisinde önce tedarik dönemleri planlamanın başında kararlaştırılıp, gerçekleşen talebe göre tedarik miktarlarına karar verilmektedir. Dolayısıyla karar aşamasında zaman ve miktar kararlarının birbirine bağımlılığı göz ardı edilmekte ve model optimal olmamaktadır. Bu stratejiler bir sonraki bölümde ayrıntılıca ele alınacağı için bu bölümde daha fazla ayrıntı verilmeyecektir. Hua, Yang, Huang ve

Xu (2009) yedek parça envanter kontrolü modeline statik-dinamik kontrol stratejisi ile yaklaşmışlardır. Servis düzeyi kısıtı üzerine yapılan detaylı bir çalışma da Chen ve Krass (2001) tarafından yapılmıştır. Van Houtum ve Zijm (2000) ve Rosling (1999) farklı servis kısıtları üzerine yorum yapmışlardır.

Bu tez çalışmasının temelini oluşturan çalışmalardan biri olan Tarım ve Kingsman (2004), Bookbinder ve Tan (1988) tarafından geliştirilen servis düzeyi kısıtlı (R,S) modelini karışık tamsayı programlama olarak tekrar modelleyerek optimal çözüme ulaştırmıştır. Tarım ve Smith (2008) servis düzeyi kısıtını kullanan problemi kısıt programlaması modeli ile ele alan başka bir çalışma ortaya koymuşlardır. Rossi, Tarım, Hnich ve Prestwich (2008) yine servis düzeyi kısıtını kullanan probleme stokastik kısıt programlaması yaklaşımı ile yeni bir çözüm algoritması geliştirmişlerdir. Tarım ve Kingsman, 2006 yılındaki çalışmalarında ise Scarf'ın (1959) varsayımlarını kullanarak stokastik (R,S) modelini 2004 yılında yaptıkları çalışmalarına benzer bir karışık tamsayı programlama ile optimal olarak sonuçlandırmışlardır. Tarım-Kingsman (2004) ve Tarım-Kingsman (2006) çalışmalarının temel farkı ikinci çalışmada servis düzeyi kısıtı yerine ceza maliyeti parametresinin kullanılmasıdır.

Bu çalışmada statik belirsizlik yaklaşımı için hareketli planlama ufku analizi uygulanacağı için bu analize ait literatüre bakmak da yerinde olacaktır. Baker (1977) daha fazla dönem için yapılan tahminlemenin hem daha masraflı hem de daha kalitesiz olduğunu düşündüğü için hareketli planlama ufku yaklaşımını uygulamıştır. Wemmerlov ve Whybark (1984) bu yöntemi 14 farklı envanter modelinin olasılıksal talep yapısı altında maliyet performanslarını değerlendirmek için kullanmışlardır. Bu çalışmanın önemi ilk kez olasılıksal talep durumunda hareketli planlama ufkunun kullanılmış olmasıdır.

Ayrıca Bookbinder ve H'ng (1986) ve H'ng (1984) çeşitli öbek büyüklüğü (lot-sizing) algoritmalarını talep bilgisi deterministik iken hareketli planlama ufku ile test etmişlerdir. Bookbinder ve H'ng (1986) diğer iki çalışmada kullanılan öbek büyüklüğü (lot-sizing) algoritmalarını stokastik talep bilgisi altında Bookbinder ve Tan'ın (1988) geliştirdiği statik belirsizlik stratejisi içinde ve Silver'ın (1978) geliştirdiği üretim planlama stratejisi içinde kullanarak hareketli planlama ufkunda karşılaştırmışlardır.

Sonuç olarak statik belirsizlik stratejisinin Silver'ın (1978) stratejisine göre daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymuşlardır. Bu çalışmalarda hareketli planlama ufku kullanılırken talep tahminleme yöntemleri de modelin içine sokulmuş ve hareketli planlama ufku boyunca talep bilgileri güncellenmiştir. Bu çalışmalar ileriki bölümlerde daha ayrıntılı anlatılacağı için bu bölümde daha fazla ayrıntı verilmeyecektir.

4. BOOKBINDER-TAN VE TARIM-KINGSMAN MODELLERİ

Tarım ve Kingsman (2004) ve (2006) çalışmalarında durağan olmayan, stokastik (R,S) modelini karışık tamsayı programlama formülasyonu ile optimal olarak çözmüşlerdir. (2006) yılındaki çalışmada karşılanamayan talep için ceza maliyeti, (2004) yılındaki çalışmada ise minimum servis düzeyi kısıtı kullanılmıştır.

Servis düzeyi kısıtı, her dönem sonunda envanterin negatif olmama ihtimalini gösteren olasılık olarak tanımlanabilir. N periyotluk planlama ufku için servis düzeyi kısıtı kullanarak toplam beklenen maliyeti minimize etmeyi amaçlayan bir modelin genel formülasyonu aşağıda verilmektedir (Tarım ve Kingsman, 2004):

$$\begin{aligned} \min \quad E\{TC\} = & \int_{d_1} \cdots \int_{d_N} \sum_{t=1}^N (a\delta_t + hI_t + vX_t) \\ & \times g_1(d_1)g_2(d_2)\dots g_N(d_N) d(d_1)d(d_2)\dots d(d_N) \end{aligned} \quad (1a)$$

$$\text{s.t.} \quad \delta_t = \begin{cases} 1 & \text{if } X_t > 0, \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases} \quad t = 1, \dots, N \quad (1b)$$

$$I_t = I_0 \sum_{i=1}^t (X_i - d_i), \quad t = 1, \dots, N \quad (1c)$$

$$\Pr\{I_t \geq 0\} \geq \alpha, \quad t = 1, \dots, N \quad (1d)$$

Modelde kullanılan değişkenler;

N planlama ufku dahilindeki dönem sayısı,

X_t t döneminde yapılan üretim/sipariş miktarı ($0 \leq X_t$),

δ_t sipariş verildiğinde 1 aksi halde 0 değeri alan ikili değişken,

I_t dönem sonu envanter düzeyi,

I_0 birinci dönem başındaki envanter düzeyi,

d_t t dönemindeki talep (olasılık yoğunluk fonksiyonu $g_t(d_t)$ olan rassal değişken),

a sabit kurulum/sipariş maliyeti,

v birim maliyeti,

h elde tutma maliyeti,

α envanter miktarının negatif olmama olasılığı olarak tanımlanmaktadır.

Modelde talebin her dönemde bağımsız olduğu varsayılmaktadır. Sabit kurulum/sipariş maliyeti üretimin veya siparişin miktarı ne olursa olsun, her kurulum ya da siparişte karşılanması gereken bir maliyet olarak ortaya çıkmaktadır. Satın alma maliyeti ise birim fiyat ile üretim/sipariş miktarlarının çarpılması ile bulunacaktır. Buna ek olarak, üretilen veya sipariş edilen ürünlerin talep oluşmadan dönem başında elde edildiği varsayılmaktadır. Elde tutma maliyeti, sadece envanter bir dönemden diğerine aktarıldığında bir değer almaktadır. Analizin kolaylığı için elde tutma maliyeti dönem

sonunda elde kalan envantere göre hesaplanmaktadır. Yok satma maliyetinin model içine sokulmaması için envanter miktarının negatif değere düşmeme olasılığının nispeten yüksek tutulması faydalı olacaktır.

Tarım ve Kingsman'ın (2004) makalesinin temelini oluşturan çalışmalardan biri Bookbinder ve Tan (1988) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada statik belirsizlik, dinamik belirsizlik ve statik-dinamik belirsizlik olmak üzere üç strateji incelenmiştir. Bu üç strateji de temelde servis düzeyi kısıtını kullanarak yukarıda tanımlanan modeli çözmeye yönelik yaklaşımlardır.

Statik belirsizlik yaklaşımının temeli tüm karar değişkenlerinin değerlerinin planlama ufkunun başında belirlenmesine dayanmaktadır. Ne zaman ve ne kadar sipariş edileceği veya üretim yapılacağına talep değişkeni bilinmeden karar verilmektedir. Peters (1977), üretim başlamadan önce ciddi hazırlık gerektiren durumlarda, bu yöntemin düzenleme avantajı sağladığını savunmuştur. Statik belirsizlik stratejisi ile kurulan modelin gösterimi aşağıdaki gibidir:

$$\min \quad E\{TC\} = \sum_{t=1}^N (a\delta_t + hE\{I_t\} + vX_t) \quad (2a)$$

$$\text{s.t.} \quad \delta_t = \begin{cases} 1 & \text{if } X_t > 0, \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases} \quad t = 1, \dots, N \quad (2b)$$

$$E\{I_t\} = I_0 + \sum_{i=1}^t X_i - \sum_{i=1}^t E\{d_i\}, \quad t = 1, \dots, N \quad (2c)$$

$$\sum_{i=1}^t X_i \geq G_D^{-1}(\alpha) - I_0, \quad t = 1, \dots, N \quad (2d)$$

$$X_t, E\{I_t\} \geq 0, \quad t = 1, \dots, N \quad (2e)$$

Bu modelde toplam satın alma maliyeti (total direct cost), $\sum_{t=1}^N vX_t$, sabit bir değer gibi modele sokulmuş ve optimal sonucun belirlenmesinde etkisiz hale gelmiştir. Bookbinder ve Tan (1988) (1d) denklemi yerine (2d) denklemini servis düzeyi kısıtı olarak modeli sokmuştur. Burada $G_{D(t)} = G_{d_1+d_2+\dots+d_t}(\cdot)$, toplam talebin kümülatif olasılıksal dağılım fonksiyonudur. Bu fonksiyonun tersinin modele sokulması ile istenen talep karşılama olasılığına ulaşmak için gerekli envanter miktarı göz önüne alınmış olacaktır. Bookbinder ve Tan bu modelde statik belirsizlik stratejisi ile deterministik model arasındaki bağlantıyı ortaya koymuş ve bu benzerliği kullanarak stokastik problemi deterministik bir probleme dönüştürmüştür. Problemi deterministik probleme dönüştürdükten sonra üretim/sipariş miktarlarını herhangi bir deterministik algoritma ile bulmak son derece kolay bir hale gelmektedir.

Bu çalışmada deterministik problem için optimal sonucu veren Wagner-Whitin algoritması kullanılmıştır. Bunu yaparken de $G_{D(t)}$ fonksiyonunu kullanmış ve bütün talep değerlerini de eşdeğer deterministik talep dediği talep değerlerine dönüştürmüştür. Aşağıda sırası ile $G_{D(t)}$ fonksiyonunun ve eşdeğer deterministik talep değerlerinin nasıl hesaplanacağı verilmiştir.

$G_{D(t)}^{-1}(\alpha)$ değerinin tahmin hesaplanması

Eğer $\{d_i\}$ değerlerinden her biri normal dağılıyor ve aralarında ilişki bulunmuyor ise $D_t = \sum_{i=1}^t d_i$ değeri de normal dağılmış olacaktır. $E[d_i]$ ve S_{d_i} , d_i 'nin ortalaması ve standart sapması olarak gösterilmektedir. Silver (1978), C 'nin değişkenlik katsayılarının hepsinin sabit olduğunu varsaymıştır. Bu tanımlar doğrultusunda aşağıdaki eşitlikler yazılabilmektedir.

$$S_{d_i} = C \times E[d_i] \quad (3a)$$

$$S_{D(t)} = C \times \left(\sum_{i=1}^t E^2[d_i] \right)^{1/2} \quad (3b)$$

İstenen servis düzeyi, α , için standardize edilmiş normal dağılım değeri (Z) tablodan okunarak $G_{D(t)}^{-1}$ değeri aşağıdaki denklemler doğrultusunda hesaplanmaktadır.

$$G_{D(t)}^{-1}(\alpha) = \sum_{i=1}^t E[d_i] + ZS_{D(t)} \quad (3c)$$

$$= \sum_{i=1}^t E[d_i] + ZC \times \left(\sum_{i=1}^t E^2[d_i] \right)^{1/2} \quad (3d)$$

Eşdeğer deterministik talep değerlerinin hesaplanması

1. $d'_i = G_{D(t)}^{-1}(\alpha) - G_{D(t-1)}^{-1}(\alpha)$, $t = 1, 2, \dots, T$. ($G_{D(0)}^{-1}(\alpha) = 0$)

2. Deterministik problemde d'_i değeri d_i değerine eş değer olarak kullanılır.

Diğer bir yaklaşım, her dönem üretim ya da sipariş miktarına ve zamanına karar verilmesini gerektiren dinamik belirsizlik yaklaşımıdır. Bu yaklaşım, pratikte çok uygulanması önerilmese de üretim ya da sipariş miktarının esnek olmasının gerektiği durumlarda gerekli bir yöntem olabilmektedir (Tan, 1983). Yine bu yaklaşım, sabit kurulum/sipariş maliyetini önemsemeyip neredeyse her dönem sipariş veya üretim yapılmasını göze almaktadır. O nedenle, elde tutma maliyetin çok üstünde kurulum/sipariş maliyeti olan modeller için kullanılmaması gerekli bir yaklaşımdır.

Daha çok tam zamanlı üretim uygulamalarında işlerlik kazanmaktadır (Bookbinder ve Tan, 1988).

Bookbinder ve Tan (1988) bahsedilen diğer iki yaklaşımı birleştirmeleri ile statik-dinamik belirsizlik yaklaşımını oluşturmuşlardır. Bu yaklaşımda öncelikle sipariş/üretim zamanları statik belirsizlik yaklaşımı ile belirlenmekte, sipariş/üretim miktarları için ise dinamik belirsizlik yaklaşımı kullanılmaktadır. Kısaca, sipariş/üretim dönemleri statik belirsizlik stratejisi ile planlama ufku başında belirlenmekte, planlama ufku boyunca talepler realize oldukça dinamik belirsizlik stratejisi ile sipariş/üretim miktarları belirlenmektedir. Bookbinder ve Tan (1988) tarafından oluşturulan bu yaklaşım aşağıda açıkça ifade edilmiştir:

$$I_t = I_0 + \sum_{j=1}^i X_{T_j} - \sum_{k=1}^t d_k, \quad T_i \leq t < T_{i+1}, \quad i = 1, \dots, m \quad (4a)$$

Bu denklemde T_i planlama ufkunun başında karar verilen sipariş/üretim zamanlarını ifade etmektedir. Bookbinder ve Tan (1988) karar değişkenleri X_{T_i} değişkenini, T_{i-1} döneminden T_i dönemine kadar beklenen güvence stoğundaki değişimi ifade eden Y_{T_i} değişkenine (4b) denklemindeki gibi dönüştürmüştür. Bu dönüşüm sonunda (4c) denkleminde de gösterildiği gibi doğrusal programlama ile değeri bulunabilen deterministik karar değişkeni, Y_{T_i} , doğrultusunda ve talebin oluşması ile X_{T_i} değişkeni bulunabilecektir. (4a) denklemi dönüşüm sonrasında (4d) denklemi şeklinde yazılabilmektedir. Modelin servis düzey kısıtı statik model ile aynı olup (4e) denkleminde gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} X_{T_1} &= Y_{T_1}, \\ X_{T_2} &= Y_{T_2} + d_{T_1} + \dots + d_{T_2-1}, \\ &\vdots \\ X_{T_m} &= Y_{T_m} + d_{T_{m-1}} + \dots + d_{T_m-1}. \end{aligned} \quad (4b)$$

$$\sum_{j=1}^i X_{T_j} = \sum_{j=1}^i Y_{T_j} + \sum_{k=1}^{T_i-1} d_k, \quad i = 1, \dots, m \quad (4c)$$

$$I_t = I_0 + \sum_{j=1}^i Y_{T_j} - \sum_{k=T_i}^t d_k, \quad T_i \leq t < T_{i+1}, \quad i = 1, \dots, m \quad (4d)$$

$$\sum_{i=1}^j X_{t_i} \geq G_{d_{t_j}+d_{t_{j+1}}+d_{t_{j+2}}+\dots+d_{t_{j+1}-1}}^{-1}(\alpha) - I_0, \quad j = 1, \dots, m \quad (4e)$$

Bookbinder ve Tan'ın statik belirsizlik yaklaşımında olduğu gibi bu yaklaşımda da toplam birim değişken maliyetin sabit bir değer almasından dolayı karar sürecine etkisi bulunmamaktadır.

Tarım ve Kingman (2004), Bookbinder ve Tan'ın statik-dinamik modelinde ne zaman ve ne kadar üretilmeli veya sipariş edilmeli kararlarını iki farklı kararmış gibi modellemeleri ve ikisi arasındaki ilişkiyi dikkate almamalarının optimal sonuca ulaşmamaları için en büyük neden olduğunu belirtmiştir. Bu nedenle kendi çalışmalarında bu iki kararı aynı anda veren tek basamaklı bir model oluşturmuşlardır. Bu modelde (4d) denklemi (5a)şeklinde yazılmıştır.

$$I_t = R_{T_i} - \sum_{k=T_i}^t d_k, \quad T_i \leq t < T_{i+1}, \quad i = 1, \dots, m \quad (5a)$$

Burada R_{T_i} , i 'nci kontrol dönemi olan T_i döneminde envanterin ulaşması gereken düzey olarak yorumlanabilir. $R_{T_i} - \sum_{k=T_i}^t d_k$, dönem sonundaki envanteri ifade eder. Bookbinder ve Tan'ın karar değişkeni Y_{T_i} yerine bu modelde karar değişkeni R_t ile model açıklanmıştır. Modeldeki $i = 1, \dots, m$ ifadesi m adet kontrol olduğunu ifade etmektedir.

Eğer t zamanında sipariş verilmemiş veya üretim yapılmamış ise R_t bu periyodun başındaki envantere eşit olacaktır. Bir başka deyişle, t zamanında sipariş verilmemiş veya üretim yapılmamış ise R_t , I_{t-1} değerine eşit olmalıdır. (1b) denkleminde gösterildiği gibi bu durumda $\delta_t = 0$ olacaktır. Anlatılanlar doğrultusunda (5a) denklemi (5b) şeklinde sadeleştirilebilir ve M değerinin çok büyük bir pozitif sayı olduğu varsayımı ile (5c) denklemi yazılabilir.

$$I_t = R_t - d_t, \quad t = 1, \dots, N. \quad (5b)$$

$$\begin{aligned} R_t - I_{t-1} &\leq M\delta_t, \\ R_t &\geq I_{t-1}, \end{aligned} \quad t = 1, \dots, N, \quad (5c)$$

(5c) denklemi doğrultusunda $\delta_t = 1$ durumunda R_t değerinin I_{t-1} ve sonsuz arasında minimum beklenen maliyeti sağlayan herhangi bir değeri alabileceği söylenebilir. (5a) denklemi kullanılarak (1d) denklemi (5d) şeklinde tekrar uyarlanabilir. (5d) denkleminin farklı gösterimleri (5e) ve (5f) denklemleridir.

$$\Pr \left\{ R_{T_i} \geq \sum_{k=T_i}^t d_k \right\} \geq \alpha, \quad t = 1, \dots, N \quad (5d)$$

$$G_{d_{T_i} + d_{T_{i+1}} + \dots + d_T}(R_{T_i}) \geq \alpha, \quad T_i \leq t < T_{i+i}, \quad i = 1, \dots, m \quad (5e)$$

$$I_t \geq G_{d_{T_i} + d_{T_{i+1}} + \dots + d_t}^{-1}(\alpha) - \sum_{k=T_i}^t d_k, \quad T_i \leq t < T_{i+i}, \quad i = 1, \dots, m \quad (5f)$$

(5f) denkleminde yer alan $G_{d_{T_i} + d_{T_{i+1}} + \dots + d_t}^{-1}(\cdot)$ değeri ancak sipariş/üretim zamanı, T_i , belirlendikten sonra hesaplanabilirken, minimum beklenen maliyete ulaşabilmek için

uygun $G_{d_{T_i}+d_{T_i+1}+\dots+d_t}^{-1}(\cdot)$ değeri bulunmadan sipariş/üretim zamanına karar verilememektedir. Çözüm için öncelikle bu kısır döngünün giderilmesi gerekmektedir. Bookbinder ve Tan (1988), bu döngüden kurtulmak için çözümü iki basamağa ayırmış ve optimal çözüme ulaşmayı değil yaklaşmayı hedeflemişlerdir. Bu sorunu optimal çözümden vazgeçmeden gidermenin tek yolu karışık tamsayı doğrusal programlama modeli kullanmaktır.

Problem sınırlı N dönemden oluştuğu için bütün değerler için $G_{d_{T_i}+d_{T_i+1}+\dots+d_t}^{-1}(\cdot)$ hesaplanabilmektedir. P_{ij} , 0 veya 1 değerleri alan tamsayı değişken olarak tanımlanmaktadır. Bu değişken t döneminden önce sipariş verilen ya da üretim yapılan dönem $t-j+1$ ise 1 diğer durumlarda 0 değerini almaktadır. Bu tanım doğrultusunda (5g) denklemi yazılmakta, (5f) denklemi de (5h) şeklinde ifade edilmektedir.

$$G_{d_{T_i}+d_{T_i+1}+\dots+d_t}^{-1}(\alpha) = \sum_{j=1}^t G_{d_{t-j+1}+d_{t-j+2}+\dots+d_t}^{-1}(\alpha)P_{ij}, \quad t = 1, \dots, N \quad (5g)$$

$$I_t \geq \sum_{j=1}^t \left(G_{d_{t-j+1}+d_{t-j+2}+\dots+d_t}^{-1}(\alpha) - \sum_{k=t-j+1}^t d_k \right) P_{ij}, \quad t = 1, \dots, N \quad (5h)$$

Tamsayı değişkeninin $P_{tt}=1$ olması durumunda envanterin kontrolünün planlama ufkunun başında olduğu, bu değer $P_{t1}=1$ olması durumunda ise ilk kontrolün t döneminde yapıldığı söylenir. P_{ij} (5i) ve (5j) denklemlerini sağlamalıdır. Temel olarak bu kısıtlar t döneminden önce verilen siparişin zamanını belirlemek için kullanılır.

$$\sum_{j=1}^t P_{ij} = 1, \quad t = 1, \dots, N \quad (5i)$$

$$P_{ij} \geq \delta_{t-j+1} - \sum_{k=t-j+2}^t \delta_k, \quad t = 1, \dots, N, \quad j = 1, \dots, t \quad (5j)$$

Bütün bu dönüşümler doğrultusunda Tarım ve Kingsman (2004) tarafından statik-dinamik belirsizlik stratejisinin karışık tamsayı modeli aşağıdaki gibi kurulmuştur.

$$\min \quad E\{TC\} = \sum_{t=1}^N (a\delta_t + hE\{I_t\} + vE\{R_t\} - vE\{I_{t-1}\}), \quad (6a)$$

$$\text{s.t.} \quad E\{I_t\} = E\{R_t\} - E\{d_t\}, \quad t = 1, \dots, N \quad (6b)$$

$$E\{R_t\} \geq E\{I_{t-1}\}, \quad t = 1, \dots, N \quad (6c)$$

$$E\{R_t\} - E\{I_{t-1}\} \leq M\delta_t, \quad t = 1, \dots, N \quad (6d)$$

$$E\{I_t\} \geq \sum_{j=1}^t \left(G_{d_{t-j+1}+d_{t-j+2}+\dots+d_t}^{-1}(\alpha) - \sum_{k=t-j+1}^t E\{d_k\} \right) P_{ij}, \quad t = 1, \dots, N \quad (6e)$$

$$\sum_{j=1}^t P_{ij} = 1, \quad t = 1, \dots, N \quad (6f)$$

$$P_{ij} \geq \delta_{t-j+1} - \sum_{k=t-j+2}^t \delta_k, \quad t = 1, \dots, N, \quad j = 1, \dots, t \quad (6g)$$

$$E\{I_t\}, E\{R_t\} \geq 0, \quad \delta_t, P_{ij} \in \{0,1\}, \quad t = 1, \dots, N, \quad j = 1, \dots, t$$

Bu model optimal sipariş/üretim sayısı, planı, zamanlamaları ve miktarlarına aynı basamakta ulaşmayı hedeflemektedir. Burada δ_t ile P_{ij} 0 veya 1 değerini alan tamsayı, $E\{I_t\}$ ile $E\{R_t\}$ negatif olmayan kesiksiz değişkenlerdir. Önceden de belirtildiği gibi Bookbinder ve Tan (1988) modellerinde birim değişken maliyeti göz ardı etmişlerdi. Bu modelde amaç fonksiyonunda $vE\{X_t\}$ terimin yerine $\sum_{t=1}^N (vE\{R_t\} - vE\{I_{t-1}\})$ yazılmış ve bu terim modelde kullanılmış, dolayısıyla birim değişken maliyet modele katılmıştır.

5. SERVİS DÜZEY KISITINA SAHİP (R,S) MODELİ İLE HAREKETLİ PLANLAMA UFKU İLE KULLANILAN STATİK BELİRSİZLİK YAKLAŞIMLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

5.1 PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ

Bu bölümde, tezin ana araştırma sorusu olan, servis düzey kısıtı ile modellendirilmiş durağan olmayan (R,S) politikası uygulaması ile Bookbinder ve Tan tarafından modellenen statik belirsizlik yaklaşımının hareketli planlama ufku ile çözümünün sonuçlarının maliyet açısından performanslarının karşılaştırılması yapılacaktır.

Daha önceki bölümlerde de anlatıldığı gibi klasik planlama ufku yaklaşımı altında durağan olmayan (R,S) politikası temelde statik belirsizlik stratejisinin optimal olarak çözemediği problemin optimal çözümüdür. Fakat hareketli planlama ufku ile kullanılan statik belirsizlik stratejisinin performansını arttıracığı beklenmektedir. Dolayısıyla hareketli planlama ufku boyunca elde edilen yeni bilgilerin statik belirsizlik stratejisini ne oranda optimal çözüme yaklaştıracığı veya daha iyi bir performans verdirteceği ilginç bir araştırma sorusudur.

Bookbinder ve H'ng (1986) benzer bir yaklaşım için hareketli planlama ufkunu kullanmışlardır. Literatür taraması bölümünde de anlatıldığı gibi Bookbinder ve H'ng hareketli planlama ufku altında statik belirsizlik stratejisini çeşitli öbek büyüklüğü (lot-sizing) algoritmaları kullanarak Silver'ın (1978) üretim planlama stratejisi ile karşılaştırmıştır. Bu çalışmada hareketli planlama ufku kullanılırken talep tahminleme yöntemleri de modele dahil edilmiş ve talep bilgileri güncellenerek kullanılmıştır. Talep tahminleme metotlarının da modele dahil edilmesi ile sadece üretim planlama stratejilerinin ve öbek büyüklüğü (lot-sizing) algoritmalarının karşılaştırılması yapılmamış bunun yanında talep tahminleme yöntemlerinin farklı uygulamasından

kaynaklanan etkiler de karşılaştırmaya dahil edilmiştir. Dolayısıyla eğer salt üretim planlama stratejilerinin performansları karşılaştırılmak istenilirse talep tahminleme yöntemlerinin modelden çıkarılması ve karşılaştırmanın talep bilgisi güncellenmeden yapılması gerekecektir. Bu noktadan hareketle, bu tez çalışmasında hareketli planlama ufku kullanılırken talep bilgileri güncellenmeden kullanılacaktır. Dolayısıyla salt üretim planlama stratejilerinin karşılaştırılması sağlanacaktır. Talep bilgisini güncellemek yerine gerçekleşen talep bilgisi kullanılarak envanter seviyesi sürekli olarak kontrol edilecek ve bu güncellenen bilgiler ışığında da gerekirse envanter planı güncellenecektir. Doğal olarak hareketli planlama ufku boyunca gerçekleşen talep bilgisinin kullanılması ve gerçek envanter seviyesinin tespiti ile Bookbinder ve Tan modelinin performansının artması beklenmektedir.

Pratik anlamda bu çalışmada asıl cevaplanmak istenen problem, planlama ufku boyunca talep bilgilerinin son derece güvenilir olduğu ve güncellenmesine gerek duyulmadığı ortamlarda sezgisel bir yöntem olan statik belirsizlik stratejisinin zaman içinde gerçekleşen talep bilgilerini kullanarak ve üretim planlamasını bu bilgiler ışığında güncelleyerek ne ölçüde optimal plana yaklaşacağıının bulunmasıdır. Dolayısıyla klasik planlama ufku ile kullanılan durağan olmayan (R,S) politikası ile hareketli planlama ufkunu kullanan ve üretim planını güncelleyen statik belirsizlik stratejisinin karşılaştırılması yapılacaktır. Statik belirsizlik stratejisini kullanırken karar verilmesi gereken önemli bir konu ise hangi öbek büyüklüğü (lot-sizing) algoritmasının kullanılacağıdır.

Bir önceki bölümde de anlatıldığı üzere, statik belirsizlik stratejisinde stokastik problem öncelikle deterministik probleme dönüştürülür. Daha sonra bu deterministik problem herhangi bir deterministik öbek büyüklüğü (lot-sizing) algoritması ile çözülür. Dolayısıyla kullanılan öbek büyüklüğü (lot-sizing) algoritması statik belirsizlik stratejisinin performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu tez çalışmasında deterministik talep bilgisi altında optimal sonucu veren, bunun yanında da Bookbinder ve H'ng (1986) çalışmasında ümit verici sonuçlar veren Wagner-Whitin algoritması kullanılacaktır.

Bookbinder ve Tan modelinin hareketli planlama ufkunda nasıl bulunduğu aşağıda adım adım anlatılmıştır.

1. 4. Bölümde anlatıldığı gibi talep bilgisini eşdeğer deterministik talep bilgisine dönüştür
2. Wagner-Whitin algoritması ile deterministik talep değerlerini kullanarak gelecek periyotlar için üretim/sipariş miktarını belirle. Eğer envanter seviyesi pozitifse asıl üretim/sipariş miktarı bulunan miktardan envanter seviyesinin çıkarılması ile bulunur.
3. Talep değerleri gerçekleştikçe envanter pozisyonu bilgisini güncelle. Eşdeğer talep bilgisini güncelle. Eğer envanter seviyesi gelecek periyodun eşdeğer talep seviyesinden büyükse üçüncü adımı tekrarla, değilse ikinci adıma git. Planlama ufkunun sonuna kadar bu prosedürü takip et.

5.2 PROBLEMİN YAPISI VE SAYISAL SONUÇLAR

Bu bölümde tezde çözülen problem yapıları, çeşitleri ve sonuçları sunulmuştur. Maliyet farklarını değişik koşullarda inceleyebilmek için çok sayıda problem oluşturulmuş ve modeller bu problemlerde test edilmiştir.

5.2.1 Problem Yapısı

Maliyet farkının inceleneceği problem çeşitleri için öncelikle varsayımları ve notasyonları saymak yerinde olacaktır;

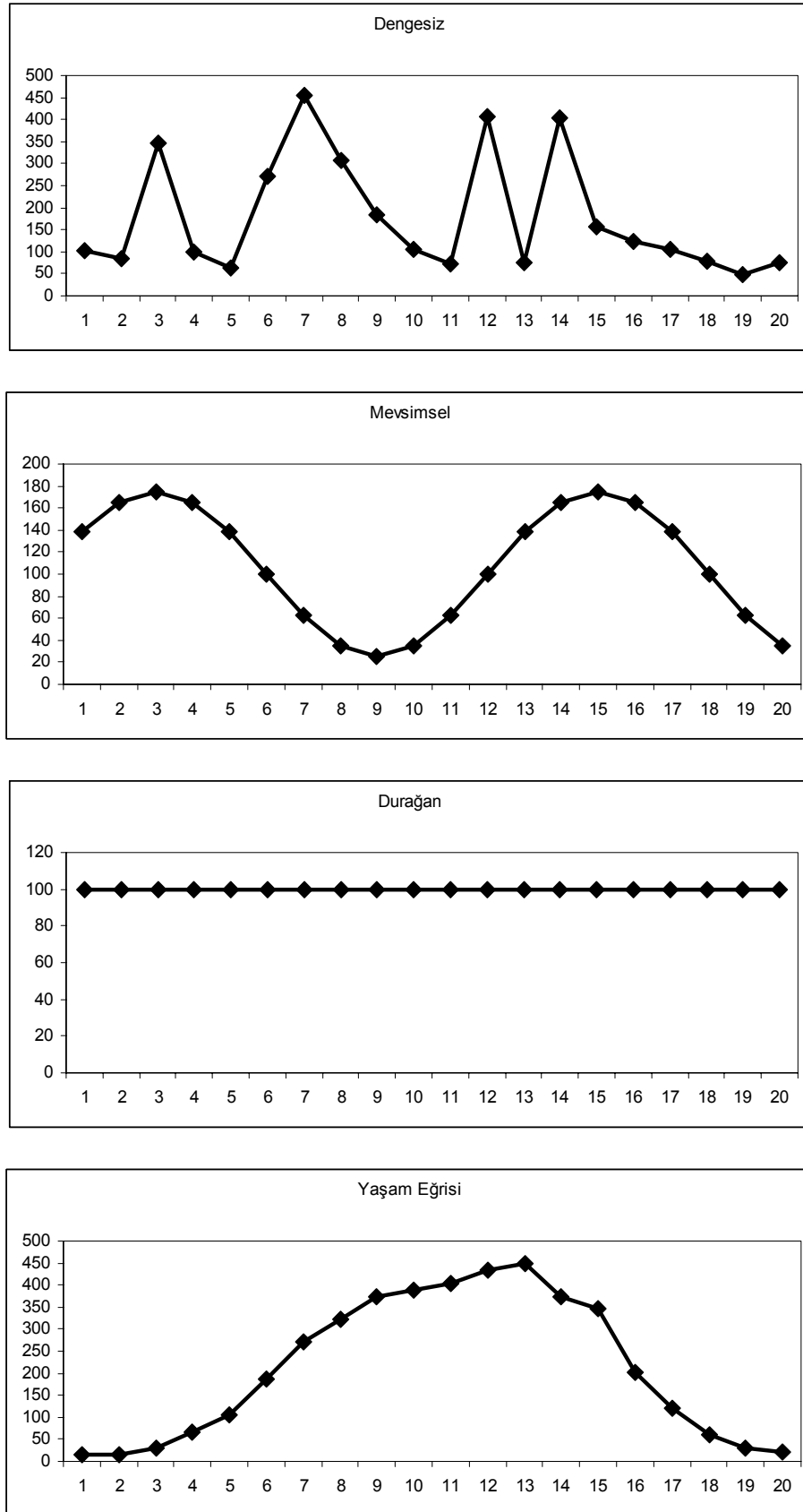
- a. Sipariş miktarından bağımsız olan sipariş maliyeti a ile ifade edilmiştir.

- b. Birim satış maliyeti 0 olarak alınmıştır.
- c. Periyot sonunda elde kalan envanter için birim elde tutma maliyeti h ile ifade edilmiştir. Birim elde tutma maliyeti problemler oluşturulurken 1 olarak sabitlenmiş ve bir değişken olarak alınmamıştır.
- d. Modelde servis düzeyi kısıtı kullanılmış ve α ile gösterilmiştir.
- e. Her periyotta talep bilgisi normal dağılıma sahiptir.
- f. Orijinal talep deseninde değişkenlik katsayısı (coefficient of variation) bütün dönemler için aynıdır ve cv ile ifade edilmiştir.
- g. Tedarik süresi sıfırdır. Talep edilen ürün dönem başında ulaşır.
- h. Başlangıç envanter düzeyi sıfırdır.
- i. Planlama ufku 20 periyottur.

Daha önce de ifade edildiği gibi optimal maliyetten sapmanın daha iyi incelenebilmesi için bu parametrelerle ve farklı tip talep desenleriyle çok sayıda problem oluşturulmuştur. a ile ifade edilen sipariş maliyeti için 3, α ile ifade servis düzeyi için 2, cv ile ifade edilen değişkenlik katsayısı için de 3 farklı değerle problemler yaratılmıştır. Bu parametrelerin değer kümeleri şunlardır;

$$\begin{aligned}
 a &= \{ 50, 200, 500 \} \\
 \alpha &= \{ 0.85, 0.95 \} \\
 cv &= \{ 0.05, 0.15, 0.25 \} \\
 h &= 1
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Bu değerlerin bütün kombinasyonları ile inceleme için problemler oluşturulmuştur, buna göre 18 değişik problem yapısı kurulmuştur. Bu problemler oluşturulurken normalde gerçekleşebilecek durumların büyük çoğunluğunu ifade edebilmesi planlanmıştır. Bu problemler dört farklı talep deseninde test edilmiştir. Bu talep desenleri Berry (1972) tarafından verilen durağan, mevsimsel, yasam eğrisi ve dengesiz olarak adlandırılan desenlerdir. Bu desenlerin grafiklerini aştıda görmek mümkündür.



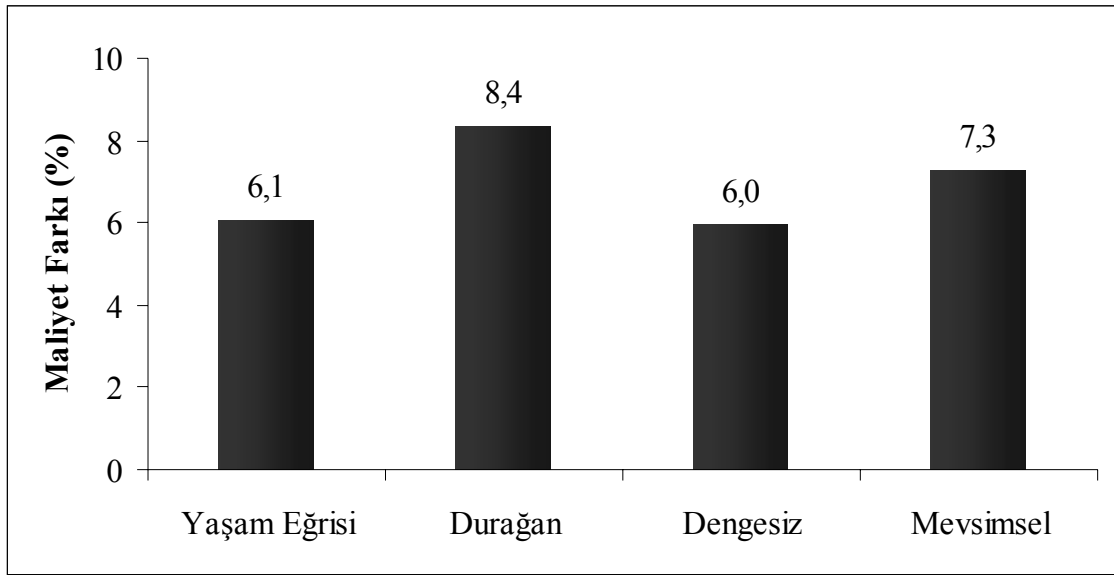
Şekil 5: Talep Desenleri

5.2.2 Sayısal Sonuçlar

Yukarıda tanımlanan problemlerin çözümü sonrasında elde edilen sonuçlara bakıldığında, politikalar arasında maliyet farklarının %0 ile %19 seviyeleri arasında dalgalandığı gözlenmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda genel bir yargıya varmak gerekirse, problemi sezgisel bir mantıkla çözmeye çalışan statik belirsizlik stratejisi hareketli planlama ufku yaklaşımını kullandığı durumda bile optimal sonuca göre ciddi sapmalar göstermektedir. Buna rağmen bazı örneklerde de maliyet farkı %1' in bile altına düşebilmektedir. Kabaca bir sınıflandırma yapmak gerekirse; çözülen 72 örneğin 15 tanesi %1'in altında, 16 tanesi %1-%5 aralığında, 17 tanesi %5-%10 aralığında, 19 tanesi %10-%15 aralığında ve geri kalan 5 tanesi ise %15-%19 aralığında sonuç vermektedir.

Şekil 6, talep desenlerine göre ortalama maliyet farkını vermektedir. Şekilden de görüldüğü üzere ortalama maliyet farkları birbirine oldukça yakın seyretmektedir. Şekil 6'daki sonuçlara göre talep desenlerinin yapısının maliyetlerin yüzdesel sapma miktarını etkilediği düşünülebilir. Şekil 5 incelendiğinde mevsimsel ve durağan talep desenlerinin son derece düzenli ve periyotlar arası talep değişkenliğinin düşük olduğu görülür. Yine aynı şekilden yaşam eğrisi ve dengesiz talep desenlerinin düzensiz ve periyotlar arası talep değişkenliğinin yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre talep desenleri durağanlaştıkça ve düzenli bir yapıya büründükçe optimal politika ile statik belirsizlik stratejisi arasındaki maliyet farkının açıldığı söylenebilir. Yani, iki politika arasındaki fark dengesiz ve yaşam eğrisi talep desenlerinde daha düşük, durağan ve mevsimsel talep desenlerinde ise daha yüksektir.

Tüm bu sonuçlara rağmen talep desenleri açısından genel bir yargıya varmak oldukça güçtür. Çünkü talep desenlerinin kendi içerisinde ortalama talep büyüklükleri, talep desenlerinin varyansı ve talep desenlerinin yapısı gibi birçok değişken aynı anda bu maliyet farklılıklarını etkilemektedir. Bundan dolayı talep desenleri ile ilgili genel bir yargıdan kaçınmak doğru olacaktır.

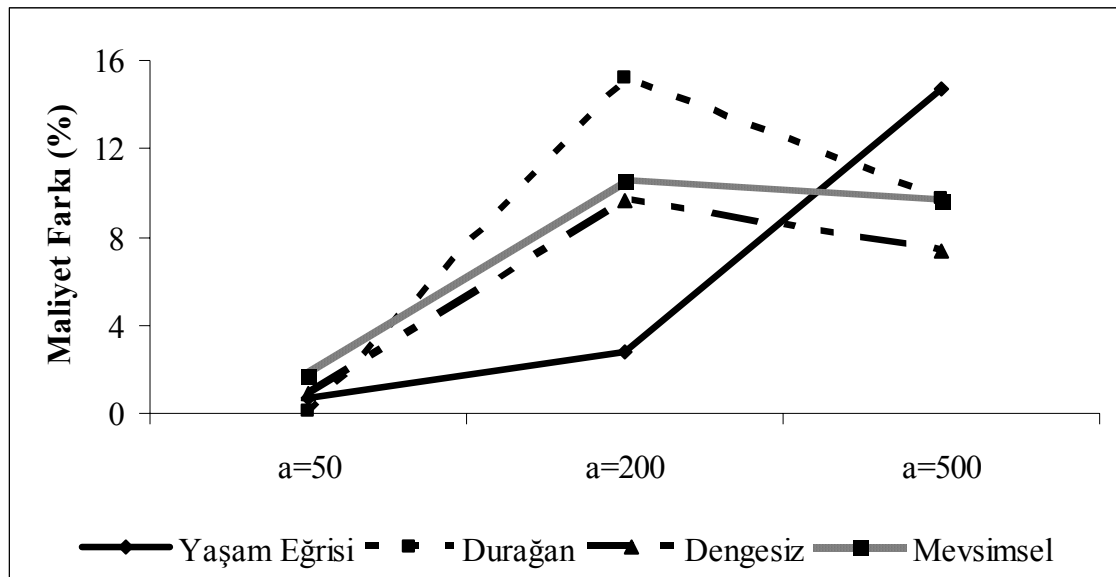


Şekil 6: Talep Desenlerine Göre Maliyet Farkının Ortalaması

Şekil 7, kurulum maliyetlerine göre problemlerin ortalama yüzdesel maliyet farkını vermektedir. Sipariş maliyeti incelendiğinde, genel olarak bu maliyetin artmasının iki politika arasındaki maliyet farkını arttırdığı görülür. Aslında bu beklenen bir sonuç değildir, çünkü sipariş maliyeti arttıkça iki modelinde seyrek sipariş vermeye yönelmesi beklenir, böylece de bir sipariş ile daha çok sayıda periyodun talebi karşılanmaya çalışılacaktır. Bir başka deyişle talep değerlerinin kümülatif olarak kullanılacak olması nedeni ile gerçekleşen talebin beklenenden sapma miktarının maliyeti güçlü bir şekilde etkileyemeyeceği beklenmektedir. Bundan dolayı da iki modelin birbirine yakınsamaya başlayacağı beklentisi doğmaktadır. Teorik olarak kurulum maliyetinin olmaması veya çok küçük bir değer olması durumunda iki politika da her periyotta sipariş vermeyi ve elinde envanter bulundurmamayı planlayacaktır, sonsuz büyüklükte bir kurulum maliyeti altında ise iki politika da 1 kere sipariş vermeyi planlayacaktır, bu iki durumda da politikalar aynı politika haline gelmeye başlayacaktır.

Düşük kurulum maliyeti için sayısal sonuçlar beklentiyi doğrulamaktadır. Yani düşük kurulum maliyetinde maliyet farkı düşük bir hale gelmektedir. Fakat kurulum maliyeti arttıkça sayısal sonuçlar bunun belli bir oranda tersini ortaya koymaktadır. Bunun nedeni, kurulum maliyetinin yeterince büyük olmamasıdır. Zaten sayısal sonuçlar

incelendiğinde çoğu örnekte kurulum maliyeti 500'e çıktıktan sonra tekrar maliyet farkında düşmeler başladığı görülmektedir. Bu da başta ortaya konan beklentiyi desteklemektedir. Sayısal sonuçların ortaya koyduğu maliyet farkı artışı ise söyle açıklanabilir, nispeten daha düşük kurulum maliyetlerindeki artış iki politikayı birbirine yeterince yaklaştıramamaktadır. Dahası statik belirsizlik stratejisindeki yanlış talep kümülasyonları bu politikayı optimalden uzaklaştırabilmektedir.

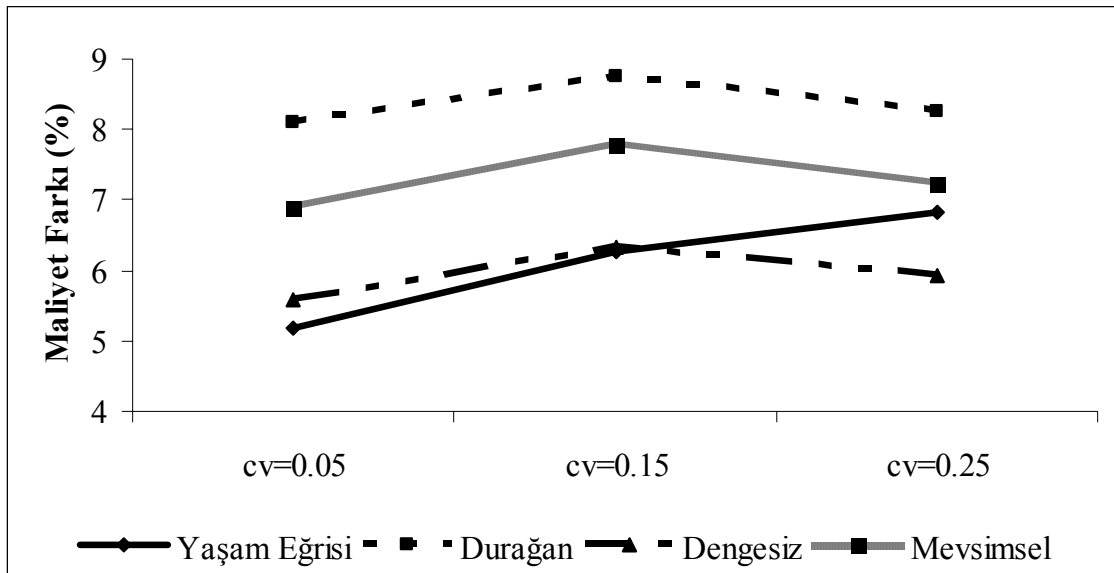


Şekil 7: Sabit Kurulum Maliyeti (a) Sabit İken Maliyet Farklılıkları

Şekil 8, değişkenlik katsayısına göre problemlerin ortalama yüzdesel maliyet farkını vermektedir. Değişkenlik katsayısı (coefficient of variation) incelendiğinde, bu değer artmasının maliyet farkının yüzdesel değerini çok etkilemediği görülmektedir. Aslında bu beklenmeyen bir sonuçtur. Çünkü değişkenlik katsayısı talep bilgisindeki belirsizlik seviyesini ifade eder ve talep bilgisindeki belirsizlik arttıkça (belirsizlik katsayısı arttıkça) gerçekleşen talep bilgisinin öneminin artması beklenmektedir. Bu açıklamalar doğrultusunda yüksek belirsizlik içeren talep yapılarında, iki politika arasındaki maliyet farkının azalmasının beklenen sonuç olduğu söylenebilir.

Sayısal sonuçlar incelendiğinde talepteki belirsizliğin artmasının iki politikanın göreceli performanslarını çok fazla etkilemediği görülmektedir. Bu sonucun, yani yukarıda

anlatılan beklentinin tersinin çıkmasının nedeni şöyle açıklanabilir: Yüksek değişkenlik katsayısı her iki stratejiyi de daha çok envanter tutması için zorlasa da statik belirsizlik stratejisi elinde daha fazla envanter tutmayı seçmektedir ve daha yüksek envanter tutmak talep realizasyonu bilgisinin önemini azaltmaktadır. Bir başka deyişle, elinde daha yüksek envanter tutmayı seçen statik belirsizlik stratejisi daha yeni bilgilerle yeniden planlama yapma lüksüne sahip olsa bile elinde tuttuğu yüksek envanter seviyesi bu politikanın göreceli maliyet performansını beklenildiği gibi arttıramamaktadır. Bundan dolayı statik belirsizlik stratejisi optimal politikaya beklenildiği oranda yaklaşmamaktadır.

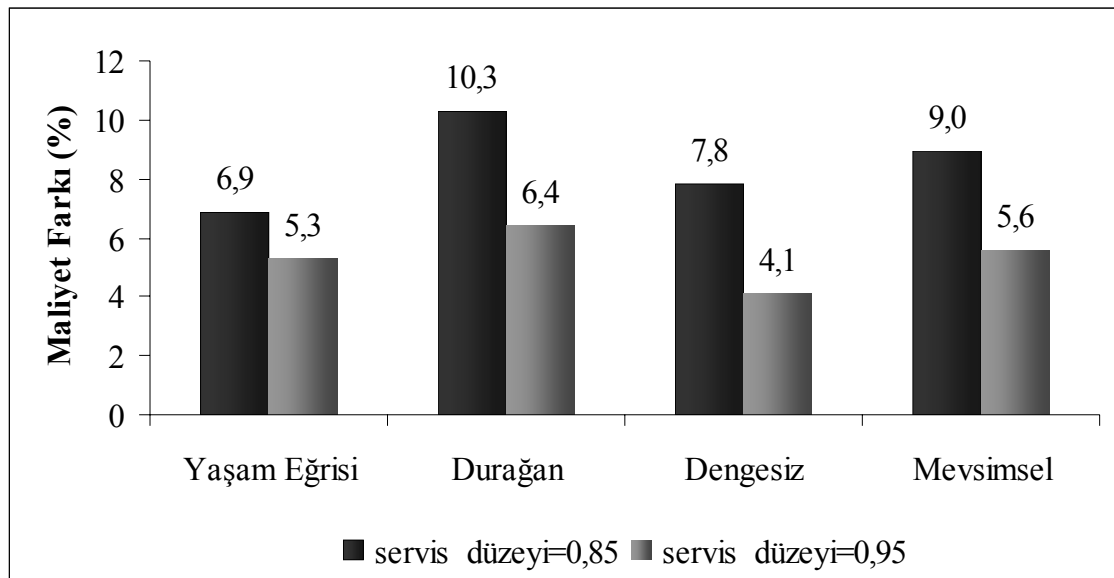


Şekil 8: Değişken Katsayısı (cv) Sabit İken Maliyet Farklılıkları

Son olarak da, servis düzeyi ile ilgili sonuçları karşılaştırmak sayısal sonuçlarla ilgili bölümü sonlandıracaktır. Şekil 9'da da görüldüğü üzere istenilen servis düzeyi arttıkça maliyet farkı azalmaktadır. Bu etkinin sebebi de şöyle açıklanabilir: İstenilen servis düzeyi arttıkça firma her periyot için elinde daha yüksek güvence stoğu tutmak isteyecektir. Böylece politikalar daha sık sipariş vermeyi seçecek ve talep kümülasyonunu mümkün olduğu kadar azaltmaya çalışacaktır. Diğer bir şekilde anlatmak gerekirse, kurulum maliyeti ile elde bulundurma maliyeti arasında ikili bir ilişki vardır. Elde bulundurma maliyeti kurulum maliyetinden düşük olması halinde

politika daha çok envanter tutup daha az sipariş vermeyi tercih edecektir. Tam aksi durumda, yani elde bulundurma maliyeti kurulum maliyetine göre yüksek olması durumunda ise politika elde daha az envanter bulundurup kurulum maliyetine katlanmayı tercih edecektir. Bu iki maliyet parametresi birbirini dengeye getirmektedir. Böylece elde yüksek güvence tutma zorunluluğu elde tutma maliyetini arttıracak bundan dolayı da politika daha fazla elde envanter tutmamak için talep kümülasyonunu azaltacak ve daha sık sipariş vermeyi seçecektir.

Düşük kurulum maliyeti için yapılan açıklamaya benzer bir açıklama servis düzeyi için de yapılabilir. Buna göre yüksek güvence stoğu tutmak talep kümülasyonunu azaltmakta bundan dolayı da iki politikayı birbirine yakınsatmaktadır. Böylece yüksek servis düzeyi kısıtı altında iki politika benzer sonuçlar vermektedir.



Şekil 9: Servis Düzeyi α Sabitken Maliyet Farklılıkları

Çözülen problem yapıları ve sonuçlarının hepsi tezin son bölümünde bulunan ekler bölümünden incelenebilir.

Tez çalışmasının bu bölümünden sonra 4 değişik talep durumunda değerlendirilen 18 farklı problem içinden en yüksek farklılığı gösteren yaşam eğrisi talep yapısında, $a = 500$, $\alpha = 0.85$ ve $cv = 0.25$ parametrelerine sahip problemin her iki model için de iki farklı talep realizasyonu durumunda değerlendirilmesi yapılacaktır.

Birinci talep realizasyonu (Örnek 1), statik belirsizlik stratejisinin toplam maliyetini hesaplanan, beklenen maliyete yakın çıkartan, bunun yanında beklenen talepten sapmalar da gösteren bir talep realizasyonu olarak bulunmuştur. İkinci talep realizasyonu (Örnek 2) ise tam olarak beklenen taleplerin yani ortalama taleplerin gerçekleştiği talep realizasyonudur. Bu talep realizasyonunda hareketli planlama ufku boyunca planları güncellemeye gerek kalmayacağı için bu sonuç ilk periyotta karar verilen üretim/sipariş planının planlama ufku sonuna kadar uygulanmasıdır.

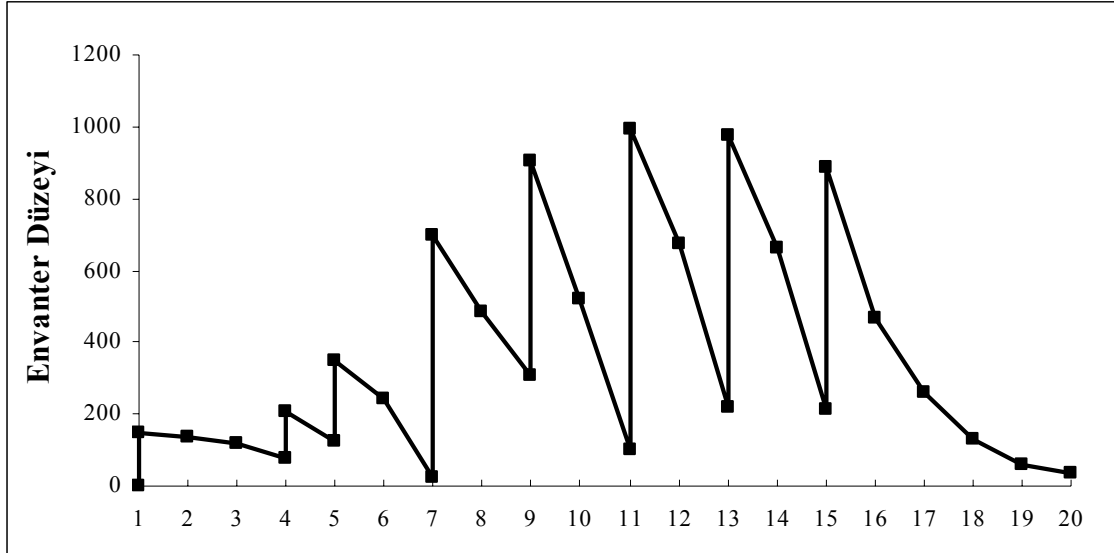
Örnek 1:

İlk örnekte hareketli planlama ufku yaklaşımı uygulanan statik belirsizlik yönteminde bulunan sipariş/üretim dönemleri 1, 4, 5, 7, 9, 11, 13 ve 15 olmak üzere sekiz tanedir. Bu örnekteki sipariş/üretim miktarı, dönem başı ve dönem sonu envanterleri Tablo 1’de verilmiştir.

Dönem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Sipariş/Üretim Miktarı	146	-	-	126	222	-	679	-	595	-	891	-	759	-	676	-	-	-	-	-
Dönem Başı Envanteri	146	134	119	204	347	244	700	482	905	521	994	675	976	661	888	466	262	131	59	33
Dönem Sonu Envanteri	134	119	78	125	244	21	482	310	521	103	675	217	661	212	466	262	131	59	33	13

Tablo 1: Bookbinder-Tan Sipariş/Üretim Planı (Örnek 1)

Şekil 10’da Örnek 1’de statik belirsizlik yönteminde bulunan envanter düzeyinin dönemlere göre değişimi verilmiştir.



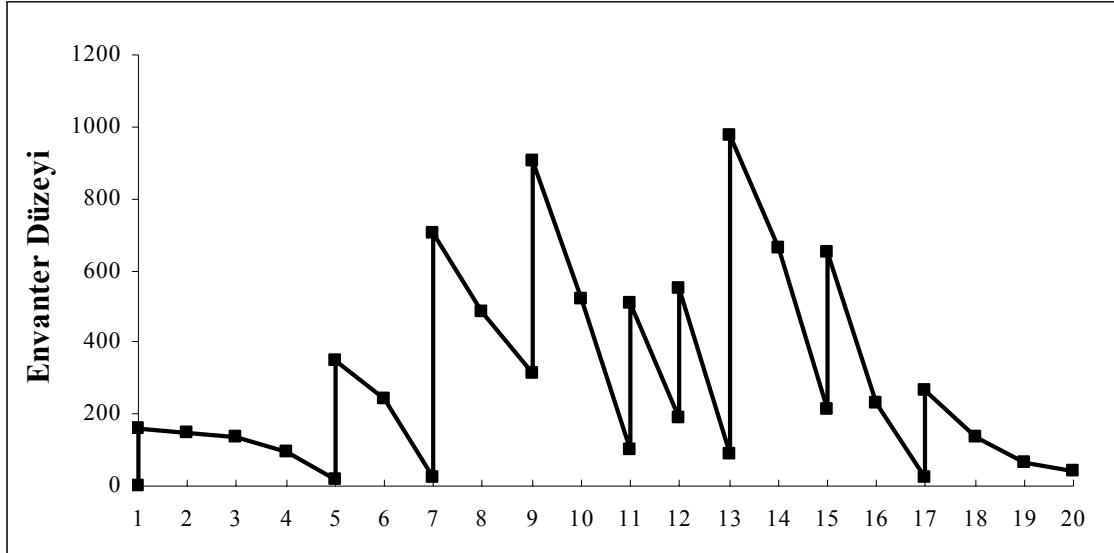
Şekil 10: Bookbinder-Tan Sipariş/Üretim Planı (Örnek 1)

Aynı problem için durağan olmayan (R,S) politikası ile bulunan sipariş/üretim dönemleri 1, 5, 7, 9, 11, 12, 13, 15 ve 17 olmak üzere dokuz tanedir. Bu örnekteki sipariş/üretim miktarı, dönem başı ve dönem sonu envanterleri Tablo 2’de verilmiştir.

Dönem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Sipariş/Üretim Miktarı	162	-	-	-	333	-	679	-	594	-	407	357	887	-	438	-	243	-	-	-
Dönem Başı Envanteri	162	150	135	94	348	245	701	483	905	521	510	548	977	662	651	229	268	137	65	39
Dönem Sonu Envanteri	150	135	94	15	245	22	483	311	521	103	191	90	662	213	229	25	137	65	39	19

Tablo 2: Tarım-Kingman Sipariş/Üretim Planı (Örnek 1)

Şekil 11’de Örnek 1’de durağan olmayan (R,S) politikası ile bulunan envanter düzeyinin dönemlere göre değişimi verilmiştir.



Şekil 11: Tarım-Kingman Sipariş/Üretim Planı (Örnek 1)

Şekil 10 ve Şekil 11 incelendiğinde iki modelin farklı sipariş politikaları oluşturdukları açıklıkla görülmektedir. (R,S) politikasının grafiğinde ortalama envanter seviyesinin daha düşük olduğu dikkat çekmektedir. Şekiller ve özellikle tablolardan dönem sonu envanter düzeyleri incelendiğinde (R,S) politikasının elinde daha az güvence stoğu tutmayı seçip daha sık sipariş verdiği söylenebilir.

Tüm bu sonuçlar göz önüne alındığında özetle, statik belirsizlik stratejisi yüksek talep kümülasyonu kullanarak yüksek miktarda envanter tutmakta dolayısıyla daha seyrek sipariş vermektedir. (R,S) politikası ise daha sık sipariş verip daha az envanter tutmayı seçmektedir.

Örnek 2:

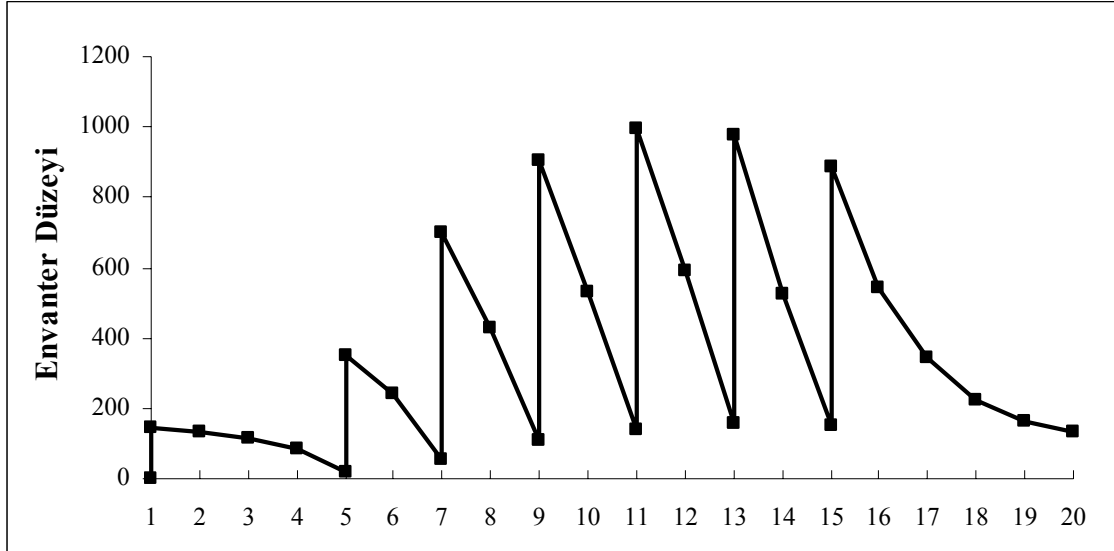
İkinci örnekte daha önce de belirtildiği üzere tam olarak beklenen taleplerin gerçekleştiği düşünülmüştür. Buna göre hareketli planlama ufku yaklaşımı uygulanan statik belirsizlik yöntemi incelendiğinde sipariş/üretim dönemlerinin 1, 5, 7, 9, 11, 13 ve 15 olmak üzere yedi tane olduğu görülmüştür. Burada en çok dikkat çeken konu aynı statik belirsizlik stratejisinin gerektiğinde üretim planlarını değiştirmesidir. Birinci örnekte sekiz kere sipariş vermeyi seçen model ikinci örnekte sipariş sayısını yediye düşürmüştür. Her ne kadar bu düzeltmeler maliyeti düşürmek amaçlı olsa da, sipariş planlarının değiştirilmesinden dolayı ortaya çıkan sistem sınırlılığı statik belirsizlik stratejisinin hareketli planlama ufku yaklaşımı altında daha da yükselmektedir. Sistem sınırlılığı kavramı bu tez çalışmasının amacının dışında olduğundan daha ayrıntılı bir inceleme yapılmayacaktır. Fakat statik belirsizlik stratejisinin hareketli planlama ufku ile uygulanmasının sistem sınırlılığını artırdığını vurgulamak yerinde olacaktır.

Bu örnekteki sipariş/üretim miktarı, dönem başı ve dönem sonu envanterleri Tablo 3’de verilmiştir.

Dönem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Sipariş/Üretim Miktarı	146	-	-	-	328	-	645	-	797	-	854	-	822	-	737	-	-	-	-	-
Dönem Başı Envanteri	146	131	116	86	347	242	700	430	905	530	994	589	976	526	888	543	341	221	161	131
Dönem Sonu Envanteri	131	116	86	19	242	55	430	108	530	140	589	154	526	151	543	341	221	161	131	109

Tablo 3: Bookbinder-Tan Sipariş/Üretim Planı (Örnek 2)

Şekil 12’de Örnek 2’de statik belirsizlik yönteminde bulunan envanter düzeyinin dönemlere göre değişimi verilmiştir.



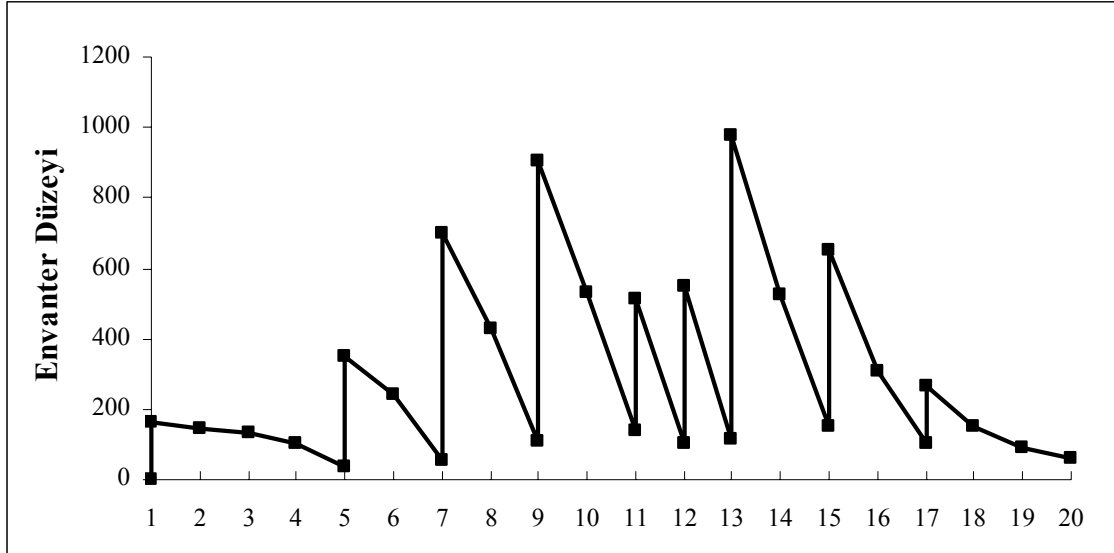
Şekil 12: Bookbinder-Tan Sipariş/Üretim Planı (Örnek 2)

Durağan olmayan (R,S) politikası farklı talep realizasyonlarından etkilenmediği için aynı üretim/sipariş planını devam ettirmektedir. Dolayısıyla sipariş dönemleri önceki örnekle birebir uyumuştur. Yani bu örnekte de 1, 5, 7, 9, 11, 12, 13, 15 ve 17 olmak üzere dokuz tane sipariş dönemi bulunmuştur. Bu örnekteki sipariş/üretim miktarı, dönem başı ve dönem sonu envanterleri Tablo 4’de verilmiştir.

Dönem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Sipariş/Üretim Miktarı	162	-	-	-	313	-	645	-	796	-	370	443	864	-	499	-	164	-	-	-
Dönem Başı Envanteri	162	147	132	102	348	243	701	431	905	530	510	548	977	527	651	306	268	148	88	58
Dönem Sonu Envanteri	147	132	102	35	243	56	431	109	530	140	105	113	527	152	306	104	148	88	58	36

Tablo 4: Tarım-Kingman Sipariş/Üretim Planı (Örnek 2)

Şekil 13'de Örnek 2'de durağan olmayan (R,S) politikası ile bulunan envanter düzeyinin dönemlere göre değişimi verilmiştir.



Şekil 13: Tarım-Kingman Sipariş/Üretim Planı (Örnek 2)

Şekil 12 ve 13 incelendiğinde önceki örnekte olduğu gibi hareketli planlama ufku yaklaşımı ile oluşturulan statik belirsizlik stratejisi ile daha büyük miktarda sipariş/üretim yapıldığı ve bu nedenle üretim/sipariş yapılan dönem sayılarının (R,S) politikasına göre daha az olduğu görülmüştür. Bunun bir sonucu olarak da statik belirsizlik stratejisinde dönem sonunda elde tutulan ortalama envanter seviyeleri daha yüksek olmaktadır.

Bu örnekler sonucu ulaşılan sipariş/üretim dönemleri, toplam maliyeti, ortalama envanter ve toplam sipariş miktarları Tablo 5'de özetlenmiştir.

	Bookbinder-Tan (Örnek 1)	Tarım-Kingman(Örnek 1)	Bookbinder-Tan (Örnek 2)	Tarım-Kingman (Örnek 2)
Sipariş/Üretim Zamanları	1, 4, 5, 7, 9, 11, 13, 15	1, 5, 7, 9, 11, 12, 13, 15, 17	1, 5, 7, 9, 11, 13, 15	1, 5, 7, 9, 11, 12, 13, 15, 17
Ortalama Envanter Miktarı	243	187	239	178
Toplam Sipariş Miktarı	4094	4100	4329	4256
Toplam Maliyet	8866	8247	8283	8060

Tablo 5: Hareketli Planlama Ufku Yaklaşımı ile Uygulanan Statik Belirsizlik Modeli ve Durağan Olmayan (R,S) Modeli Karşılaştırılması

Bu tablodaki sonuçlar daha önce anlatılan yargıları güzel bir şekilde özetlemektedir. Buna göre elde tutulan ortalama envanter miktarlarının Bookbinder ve Tan'ın stratejisi altındayken çok daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun yanında toplam sipariş miktarları incelendiğinde (R,S) politikasının ne kadar doğru yönetilen bir politika olduğu daha çok ortaya çıkmaktadır. Örnek 1'de statik belirsizlik ve (R,S) politikaları neredeyse aynı miktarda ürün sipariş vermiştir. Buna rağmen ortalama envanter miktarları arasında ciddi bir farklılık vardır. Bu örnekten çıkartılması gereken sonuç statik belirsizlik stratejisinin gerekenden daha yüksek miktarda güvence stoğu tutmayı seçtiğidir. Örnek 2'de ise statik belirsizlik stratejisi, (R,S) politikasına göre daha yüksek miktarda sipariş vermiş ve dolayısıyla yine daha yüksek miktarda envanter tutmuştur. Tüm bunların doğal bir sonucu olarak da bu modelin maliyetleri daha fazla hesaplanmıştır.

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Firmaların envanter bulundurma nedenleri faaliyet giderlerini azaltabilmek ve kendilerini gelecekte oluşabilecek dalgalanmalardan koruyabilmektir. Envanter bulundurma kararlarını verirken firmaların dikkat etmesi gereken en önemli hususlardan biri faaliyet giderlerini ve riski azaltmaya çalışırken daha büyük giderlere neden olmamaktır. Yani envanterin doğru yönetilmesi firmaların daha yüksek maliyetlerden kaçınması için kritik bir öneme sahiptir. Bu ihtiyaca cevap vermek için de firmanın üretim veya sipariş kararlarını belirleyen envanter kontrol politikaları oluşturulmuştur.

Bookbinder ve Tan durağan olmayan stokastik talep varsayımı için ortaya koydukları üç farklı strateji ile ne zaman ve ne kadar sipariş verilmeli sorularına son derece önemli bir bakış açısı getirmiştir. Ortaya attıkları statik belirsizlik, dinamik belirsizlik ve statik dinamik belirsizlik stratejileri daha sonra ortaya konan birçok modele temel teşkil etmiştir. Her ne kadar bu stratejilerin uygulaması ve anlaşılması kolay olsa da ortaya atılan problemi optimal olarak çözememeleri önemli bir eksikliktir. Hareketli planlama ufku, stokastik envanter sistemlerinde talebin beklenenden farklı gerçekleşebilmesinden dolayı planların her periyotta veya belli periyotlarda güncellenmesini öneren genel bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımın stokastik envanter problemini optimal olarak çözemeyen Bookbinder ve Tan'ın modelinin performansını ne şekilde etkileyeceği bu tezin araştırma konusudur. Durağan olmayan (R,S) tipi envanter politikası ise Bookbinder ve Tan'ın stratejilerini temel alan ve aynı problemi optimal olarak çözmeyi başaran modeldir. Dolayısıyla durağan olmayan (R,S) politikası bu çalışmada optimal sonucu veren referans noktasıdır.

Bu tez çalışmasında maliyet açısından karşılaştırılması yapılan hareketli planlama ufku yaklaşımını kullanan statik belirsizlik stratejisi kullanılırken öbek büyüklüğü algoritması olarak Wagner Whitin dinamik programlama modeli kullanılmıştır. Karşılaştırma yüksek sayıda örnek problem üzerinde uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca maliyet farklarına problem parametrelerinin etkileri tartışılmıştır. Sonuçlara göre örneklerin %21'inde statik belirsizlik stratejisi optimal

sonucu vermiştir, %22'sinde maliyet farkı %1-%5 aralığında kalmıştır, %23'ünde ise maliyet farkı %5-%10 aralığında seyretmiştir, geri kalan %34'ünde ise maliyet farkı %10-%19 aralığında gerçekleşmiştir.

Problem parametrelerinin maliyet farkına etkileri incelendiğinde genellikle kesin yargılara ulaşılamamış ama beklenen sonuçları destekleyen eğilimler görülmüştür. Bu beklentilere göre kurulum maliyeti yeterince yüksek veya yeterince düşük değerler aldığı anda iki politikanın oluşturduğu üretim/sipariş planları birbirine yakınsamakta ve maliyet farkları düşmektedir. Bunun yanında servis düzeyi seviyesi arttıkça maliyet farkı azalma eğilimi göstermektedir. Ayrıca sonuçlar göstermiştir ki değişkenlik katsayısı maliyet farkını önemli bir şekilde etkilememektedir.

Sonuçlara göre genel bir yargıya varmak gerekirse, hareketli planlama ufku statik belirsizlik stratejisini optimal sonuca yaklaştıramamaktadır. Birçok örnekte ciddi maliyet farkları kendini göstermektedir. Bu noktadan hareketle talebin gerçekleşme bilgisine sahip olarak planları güncellemenin statik belirsizlik sezgisel stratejisine belli operasyonel avantajlar sağlayabileceği kabul edilse de optimal sonucu veren (R,S) politikasının maliyet açısından çok daha iyi bir performans verdiği açıktır.

Bu çalışmadan sonra benzer bir çalışma talep bilgilerinin güncellenmesi de işin içine katılarak yapılabilir. Bunun yanında bu çalışmada kullanılan servis düzeyi kısıtı yerine ceza maliyeti uygulaması kullanılması ilginç başka bir problemi ortaya çıkarabilir. Ayrıca hareketli planlama ufku kullanmanın sistem sınırlılığı üzerine etkisini araştırmak da başka bir araştırma konusudur.

Kaynaklar

- Arrow, K., Harris, T., & Marschak, J. (1951). Optimal inventory policy. *Econometrica*, 19, 250-271.
- Arrow, K., Karlin, S., & Scarf, H. (Eds.). (1958). *Studies in the mathematical theory of inventory and production*. Stanford, CA: Stanford University Press.
- Askin, R. (1981). A procedure for production lot sizing with probabilistic dynamic demand. *AIIE Transactions*, 13, 132-137.
- Baker, K. (1977). An experimental study of the effectiveness of rolling schedules in production planning, *Decision Science*, 8, 1, 19-27.
- Bellman, R. (1957). *Dynamic programming*. Stanford, CA: Stanford University Press.
- Berry, W. (1972). Lot sizing procedures for requirement planning systems: Framework for analysis. *Production and Inventory Management*, 13, 19-34.
- Bookbinder, J., & H'ng, B. (1986). Rolling horizon production planning for probabilistic time-varying demands, *International Journal of Production Research*, 24, 6, 1439-1458.
- Bookbinder, J., & Tan, J. (1988). Strategies for the probabilistic lot-sizing problem with servicel-level constraints. *Management Science*, 34, 1096-1108.
- Chase, R., Jacobs, F., & Aquilano, N. (2004). *Operations management for competitive advantage* (10th ed.). Boston, MA: Irwin/McGraw-Hill.

- Chen, F., & Krass, D. (2001). Inventory models with minimal service level constraints, *European Journal of Operational Research*, 134, 120-140.
- Dvoretzky, A., Kiefer, J., & Wolfowitz, J. (1953). On the optimal character of the (s; S) policy in inventory theory. *Econometrica*, 21, 586-596.
- Graves, S., & Willems, S., (2008). Strategic Inventory Placement in Supply Chains: Non-Stationary Demand, *Manufacturing & Service Operations Management*, 10, 2, 278-287.
- Hadley, G., & Whitin, T. (1963). *Analysis of inventory systems*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Harris, F. (1915). *Operation and cost*. Chicago: A.W. Shaw Co.
- Hua, Z., Yang, J., Huang, F., & Xu, X., (2009). A static-dynamic strategy for spare part inventory systems with nonstationary stochastic demand, *Journal of the Operational Research Society*, 60, 9, 1254-1263.
- Iglehart, D. (1963). Dynamic programming and stationary analysis of inventory problems. In H. E. Scarf, D. Gilford, & M. Shelley (Eds.), *Multistage inventory models and techniques* (p. 1-31). Stanford, CA: Stanford University Press.
- Karlin, S., & Scarf, H. (1958). Inventory models of the arrow-harris-marschak type with time lag. In K. J. Arrow, S. Karlin, & H. E. Scarf (Eds.), *Studies in the mathematical theory of inventory and production*. Stanford, CA: Stanford University Press.
- Kılıç, O., (2006). *Durağan Olmayan Talep Durumunda Envanter Politikalarında Sistem Sinirliliği Üzerine Bir Çalışma*, Ankara: Yüksek Lisans Tezi.

- Peters, R., Boskma, K., & Kupper, H., (1977). Stochastic programming in production planning: A case with non-simple recourse, *Statistica Neerlandica*, 31, 3, 113-126.
- Raymond, F., (1931). *Quantity and economy in manufacture*. New York: McGraw-Hill.
- Reid, R., & Sanders, N., (2004). *Operations management*. New York: John Wiley and Sons.
- Rosling, K., (1999). The square-root algorithm for single-item inventory optimization, Working Paper, Lund University.
- Rossi, R., Tarim, S., Hnich, B., Prestwich, S. (2008). A Global Chance-Constraint for Stochastic Inventory Systems under Service Level Constraints, *Constraints*, 13, 490-517.
- 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* (p. 196-202). Stanford, CA: Stanford University Press.
- Scarf, H., Gilford, D., & Shelley, M. (Eds.). (1963). *Multistage inventory models and techniques*. Stanford, CA: Stanford University Press.
- Silver, E. (1978). Inventory control under a probabilistic time-varying demand pattern. *AIIE Transactions*, 10, 371-379.
- Silver, E., Pyke, D., & Peterson, R. (1998). *Inventory management and production planning and scheduling* (3rd ed.). New York: John Wiley and Sons.
- Sox, C. (1997). Dynamic lot-sizing with random demand and non-stationary costs, *Operations Research Letters*, 20, 155-164.

- Taha, A. (1987). *Operations research: An introduction* (4th ed.). Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Tarım, S., & Smith B. (2008). Constraint Programming for Computing Non-Stationary (R,S) Policies, *European Journal of Operational Research*, 189, 1004-1021.
- Tarım, S., & Kingsman, B. (2004). The stochastic dynamic production/inventory lot-sizing problem with service-level constraints. *International Journal of Production Economics*, 88, 105-119.
- Tarım, S., & Kingsman, B. (2006). Modelling and computing $(r_n; s_n)$ policies for inventory systems with non-stationary stochastic demand. *European Journal of Operations Research*, 174, 581-599.
- Tunç, H.. (2007). *Talebin Durağan Olmama Varsayımı ve Beklenen Maliyet İlişkisi Üzerine Bir İnceleme*, Ankara: Yüksek Lisans Tezi.
- Tunç, H., Kılıç, O., Tarım S., & Ekşioğlu B., (2010). The cost of using stationary policies when demand non-stationary, Working Paper, Mississippi State University.
- Van Houtum, G., & Zijm, W. (2000). On the relation between cost and service models for general inventory system, *Statistica Neerlandica*, 54, 127-147.
- Wagner, H., & Whitin, T. (1958). Dynamic version of economic lot size model. *Management Science*, 5, 89-96.
- Wemmerlov, U. & Whybark, D. (1984) Lot-sizing under uncertainty in a rolling horizon schedule environment, *International Journal of Production Research*, 22, 3, 467-484.

Whitin, T. (1953). *The theory of inventory management*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

Ekler

Ek 1: Talep Desenleri

Dönem	Dengesiz	Mevsimsel	Durağan	Yaşam Eğrisi
1	101	138	100	15
2	83	165	100	15
3	347	175	100	30
4	99	165	100	67
5	63	138	100	105
6	272	100	100	187
7	456	63	100	270
8	307	35	100	322
9	185	25	100	375
10	105	35	100	390
11	72	63	100	405
12	407	100	100	435
13	75	138	100	450
14	403	165	100	375
15	157	175	100	345
16	124	165	100	202
17	105	138	100	120
18	78	100	100	60
19	49	63	100	30
20	75	35	100	22

Ek 2: Örneklerin Çözümleri

Örnek No	a	cv	Servis Düzeyi Kısıtı	Talep Deseni	Hareketli planlama ufku	Durağan olmayan (R,S) modeli	Delta
1	50	0,05	0,85	Yaşam Eğrisi	1163	1157	0,476
2	50	0,05	0,95	Yaşam Eğrisi	1292	1287	0,394
3	50	0,15	0,85	Yaşam Eğrisi	1592	1598	-0,405
4	50	0,15	0,95	Yaşam Eğrisi	2007	1987	1,017
5	50	0,25	0,85	Yaşam Eğrisi	2082	2039	2,086
6	50	0,25	0,95	Yaşam Eğrisi	2707	2687	0,758
7	200	0,05	0,85	Yaşam Eğrisi	3496	3408	2,578
8	200	0,05	0,95	Yaşam Eğrisi	3621	3550	1,993
9	200	0,15	0,85	Yaşam Eğrisi	4044	3888	4,003
10	200	0,15	0,95	Yaşam Eğrisi	4430	4308	2,838
11	200	0,25	0,85	Yaşam Eğrisi	4499	4365	3,079
12	200	0,25	0,95	Yaşam Eğrisi	5190	5064	2,497
13	500	0,05	0,85	Yaşam Eğrisi	7696	6703	14,809
14	500	0,05	0,95	Yaşam Eğrisi	7641	6897	10,784
15	500	0,15	0,85	Yaşam Eğrisi	8588	7364	16,623
16	500	0,15	0,95	Yaşam Eğrisi	8997	7925	13,533
17	500	0,25	0,85	Yaşam Eğrisi	9487	7999	18,600
18	500	0,25	0,95	Yaşam Eğrisi	10112	8878	13,903
19	50	0,05	0,85	Durağan	1109	1104	0,485
20	50	0,05	0,95	Durağan	1168	1164	0,302
21	50	0,15	0,85	Durağan	1301	1311	-0,757
22	50	0,15	0,95	Durağan	1491	1493	-0,164
23	50	0,25	0,85	Durağan	1530	1518	0,776
24	50	0,25	0,95	Durağan	1820	1822	-0,133
25	200	0,05	0,85	Durağan	3711	3147	17,938
26	200	0,05	0,95	Durağan	3650	3233	12,912
27	200	0,15	0,85	Durağan	4096	3440	19,079
28	200	0,15	0,95	Durağan	4146	3698	12,119
29	200	0,25	0,85	Durağan	4401	3733	17,899
30	200	0,25	0,95	Durağan	4641	4163	11,480
31	500	0,05	0,85	Durağan	6151	5576	10,308
32	500	0,05	0,95	Durağan	6056	5680	6,626
33	500	0,15	0,85	Durağan	6802	5929	14,731
34	500	0,15	0,95	Durağan	6710	6239	7,549
35	500	0,25	0,85	Durağan	7048	6281	12,210
36	500	0,25	0,95	Durağan	7295	6798	7,306
37	50	0,05	0,85	Dengesiz	1205	1185	1,719
38	50	0,05	0,95	Dengesiz	1302	1293	0,694
39	50	0,15	0,85	Dengesiz	1562	1554	0,520
40	50	0,15	0,95	Dengesiz	1898	1886	0,636
41	50	0,25	0,85	Dengesiz	1984	1934	2,573
42	50	0,25	0,95	Dengesiz	2509	2530	-0,817

Örnek No	a	cv	Servis Düzeyi Kısıtı	Talep Deseni	Hareketli planlama ufku	Durağan olmayan (R,S) modeli	Delta
43	200	0,05	0,85	Dengesiz	3684	3375	9,153
44	200	0,05	0,95	Dengesiz	3728	3527	5,691
45	200	0,15	0,85	Dengesiz	4298	3852	11,567
46	200	0,15	0,95	Dengesiz	4622	4253	8,677
47	200	0,25	0,85	Dengesiz	4888	4307	13,481
48	200	0,25	0,95	Dengesiz	5436	4975	9,267
49	500	0,05	0,85	Dengesiz	6725	6067	10,842
50	500	0,05	0,95	Dengesiz	6594	6256	5,397
51	500	0,15	0,85	Dengesiz	7450	6712	11,003
52	500	0,15	0,95	Dengesiz	7689	7279	5,633
53	500	0,25	0,85	Dengesiz	8038	7356	9,273
54	500	0,25	0,95	Dengesiz	8428	8277	1,829
55	50	0,05	0,85	Mevsimsel	1094	1074	1,848
56	50	0,05	0,95	Mevsimsel	1158	1144	1,215
57	50	0,15	0,85	Mevsimsel	1335	1310	1,886
58	50	0,15	0,95	Mevsimsel	1544	1516	1,852
59	50	0,25	0,85	Mevsimsel	1592	1544	3,121
60	50	0,25	0,95	Mevsimsel	1891	1883	0,448
61	200	0,05	0,85	Mevsimsel	3527	3123	12,924
62	200	0,05	0,95	Mevsimsel	3504	3222	8,766
63	200	0,15	0,85	Mevsimsel	3927	3458	13,561
64	200	0,15	0,95	Mevsimsel	4089	3753	8,959
65	200	0,25	0,85	Mevsimsel	4274	3790	12,764
66	200	0,25	0,95	Mevsimsel	4486	4224	6,205
67	500	0,05	0,85	Mevsimsel	5896	5366	9,872
68	500	0,05	0,95	Mevsimsel	5858	5494	6,619
69	500	0,15	0,85	Mevsimsel	6495	5786	12,253
70	500	0,15	0,95	Mevsimsel	6643	6139	8,212
71	500	0,25	0,85	Mevsimsel	6962	6187	12,531
72	500	0,25	0,95	Mevsimsel	7336	6775	8,284

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Burcu Ellidört

Doğum Yeri ve Tarihi : Sivas / 1981

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Hacettepe Üniversitesi İşletme Bölümü (1999-2004)

Yüksek Lisans Öğrenimi :

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

Bilimsel Faaliyetleri :

İş Deneyimi

Stajlar : T.Halkbankası Ostim Şubesi
HSBC Bank A.Ş. Emek Şubesi

Projeler :

Çalıştığı Kurumlar : T.C. Başbakanlık Türkiye İstatistik Kurumu
İzmir Bölge Müdürlüğü – Uzman Yardımcısı
(26.01.2006 – devam ediyorum)

İletişim

E-Posta Adresi : burcu.ellidort@tuik.gov.tr
bellidort@gmail.com

Tarih : 28/04/2010