

# **DURAĞAN OLMAYAN TALEP VARSAYIMI ALTINDA "TEDARİK DÖNEMİ" POLİTİKASININ MALİYET PERFORMANSI ÜZERİNE BİR İNCELEME**

**Mehmet Can**

Türkiye İş Bankası  
Yazılım Genel Müdürlüğü

**Dr. Ayşegül Taş**

Çankaya Üniversitesi  
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü  
Öğretim Görevlisi

• • •

## **Özet**

Bu çalışmada envanter yönetiminin temel politikalarından olan "min-max" (s,S) ve "tedarik dönemi" (R,S) politikaları durağan olmayan talep varsayımı altında maliyet performansı bakımından karşılaştırılmıştır. Envanter literatüründe "min-max" politikasının optimal çözüm verdiği gösterilmiştir. Bu çerçevede çalışmanın temel katkısı "tedarik dönemi" politikasının en iyi çözüme olan yakınlığının belirlenmesi yönündedir. Durağan olmayan talep durumu için her iki politika parametrelerinin hesaplanmasına ilişkin yöntemler incelenmiş ve maliyet performansı karşılaştırması geniş bir hipotetik deney seti üzerinde gerçekleştirilmiştir. Test sonuçları "tedarik dönemi" yaklaşımının özellikle düşük sipariş maliyeti altında "min-max" politikasına çok yakın sonuçlar verdiğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Envanter kontrolü, stokastik talep, durağan olmayan, (s,S) politikası, (R,S) politikası.

*Investigation of Cost Performance of Replenishment Cycle Policy under Non-Stationary Demand Assumption*

## **Abstract**

In this study, the well-known policies of inventory management min-max (s,S) and Replenishment Cycle Policy (R,S) under non-stationary demand assumption are compared in terms of cost performance. It is known that the min-max (s,S) policy gives the optimal solution in inventory literature. The main contribution of this work is to identify the cost performance of the Replenishment Cycle Policy (R,S). The related methods of calculation for both policy parameters under the non-stationary demand assumption are investigated and compared with the cost performance over a large hypothetical experiment. Numerical tests show that Replenishment Cycle Policy (R,S) under the low ordering cost assumption has given results that are close to the min-max (s,S) policy.

**Keywords:** Inventory control, stochastic demand, non-stationary, (s,S) policy, (R,S) policy.

## Durağan Olmayan Talep Varsayımı Altında “Tedarik Dönemi” Politikasının Maliyet Performansı Üzerine Bir İnceleme

### 1. Giriş

İşletmelerin temel amaçları müşteri memnuniyeti sağlayabilmek, verimliliği artırabilmek ve uzun vadede kalıcı olabilmektir. Bu nedenle, oluşabilecek iç ve dış talepleri karşılayabilmek amacıyla envanter bulundurulur. Talep dağılımları ise planlama ufkundaki dönemler boyunca değişken olabilmektedir. İşletmeler, bir stok kalemi için beklenen talepleri karşılamak üzere sipariş vermek zorundadır. Sipariş vermenin yaratacağı maliyetin yanısıra, stoksuz kalıp talebi karşılayamaz hale gelmek veya tahmin edilenden az gerçekleşen talep sonucunda depolarda aşırı miktarda stok birikimiyle karşılaşmak ise diğer maliyet kaynaklarını oluşturmaktadır. Bu nedenlerle, oluşturulan envanter planları düşük toplam envanter maliyeti ve müşteri memnuniyeti sağlayabilmenin yanısıra, işletme verimini arttırabilmeli ve yöneticilere uzun vadeli sipariş bilgisi verebilmelidir.

İşletmeler açısından bu kadar hayati değeri olan envanter, önemi dolayısıyla çeşitli araştırmaların kaynağı olmuştur. Harris'in 1915 yılında Ekonomik Sipariş Miktarı modelini (HARRIS, 1915:42) geliştirmesinden bu yana pek çok araştırma yapılmış, pek çok problem tasarlanıp çözüm önerileri sunulmuş ve işletmelerin envanter yapıları pek çok kez modellenmiştir (NADDOR, 1966:16). Ürün sayısına göre, konuma göre, girdi özelliklerine göre, ürün özelliklerine göre, envanter sisteminin zamana bağlı değişken yapısına göre, sipariş yöntemine göre ve amacına göre sınıflandırılabilen yüzlerce model bulunmaktadır (CHIKAN, 1990:107).

Envanter kontrolü ve yönetimi ile ilgili geliştirilen pek çok model, pek çok değişik varsayımdan hareket etmektedir. Bu varsayımlardan biri envantere olan talebin biliniyor olması durumudur. Bu varsayımla geliştirilen modeller basit yapıları dolayısıyla anlaşılır olmakta, en uygun sipariş miktar ve zamanlarının bulunmasını sağlamaktadır.

Oluşturulan modellerin, uygulanabilirliği önemli bir kriterdir. İş dünyası ile ilgili olarak ihmal edilmemesi gereken en yaşamsal unsur, belirsizliklerin çok fazla olduğudur. Hedeflenen envanter miktarını belirleyen ana öğelerden olan talep, gerçekte belirsizdir ve değişkendir. Dolayısıyla, talebin bu durumunu göz önünde bulunduran modeller kullanıma daha uygundur. Bu modeller diğerlerine kıyasla daha karmaşıktır, fakat basitleştirilmiş modeller de optimum değerlere yakın değerler verebilmektedir. Modellerin uygulanabilirlikleri, güvenilirliklerini arttırmaktadır.

İşletmeler, envanter planlarının oluştururken parti büyüklüğünün belirlenmesi konusunda bilinçli ya da bilinçsiz davranabilirler. Bu davranışlar, depolanmış malzeme ve bu malzeme ile ilgili bilgi akışına göre işletme performansının kilit noktasını oluşturur. Envanter ve üretimde parti büyüklüğü konusunda pek çok araştırma bulunmaktadır. Bu araştırmalar bir çok kriterin dikkate alınması sonucu oluşturulmaktadır. Bu çalışmada, temel maliyet kriterlerinin yanısıra, talebin belirsiz ve değişken olduğu durum dikkate alınmaktadır.

Envanter modellerinin ana parametrelerinden biri olan talep farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Talebin deterministik (kesin olarak bilinen) olması veya stokastik (olasılıklı olarak bilinen) olması modelin kuruluşunda veya basitliğinde etkilidir. Deterministik modeller statik ve dinamik olmak üzere ikiye ayrılır. Statik durumda talep miktarı dönemler içerisinde farklılık göstermeyecek, dinamik durumda ise zaman içerisinde talep miktarında değişme olacaktır. Stokastik modelde de durum aynıdır ve eğer talep olasılığı zamanla değişmiyorsa durağan, zaman içerisinde talep olasılığında değişiklik oluyorsa durağan olmayan olarak adlandırılır (TAHA, 1987: 506). Talebin olasılıklı yapı göstermesi daha gerçekçi olmasına karşın kullanımı diğer talep yapılarına oranla zordur (SIPPER / BULFIN, 1997). Envanter kontrolünü sağlamak üzere geliştirilen yöntemler, kullanılan model için en uygun sonuca (optimum sonuca) ulaşan metod, en uyguna yakın sonucu veren metod ve sezgisel metod olmasına göre farklı sınıflandırılmaktadır.

Envanter yönetimi hakkında pek çok politika geliştirilmiş olmasına rağmen iki tip politika ulaştıkları sonuçlar ve işletmelere kazandırdıklarıyla öne çıkmaktadır. Bu politikalardan ilki envanter yöneticilerinin her dönem stok miktarlarını kontrol ederek belirli bir değerin altına düşmesi halinde stok miktarını belirli diğer bir değere ulaştıracak kadar sipariş verilmesini öngören “min-max” (s,S) politikalarıdır. Diğer tip politikalar ise hangi dönemlerde sipariş verilmesi gerektiğini belirleyip, sipariş miktarının önceden bilinen bir değere ulaştıracak kadar olması gerektiğini ifade eden “tedarik dönemi” (R,S) politikalarıdır. Bu politikalardan ilki en uygun toplam envanter maliyetini sağlamasına rağmen, diğer politika, envanter yöneticilerine planlama ufkundaki

dönemlerden hangilerinde sipariş verileceği gibi önemli bir bilgiyi daha planlama aşamasında sunabilmektedir. Bu bilgi ile envanter yöneticilerinin her dönem stoklarını kontrol etme yükümlülükleri ortadan kalkmakta ve yöneticiler envanterin yanısıra, üretim ve istihdam gibi konulara yönelik uzun vadeli ve tutarlı planlar yapma imkanına sahip olmaktadır. Bu avantajlarının yanısıra, (R,S) politikalarının başarısını ortaya koyacak ana etken bu politikayı kullanan yöntemlerin ulaştıkları toplam maliyet değerlerinin, optimum maliyet değerlerine yakınlığı olacaktır.

Scarf, elde bulundurma ve karşılanamayan talep karşısında katlanılması gereken ceza maliyetlerinin doğrusal olması halinde, planlama ufku kapsamında olan her dönem için optimum maliyetin (s,S) modelleri ile bulunabileceğini ispat etmektedir (SCARF, 1960: 196-202). (s,S) modelleri, tüm maliyet ve talep parametreleri değerlerinde optimum maliyete ulaşabilmektedir. Bu modelde her dönem için sipariş noktası (s) ve sipariş-verilecek-üst-stok-düzeyinin (S) belirlenmesi hedeflenmektedir. Eğer bir dönemin başında stok miktarı sipariş noktasının altına düşmüş ise, stok miktarını üst sınıra ulaştırarak kadar sipariş verilmesi gerekmektedir. (s,S) politikaları ile ilgili yapılan en önemli çalışmalar Zheng ve Federgruen'in (1991:654-65) statik talebe yönelik optimum maliyetli çözümü, Ehrhardt'ın (1979:777-786) statik talebe yönelik yaklaşık maliyetli sonuç üreten çözümü ve Silver'in (1978:371-379) dinamik talebe yönelik sezgisel yaklaşımıdır. Zheng-Federgruen, talebin statik olduğu envanter problemlerinin, (s,S) politikası ile çözümü için optimum sonuç veren algoritma geliştirmiştir. Geliştirilen bu algoritma ile, talebin statik olduğu envanter problemlerine yönelik algoritmik sonuç üretilmektedir. Bu algoritmayla uygun (s,S) değerleri bulunmakta ve bu değerler planlama ufkundaki tüm dönemler için kullanılmakta, her dönem için ayrı değerler hesaplanmamaktadır. Böylesine bir durum, envanterle ilgili planlama işlemlerinin daha ilk dönemin başında tamamlanması açısından önemlidir. Fakat stok yönetim politikasının (s,S) olması dolayısıyla her dönem envanter yöneticilerinin stok miktarını kontrol edip s değeriyle kıyaslaması, daha küçük olması durumunda da stok miktarını S'e çıkararak kadar sipariş vermeleri gerekmektedir. Bu durumda yöneticiler bir dönem sonra sipariş verip vermeyeceklerini, verirlerse miktarın ne olacağını o dönemden önce bilememektedir. Ayrıca, Zheng ve Federgruen'in varsaydıkları statik talep işletmeler için gerçekçi değildir. Ehrhardt ve Silver'in önerdikleri yöntemler optimum maliyet yöntemi olan (s,S) politikasını kullanmaktadır. Ehrhardt, (s,S) stok politikasının çözümüne yönelik analitik metod geliştirmiştir iken, Silver'in çalışması Silver ve Meal (1973:64-74) sezgisel yaklaşımını temel alır. Bu sezgisel yaklaşım dönemselsel ortalama maliyeti hesaplamaktadır. Silver çözümleri (s,S) periyodik gözlem politikası kullanarak çözmeye yönelmektedir.

Talebin değişken olması sebebiyle, uygun  $s$  ve  $S$  değerlerinin de sürekli değişmesi beklenmektedir. Fakat Silver böyle bir yaklaşımın işlemleri karmaşıklştıracağını iddia ederek kurulacak modelin çok pratik olmayacağı sonucunu savunmaktadır. Onun yerine, gerçek sonuca ulaşmaktansa yaklaşık sonuç veren formülasyon üretmeye yönelmiştir. Aslında üst stok sınırı( $S$ )'na bağımlı olan sipariş stok seviyesi ( $s$ ), Silver'in sezgisel yaklaşımında bağımsız olarak değerlendirilmektedir.

Dinamik ( $s,S$ ) modeli genel varsayımlar altında maliyet bakımından optimum sipariş planını veriyor olduğu halde, uygulama açısından bazı sakıncaları da taşımaktadır. Bu sakıncaların en başında ( $s,S$ ) modeli altında ileriye dönük planlama yapmanın zorluğu gelmektedir. Yöneticiler hangi dönemde sipariş vereceklerini talep gerçekleşene kadar bilmemekte ve planlarını sürekli revize etmek durumunda kalabilmektedirler. Yapılan planların sürekli revizyona ihtiyaç göstermesi literatürde “tedirginlik” olarak adlandırılmakta ve kimi zaman bir performans kriteri olarak maliyet kadar önem taşımaktadır (DE KOK/INDERFURTH, 1997: 571). Heisig (2000:159-82) ve Inderfurth (1994:113-123) önemli bir tedirginlik bileşeni olarak kurulumdaki istikrarsızlığa işaret etmişlerdir. Benzer şekilde, tedirginliğin önlenmesine yönelik olarak, Blackburn vd. (1986:413-429) kurulum dönemlerinin önceden belirlenmesi ve sabitlemesine dayanan bir yaklaşım önermişlerdir. Bu çalışmalar kurulum veya sipariş dönemlerini planlama ufku başında sabitleyen ve planlama ufku boyunca gerçekleşen talep belirsizliği ile baş edebilen modellerin önemine işaret etmektedir.

Sipariş dönemlerini planlama ufku başında sabitleyen ve talep belirsizliği ile baş edebilen politikalar arasında Bookbinder ve Tan (1988: 1096-1108) tarafından önerilmiş olan sezgisel yaklaşım önemli bir yer tutmaktadır. Servis düzeyi esas alınarak geliştirilen bu sezgisel yaklaşım iki aşamalıdır. İlk aşamada sipariş dönemleri ( $R$ ) sabitlenmekte, ikinci aşamada ise sabitlenen sipariş dönemleri için sipariş-verilecek-üst-stok-düzeyleri ( $S$ ) hesaplanmaktadır. Bu yaklaşımda, sipariş zamanları ve sipariş-verilecek-üst-stok-düzeyleri arasındaki bağımlılık ihmal edilmiştir. Tarım ve Kingsman (2004:105-119) ise bu bağımlılık ilişkisini dikkate alarak, servis düzeyi kısıtı altında, optimal planı verecek olan bir model önermişlerdir. Bu iki çalışmada önerilen modeller “dinamik ( $R,S$ )” modelleri olarak sınıflandırılabilir. Bu çalışmalar çizgisinde olup, servis düzeyi yerine ceza maliyetini esas alan bir çalışma ise Tarım ve Kingsman (2005)'dir. Bahsedilen bu modeller maliyet bakımından yaklaşık olarak optimal planı vermiyor olmalarına karşın sipariş dönemlerini planlama ufku başında sabitlemeleri sebebiyle kurulumdaki istikrarsızlığa karşı da bağımsızlık taşımaktadırlar.

Yapılan çalışma 5 bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde, problem tanımı verilmiştir. Dinamik (s,S) ve dinamik (R,S) politikalarının çözüm yöntemleri üçüncü bölümde sunulmaktadır. Dördüncü bölümde, sayısal yöntem tanıtılarak nümerik sonuçlara yer verilmiştir. Son bölümde sonuçlar tartışılmakta ve daha sonraki çalışmalara yönelik öneriler sunulmaktadır.

## 2. Problem Tanımı

Yapılan çalışmada, t dönemindeki talep olarak ifade edilen  $d_t$ ,  $g_t(d_t)$  olasılık dağılım fonksiyonuna bağlı rassal talep değişkenidir ve t döneminin başında ortaya çıkmaktadır. Her dönemde oluşan talep, diğerinden bağımsızdır ve bunların ortalamaları birbirlerinden farklı olabilmektedir. Bir dönemden diğerine geçerken, elde kalan stokların birim elde bulundurma maliyeti,  $c_h$ 'dir. Verilen her siparişin, büyüklüğüne bakılmaksızın, sipariş maliyeti  $c_o$ 'dur. Karşılanamayan talep için, sabit ceza maliyeti  $c_p$ 'dir. Stok düzeyinin üst-stok-seviyesini aştığı durumlarda, bu fazla stok miktarı bir sonraki gözden geçirme dönemine aktarılmaktadır; ancak, bu tip olaylarla seyrek şekilde karşılaşıldığı için, aşırı stok miktarı göz ardı edilmektedir.

Stokastik talep altındaki, çok dönemli üretim / envanter problemlerinde, t dönemi sonunda elde kalan stok miktarı,  $X_t$ 'nin, negatif olmadığını ve hangi dönemlerde sipariş verilmesi gerektiğini bulan; N planlama ufku için beklenen toplam maliyeti gösteren fonksiyon, aşağıdaki gibidir (TARIM / KINGSMAN, 2005).

$$E\{TM\} = \int \dots \int \sum_{d_1, d_2, \dots, d_N}^{t=1} (c_o \delta_t + c_h I_t^+ + c_p I_t^-) g_1(d_1) \dots g_N(d_N) d(d_1) \dots d(d_N) \quad (2.1)$$

Kısıtlar ise şöyledir:

$$X_t - M \delta_t \leq 0 \quad t=1, \dots, N \quad (2.2)$$

$$I_t = \sum_{i=1}^t (X_i - d_i) \quad t=1, \dots, N \quad (2.3)$$

$$I_t^+ = \max(0, I_t) \quad t=1, \dots, N \quad (2.4)$$

$$I_t^- = -\min(0, I_t) \quad t=1, \dots, N \quad (2.5)$$

$$X_t, I_t^+, I_t^- \geq 0, \quad I_t \in \mathbb{R}, \quad \delta_t \in \{0,1\} \quad t=1, \dots, N \quad (2.6)$$

$d_t$  : t dönemindeki talep,  $g_t(d_t)$  olasılık dağılım fonksiyonuna bağlı rassal talep değişkeni,

$c_o$  : sipariş maliyeti,

$c_h$  : elde bulundurma maliyeti,

$c_p$  : ceza maliyeti,

$\delta_t$  : sipariş verilen dönemlerde 1, diğer dönemlerde 0 değerini alan değişken,

$I_t$  : kapanış stoğu miktarı,  $-\infty < I_t < +\infty, I_0 = 0$ ,

$I_t^+$  : t dönemi sonunda kalan ve diğer döneme aktarılan stok miktarı,  $0 \leq I_t^+$ ,

$I_t^-$  : t dönemi sonunda stoksuz kalma durumu, negatif stok miktarı,  $0 \leq I_t^-$ ,

$X_t$  : t dönemi sonunda elde kalan stok miktarı,

M : Çok büyük pozitif bir sayı.

Bu kısıtlar altında, m adet sipariş döneminin olduğu bir sistemde, bu sipariş dönemleri  $\{T_1, T_2, \dots, T_m\}$  ile ifade edilecektir. Bu dönemlerle ilgili:

$T_j \geq T_{j-1}$  ve  $T_m \leq N$  geçerlidir.

Bu tanıma göre, her döneme ait  $X_t$  sipariş miktarları,  $T_1, T_2, \dots, T_m$  sipariş dönemleri dışında 0 olacaktır. Bir dönemden diğerine aktarılan stok miktarı ise 2.3'deki şekilde ifade edilmektedir:

### 3. Dinamik (s,S) ve (R,S) Politikalarının Hesaplanması

Dinamik (s,S) politikalarının hesaplanmasında Bollafragada ve Morton'da (1999:576-584) verilmiş olan algoritma kullanılacaktır. Bu yaklaşım aşağıda verilmiş olan dinamik programlama formülasyonu üzerine kurulmuştur:

$$J_{t,N}(i) = \min\{L_t(i) + E(J_{t+1,N}(i - d_t)), c_o + L_t(S_t) + E(J_{t+1,N}(S_t - d_t))\}, \quad t = 1, \dots, N \quad (3.1)$$

$$J_{N+1,N}(i) = 0$$

Burada,  $i$  açılış envanter düzeyini,  $J_{t,N}(i)$  fonksiyonu  $t$  dönemi boyunca oluşan toplam beklenen maliyeti, ve  $L_t(i)$  fonksiyonunda açılış stok seviyesinin  $i$  olduğu durumda o dönem için beklenen maliyeti göstermektedir.

Dinamik programlamanın her adımında bulunan çözümde Scarf'ın  $K$ -Kovex özelliğinden faydalanılmaktadır. Sadece dönem  $t$  dikkate alındığında, kullanılan nümerik yaklaşımda,  $S$  için üst sınır teşkil eden bir  $i$  değeriyle başlanır. Her iterasyonda  $i$  değeri bir birim azaltılır ve  $G_t(i)=L_t(i)+E(J_{t+1,N}(i-d_t))$ 'nin bu noktadaki değeri hesaplanır. İterasyonlar sırasında  $G_t(i)$  için elde edilen her lokal minimum, optimum sipariş-verilecek-üst-stok-düzeyi ( $S_t$ ) için aday değerdir. Her yeni lokal optimum bulundukça mevcut optimum  $S_t$  değeri  $i$  olacak şekilde güncellenir. İterasyonlar sırasında  $G(i)-G(S_t) > c_o$  koşulunun sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir. Bu eşitsizliğin sağlandığı  $i$  değeri  $K$ -Konvex koşulunun sağlanmadığı ilk noktadır ve algoritma son bulur. Algoritma sonlandığında, en son elde edilmiş olan  $S_t$  değeri optimum sipariş-verilecek-üst-stok-düzeyini göstermektedir. İterasyonlara son verilen  $i$  değeri ise optimum sipariş noktasına ( $s_t$ ) karşılık gelmektedir. Yukarıda verilen adımlar sondan başa doğru her dönem için yinelenir. Birinci dönem için hesaplamalar bittiğinde  $N$  dönem için optimal dinamik  $(s,S)$  politikası elde edilmiş olur.

Her ne kadar  $(s,S)$  politikası ile optimum beklenen maliyetli tedarik planı elde edilmiş olsa da, bu şartlar altında planlama yapmanın güçlüğü ortadadır. Yöneticiler hangi dönemde sipariş vereceklerini talep gerçekleşene kadar bilmemektedir. Bu tür planlama güçlüğüne getirdiği zorlukları hafifletmekte kullanılabilir bir politika olan Tarım ve Kingsman'nın (2005) önerdiği  $(R_t, S_t)$  politikası aşağıda sunulmuştur.

Tarım ve Kingsman, sipariş zamanı ve miktarlarının birlikte tespit edileceği, dolayısıyla bu iki unsurun birbirine bağımlılığının ihmal edilmediği bir yöntem önermektedir. Bu yöntemin minimum değer hedeflenen amaç fonksiyonu eşitsizlik (3.2) de görülebilmektedir. Doğrusal olmayan amaç fonksiyonu parçalı doğrusal yakınsama kullanılarak doğrusal hale getirilmiştir. Bu yakınsamanın gerçek maliyet fonksiyonuna daha yakın sonuç vermesi için parçalı doğrusal yakınsamada içerilen kırılma noktalarının sayısının artırılması gerekir. Aşağıda verilmiş olan matematiksel programlama modelinde sadece tek bir kırılma dikkate alınmıştır, Esitsizlik (3.9). Ek her bir kırılma için, karar değişkenlerinin sayısı aynı kalmak üzere, eşitsizlik (3.9) formatında fakat farklı katsayıları olan yeni bir kısıt şetine ihtiyaç vardır. Ortaya konulan Karışık Tam Sayı Programlama modeli,  $N$  planlama ufku için, sipariş zamanları ve bunlara karşılık gelen sipariş seviyeleri cinsinden yaklaşık olarak optimal tedarik planını verir. Uygunluk açısından birim maliyetler 0 alınmıştır.



$$\min E\{TM\} = \sum_{t=1}^N (c_o \delta_t + c_h \bar{I}_t^+ + c_p \bar{I}_t^- + Q_t) \quad (3.2)$$

s.t. (t=1,...,N)

$$\bar{I}_t = S_t - \bar{d}_t \quad (3.3)$$

$$S_t \geq \bar{I}_{t-1} \quad (3.4)$$

$$S_t \leq M \delta_t + \bar{I}_{t-1} \quad (3.5)$$

$$\bar{I}_t^+ \geq \bar{I}_t, \quad \bar{I}_t^- \geq -\bar{I}_t, \quad \bar{I}_t - \bar{I}_t^+ + \bar{I}_t^- = 0 \quad (3.6)$$

$$\sum_{j=1}^t P_{ij} = 1 \quad (3.7)$$

$$P_{ij} \geq \delta_{t-j+1} - \sum_{k=t-j+2}^t \delta_k, \quad j=1, \dots, t \quad (3.8)$$

$$Q_t \geq (h + s)(0.362 \sum_{j=1}^t P_{ij} \xi_{ij} - 0.260(\bar{I}_t^+ + \bar{I}_t^-)) \quad (3.9)$$

$$Q_t, \bar{I}_t^+, \bar{I}_t^- \geq 0, \quad -\infty < S_t, \bar{I}_t < +\infty, \quad \delta_t, P_{ij} \in \{0,1\} \quad (3.10)$$

Bu model kullanılarak, planlama ufku başında, sipariş dönemleri ve bu sipariş dönemlerindeki sipariş miktarları aynı anda bulunabilmektedir.

#### 4. Sayısal Yöntem

Bu araştırmada maliyet performansları gözönünde bulundurularak karşılaştırılacak iki model yer almaktadır. Bu modellerden ilki, her dönem, stokları kontrol ederek bulunan s değerine göre sipariş verilir verilmeyeceğini kararlaştıran ve optimum maliyet değerini veren dinamik (s,S) modelidir. Bollapragada ve Morton (1999: 576-584) tarafından verilmiş olan bu dinamik programlama metodu, Pascal programlama diline uyarlanmış ve bu program kullanılarak dinamik (s,S) için optimal maliyet ile s ve S değerleri bulunmuştur.

Araştırmada sunulan ikinci model, Tarım ve Kingsman (2005) tarafından önerilen dinamik (R,S) modelidir. Bu model, N planlama ufku için sipariş zamanları ve bunlara karşılık gelen sipariş seviyeleri cinsinden yaklaşık olarak

optimal tedarik planını vermektedir. Burada, doğrusal olmayan maliyet fonksiyonu, parçalı doğrusal yaklaşım yöntemiyle doğrusal hale getirilmiş ve denk bir karışık tamsayı programlama modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen bu matematiksel model, "OPL Studio" paket programı ile çözülmüştür.

Yukarıda bahsedilen modelleri karşılaştırmak amacıyla,  $c_h$ ,  $c_o$ ,  $c_p$ ,  $\sigma / \mu$  parametreleri ve beklenen talep değerleri değiştirilerek toplam 144 problem den oluşan bir test yatağı oluşturulmuştur. Test yatağı oluşturulurken  $Ch=\{1\}$ ,  $Co=\{64,100,130,200,400,1000\}$ ,  $Cp=\{9,15,50\}$ ,  $\sigma / \mu = \{0.1, 0.25\}$  ve planlama dönemi  $N=20$  değerlerini almıştır. Talep değerleri olarak dört adet veri kümesi kullanılmıştır. Bu veri kümeleri, envanter yönetimi konusunda çeşitli çalışmaları olan W.L. Berry'nin (BERRY, 1972:19-34) kullandığı dört adet veri kümesidir (Tablo 1).

*Tablo 1: Talep Kümeleri*

Dönem	D	S	Y	O
1	100	138	10	101
2	100	165	10	83
3	100	175	20	347
4	100	165	45	99
5	100	138	70	63
6	100	100	125	272
7	100	63	180	456
8	100	35	215	307
9	100	25	250	185
10	100	35	260	105
11	100	63	270	72
12	100	100	290	407
13	100	138	300	75
14	100	165	250	403
15	100	175	230	157
16	100	165	135	124
17	100	138	80	105
18	100	100	40	78
19	100	63	20	49
20	100	35	15	75

Bu veri kümelerinin ilkinde, ortalama talep her dönem için sabit ve birbirine eşittir. Durağan bir yapı gösteren bu veri kümesi "D" ile ifade edilmektedir. İkinci veri kümesinde, ortalama talep sinüs dalgası şeklindedir ve

"S" ile ifade edilmektedir. Üçüncü veri kümesinde, ortalama talep dönemler boyunca artmakta ve son dönemlere yaklaştıkça hızla düşmekte olan yaşam eğrisi biçiminde ve "Y" ile ifade edilmektedir. Son veri kümesinde ise, ortalama talep, her dönem çok farklı değerler almakta ve oynak bir yapı göstermektedir, bu nedenle burada talep kümesi "O" harfi kullanılarak ifade edilmiştir.

Tüm test problemlerin çözümleri Ek'de verilmiştir. Her tabloda öncelikle kullanılan talep veri kümesini temsil eden talep tipinin baş harfi ve problemin numarası yer almaktadır. Takip eden sütunlarda sırasıyla, elde tutma maliyeti, ceza maliyeti, sipariş maliyeti ve varyasyon katsayısı değerleri bulunmaktadır. Bunları takip eden sütunlarda ise, (s,S) ve (R,S) politikalarının beklenen toplam maliyet değerleri ve son sütunda ise, (R,S) politikalarının optimalden sapmaları yüzde (%) olarak listelenmiştir.

Çözülen 144 problemin 5'inde (s,S) ve (R,S) aynı maliyet değerlerine (S3, S4, S7, S8, S10) ulaşmaktadır.

Talep tipinden bağımsız olarak, (R,S) politikasının (s,S) karşısında gösterdiği % sapmanın ortalamasına ve standart sapmasına bakıldığında, ilgili ortalama (standart sapması) değerleri (R,S) için 2.40% (0.022) olarak hesaplanmıştır.

Talep tipleri ayrı ayrı gözönüne alınarak, herbir talep deseni için yapılan incelemede, (R,S) politikasının (s,S) karşısında gösterdiği % sapmanın ortalaması (standart sapması) ve maliyet farkları 5% ve 1% altında bulunan durumların sayısı Tablo 2'de sunulmuştur. Sonuçlar (R,S) politikasının performansının (s,S)'e yakınlığını göstermektedir.

*Tablo 2: Talep Desenlerine Göre Model Performansları ve Maliyet Farkları 5% ve 1% 'in Altında Olan Durumlar*

	(s,S) vs (R,S) Avg (Stdev)	Maliyet farkları 5% (1%) 'in altında olan durum sayıları
		(s,S) vs (R,S)
(D1-D36)	1.23% (0.01)	36 (22)
(S1-S36)	2.60% (0,02)	29 (12)
(Y1-Y36)	1.99% (0.01)	33 (13)
(O1-O36)	3.95% (0.02)	24 (5)

Sipariş maliyetlerine bakılarak (Rt,St) politikasının (st,St) karşısında gösterdiği sapmaların ortalaması ve standart sapması Tablo 3'de verilmiştir.

Sipariş maliyeti arttıkça sapmanın belirli bir noktaya kadar arttığı daha sonra ise düşmeye başladığı gözlenmiştir. Sipariş maliyetinin artmasının doğal sonucu, sipariş verme aralıklarının uzamasıdır. Bu da talep belirsizliğinin kümülatif etkisinin artması anlamına gelir. Talep belirsizliğinin arttığı koşullar ise envanter sistemini daha iyi kontrol etme imkanına sahip olan  $(s,S)$  için avantaj yaratmaktadır. Buradaki dikkat çekici nokta, sipariş maliyeti çok yüksek değerlere ulaştığında sapmada gözlenen düşüştür. Bu gözlem, sipariş maliyetindeki artışın sapmayı ancak belirli bir noktaya kadar arttırdığını, daha sonra ise azaltıcı etki yaptığını gösterebilmektedir. Bu durumun nedenini anlayabilmek için sipariş maliyetinin sonsuza yaklaştığı limit durumu incelenmelidir. Sonsuz sipariş maliyeti durumunda her iki politikada hiç sipariş verilmeyecektir ve böylece iki politikanın da beklenen maliyetleri aynı olacaktır. Diğer bir deyişle sapma limit durumunda ortadan kalkmaktadır.

*Tablo 3 : Sipariş Maliyetlerine Göre  $(R,S)$ 'in  $(s,S)$  Karşısındaki Performansı*

$(s,S)$ vs $(R,S)$ , Avg (Stdev)	
Co=64	1.77% (0.01)
Co=100	2.07% (0.01)
Co=130	2.35% (0.02)
Co=200	2.66% (0.02)
Co=400	3.14% (0.02)
Co=1000	2.67% (0.02)

Tablo 4'de ceza maliyetlerine göre  $(R,s,S)$  ve  $(R,S)$  politikalarının gösterdikleri performans verilmiştir. Ceza maliyetindeki artış, sistemin daha etkin şekilde kontrol edilmesi ihtiyacını doğurmaktadır. Bunun sonucu olarak, sipariş maliyetlerinde yapılan değerlendirmeye paralel olarak,  $(s,S)$  politikası  $(R,S)$  politikasına kıyasla daha avantajlı konumdadır.

*Tablo 4: Ceza Maliyetlerine Göre  $(R,S)$ 'in  $(S,S)$  Karşısındaki Performansı*

$(s,S)$ vs $(R,S)$ , Avg (Stdev)	
Cp=9	1.63% (0.01)
Cp=15	1.96% (0.01)
Cp=50	3.73% (0.02)

Tablo 5, varyasyon katsayısına bağlı olarak politikaların maliyet performansını göstermektedir. Belirsizliğin artması, sistemin daha sık kontrol edilerek düzenlenmesi ihtiyacını yaratmaktadır. Bunun sonucu olarak varyasyon katsayısındaki artış (R,S) için optimalden sapmaların büyümesi anlamına gelmektedir.

Tablo 5 : Varyasyon Katsayısına Göre (R,S)'in (S,S) Karşısındaki Performansı

(s,S) vs (R,S), Avg (Stdev)	
$\sigma / \mu = 0.1$	0.88% (0.00)
$\sigma / \mu = 0.25$	4.00% (0.02)

Yapılan çalışmaya tüm nümerik testler çerçevesinde bakıldığında, dinamik (R,S) modelinin iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu model, incelenen tüm talep desenleri ve maliyet değerleri karşısında; maliyet performansı bakımından optimum maliyet değerlerine yakın sonuçlara ulaşabilmektedir. Ayrıca, dinamik (R,S) politikası, sipariş dönemlerini ve sipariş miktarlarını planlama ufku başında belirleyebilmesi nedeniyle, tedirginlik performansı bakımından dinamik (s,S)'e göre, daha başarılıdır.

## 5. Sonuç

(s,S) politikaları, (R,S) politikalarından farklı olarak tüm maliyet ve talep parametreleri değerlerinde optimum maliyete ulaşabilmektedir. Bu politikada her dönem için alt ve üst stok sınırlarının belirlenmesi hedeflenmektedir. Eğer bir dönemin başında stok miktarı alt sınırın altına düşmüş ise, stok miktarını üst sınıra ulaştırarak kadar sipariş vermek gerekmektedir. Her ne kadar bu politika ile optimum maliyete ulaşılsa da, envanter yöneticileri belirsizliğe katlanmak zorundadır. Yöneticiler hangi dönemde sipariş vereceklerini sipariş dönemi gelmeden bilememekte, sipariş miktarını da ancak o dönemde belirleyebilmektedir. De Kok ve Inderfurth yaptıkları çalışmada (s,S) politikalarının (R,S) politikalarından daha tedirgin olduklarını ifade etmiştir (DE KOK / INDERFURTH, 1997: 571). Tarım ve Kingsman'ın sipariş dönemlerini önceden belirleyen, bu sipariş zamanlarında da hangi üst sınıra kadar sipariş verilmesi gerektiğini tespit eden yöntemi ise, (R,S) politikası kapsamında optimum maliyet değerlerine ulaşabilmektedir.

(s,S) politikaları, optimum envanter maliyet değerlerine ulaşmalarına rağmen, yapıları nedeniyle tedirgin sistemlerdir; planlama ufkunun başında envanter yöneticilerinin ne zaman ve ne kadar sipariş verecekleri konusunda en ufak bir bilgi içermezler. Bu nedenle envanter yöneticileri her dönem stoklarını takip etmek ve dönemin başlangıç stok miktarlarını o döneme ait s değeriyle kıyaslamak zorundadır. Bu tür kıyaslamaların yapılabilmesi için işletmeler, mali kaynak ayırmak zorunda kalacak, bir kısım personeli de bu işle görevlendirecektir. Sonuçta stok miktarlarının takip ve kontrolünü sağlayabilmek için farklı maliyet türlerinin de karşılanabilmesi gerekecektir. Bu maliyetlerin de çalışmalara parametre olarak eklenmesi, (s, S) politikalarının maliyet konusundaki başarısını sınamak için önemli bir çaba olacaktır.

Dinamik talep için optimum maliyet değerlerine ulaşan (s, S) politikası yöntemi ile Tarım ve Kingsman'ın çalışmaları kıyaslandığında, Tarım ve Kingsman'ın yönteminin ulaştığı sonuçların, optimal maliyetlere yakın olduğu ortaya çıkmaktadır.

Hangi dönemde, hangi üst sınıra kadar sipariş verilmesi gerektiğini, planlama ufkundan önce belirleyen Tarım ve Kingsman'ın çalışmasında yer alan dinamik (R,S) politikası işletmeleri tedirginlikten uzaklaştıracak potansiyele sahiptir. Optimum maliyet değerlerine oldukça yakın sonuçlar üretebilmesi nedeniyle, bir envanter planının içermesi gereken düşük maliyet kriterini önemli ölçüde sağlamaktadır. Bu çalışmanın temel eksikliği ise oluşturulan yöntemin, sipariş verilmesi planlanan dönemde sipariş vermeye mutlaka yönelmesidir. Bunun yerine, belirlenebilecek bir s değeri ile ancak o değer altına düşüldüğünde sipariş verilmesi toplam sipariş maliyetini düşürücü etki gösterebilecektir.

## Kaynakça

- BLACKBURN, D. Joseph/ KROPP, H. Dean / MILLEN Robert (1986), "A Comparison of Strategies to Dampen Nervousness in MRP Systems," *Management Science*, 32: 413-429.
- BERRY, William (1972), "Lot Sizing Procedures for Requirements Planning Systems: A Framework for Analysis," *Production and Inventory Management*, 2:19-34.
- BOLLAPRAGADA, Srinivas/ MORTON, Thomas (1999), "A Simple Heuristic for Computing Nonstationary (s,S) Policies," *Operations Research*, 47: 576-584.
- BOOKBINDER, James / TAN, Jin-Yan (1988), "Strategies for the Probabilistic Lot-sizing Problem with Service-level Constraints," *Management Science*, 34:1096-1108.
- CHIKAN, Attila (1990), *Inventory Models* (London: Springer).
- DE KOK, Ton / INDERFURTH, Karl (1997), "Nervousness in Inventory Management: Comparison of Basic Control Rules," *European Journal of Operational Research*, 103: 55-82.
- EHRHARDT, Richard (1979) "The Power Approximation for Computing (s, S) Inventory Policies," *Management Science*, XXV, 8:777-786.
- HARRIS, F.W. (1915), "Operation and Cost," *Factory Management Series*, 48-52.

- HEISIG, Gerald (2001), "Comparison of (s,S) and (s,nQ) Inventory Control Rules with Respect to Planning Stability," *International Journal of Production Economics*, 73:59-82.
- INDEFURTH, Karl (1994), "Nervousness in Inventory Control," *OR Spectrum*, 16:113-123.
- NADDOR, Eliezer (1966), *Inventory Systems* (New York: John Wiley & Sons).
- SCARF, Herbert (1960), "The Optimality of (s,S) Policies in the Dynamic Inventory Problem," ARROW, K.J. / KARLIN, S. / SUPPES, P. (eds.), *Mathematical Methods in the Social Sciences 1959* (Stanford: Stanford University Press:196-202).
- SILVER, A. Edward / MEAL, H.C. (1973), "A Heuristic for Selecting Lot Size Requirements for the Case of a Deterministic Time-Varying Demand Rate and Discrete Opportunities for Replenishment," *Production and Inventory Management*, XIV, 2:64:74.
- SILVER, Edward (1978), "Inventory Control Under a Probabilistic Time Varying, Demand Pattern," *AIE Transactions*, 371-379.
- SIPPER, Daniel / BULFIN, Robert L.(1997), *Production Planning, Control and Integration* (USA: McGraw-Hill).
- TAHA, A. Hamdy (1987) *Operations Research an Introduction* (New York: Mac Millen Publishing Company, Fourth Edition).
- TARIM, S. Armagan / KINGSMAN, G. Brian (2004), "The Stochastic Dynamic Production/Inventory Lot-sizing Problem with Services-level Constraints," *International Journal of Production Economics*, 88:105-119.
- TARIM, S. Armagan / KINGSMAN, G. Brian (2005), "Modeling and Computing ( $R$ ,  $S$ ) Policies for Inventory Systems with Non-stationary Stochastic Demand," *European Journal of Operational Research*, accepted for publication.
- ZHENG, Yu-Sheng / FEDERGRUEN, A. (1991), Finding Optimal (s, S) Policies is About as Simple as Evaluating a Single Policy," *Operations Research*, XXXIX, 4:654-665.

**EK:**

	Ch	Cp	Co	Var.Kat. (s,S)	(R,S)	(s,S) vs (R,S)		Ch	Cp	Co	Var.Kat. (s,S)	(R,S)	(s,S) vs (R,S)		
D1	1	9	64	0.1	1630	1631	0.06%	S1	1	9	64	0.1	1582	1584	0.13%
D2	1	9	100	0.1	2350	2351	0.04%	S2	1	9	100	0.1	2174	2177	0.14%
D3	1	9	130	0.1	2696	2696	0.00%	S3	1	9	130	0.1	2602	2606	0.15%
D4	1	9	200	0.1	3396	3396	0.00%	S4	1	9	200	0.1	3386	3391	0.15%
D5	1	9	400	0.1	5100	5101	0.02%	S5	1	9	400	0.1	4902	4934	0.65%
D6	1	9	1000	0.1	8354	8357	0.04%	S6	1	9	1000	0.1	7956	7990	0.43%
D7	1	15	64	0.1	1672	1672	0.00%	S7	1	15	64	0.1	1630	1633	0.18%
D8	1	15	100	0.1	2392	2392	0.00%	S8	1	15	100	0.1	2224	2230	0.27%
D9	1	15	130	0.1	2764	2766	0.07%	S9	1	15	130	0.1	2656	2667	0.41%
D10	1	15	200	0.1	3466	3466	0.00%	S10	1	15	200	0.1	3462	3474	0.35%
D11	1	15	400	0.1	5186	5194	0.17%	S11	1	15	400	0.1	4998	5043	0.89%
D12	1	15	1000	0.1	8502	8507	0.06%	S12	1	15	1000	0.1	8120	8166	0.56%
D13	1	50	64	0.1	1760	1783	1.29%	S13	1	50	64	0.1	1728	1762	1.93%
D14	1	50	100	0.1	2480	2503	0.92%	S14	1	50	100	0.1	2326	2363	1.57%
D15	1	50	130	0.1	2898	2915	0.58%	S15	1	50	130	0.1	2764	2810	1.64%
D16	1	50	200	0.1	3606	3614	0.22%	S16	1	50	200	0.1	3604	3647	1.18%
D17	1	50	400	0.1	5350	5384	0.63%	S17	1	50	400	0.1	5162	5261	1.88%
D18	1	50	1000	0.1	8717	8765	0.54%	S18	1	50	1000	0.1	8374	8505	1.54%
D19	1	9	64	0.25	2154	2158	0.19%	S19	1	9	64	0.25	2130	2168	1.75%
D20	1	9	100	0.25	2870	2878	0.28%	S20	1	9	100	0.25	2696	2768	2.60%
D21	1	9	130	0.25	3236	3290	1.64%	S21	1	9	130	0.25	3120	3214	2.92%
D22	1	9	200	0.25	3940	3990	1.25%	S22	1	9	200	0.25	3912	4049	3.38%
D23	1	9	400	0.25	5556	5703	2.58%	S23	1	9	400	0.25	5442	5663	3.90%
D24	1	9	1000	0.25	8698	8909	2.37%	S24	1	9	1000	0.25	8514	8976	5.15%
D25	1	15	64	0.25	2258	2262	0.18%	S25	1	15	64	0.25	2242	2294	2.27%
D26	1	15	100	0.25	2974	2982	0.27%	S26	1	15	100	0.25	2812	2900	3.03%
D27	1	15	130	0.25	3388	3466	2.25%	S27	1	15	130	0.25	3244	3360	3.45%
D28	1	15	200	0.25	4100	4165	1.56%	S28	1	15	200	0.25	4072	4253	4.26%
D29	1	15	400	0.25	5750	5936	3.13%	S29	1	15	400	0.25	5624	5912	4.87%
D30	1	15	1000	0.25	8972	9273	3.25%	S30	1	15	1000	0.25	8770	9191	4.58%
D31	1	50	64	0.25	2478	2550	2.82%	S31	1	50	64	0.25	2486	2623	5.22%
D32	1	50	100	0.25	3196	3270	2.26%	S32	1	50	100	0.25	3058	3234	5.44%
D33	1	50	130	0.25	3692	3829	3.58%	S33	1	50	130	0.25	3496	3702	5.56%
D34	1	50	200	0.25	4418	4528	2.43%	S34	1	50	200	0.25	4370	4659	6.20%
D35	1	50	400	0.25	6108	6411	4.73%	S35	1	50	400	0.25	5954	6396	6.91%
D36	1	50	1000	0.25	9430	9914	4.88%	S36	1	50	1000	0.25	9194	9994	8.00%
	Ch	Cp	Co	Var.Kat. (s,S)	(R,S)	(s,S) vs (R,S)		Ch	Cp	Co	Var.Kat. (s,S)	(R,S)	(s,S) vs (R,S)		
Y1	1	9	64	0.1	1622	1624	0.12%	O1	1	9	64	0.1	1870	1884	0.74%
Y2	1	9	100	0.1	2150	2154	0.19%	O2	1	9	100	0.1	2464	2493	1.16%
Y3	1	9	130	0.1	2570	2574	0.16%	O3	1	9	130	0.1	2904	2944	1.36%
Y4	1	9	200	0.1	3482	3487	0.14%	O4	1	9	200	0.1	3770	3839	1.80%
Y5	1	9	400	0.1	5292	5302	0.19%	O5	1	9	400	0.1	5678	5725	0.82%



Y6	1	9	1000	0.1	8812	8822	0,11%	O6	1	9	1000	0.1	9928	9950	0,22%
Y7	1	15	64	0.1	1682	1686	0,24%	O7	1	15	64	0.1	1942	1955	0,66%
Y8	1	15	100	0.1	2214	2224	0,45%	O8	1	15	100	0.1	2542	2570	1,09%
Y9	1	15	130	0.1	2636	2644	0,30%	O9	1	15	130	0.1	2984	3041	1,87%
Y10	1	15	200	0.1	3556	3567	0,31%	O10	1	15	200	0.1	3864	3952	2,23%
Y11	1	15	400	0.1	5400	5450	0,92%	O11	1	15	400	0.1	5800	5890	1,53%
Y12	1	15	1000	0.1	9026	9042	0,18%	O12	1	15	1000	0.1	10148	10198	0,49%
Y13	1	50	64	0.1	1810	1854	2,37%	O13	1	50	64	0.1	2094	2153	2,74%
Y14	1	50	100	0.1	2346	2401	2,29%	O14	1	50	100	0.1	2698	2774	2,74%
Y15	1	50	130	0.1	2770	2821	1,81%	O15	1	50	130	0.1	3142	3223	2,51%
Y16	1	50	200	0.1	3706	3761	1,46%	O16	1	50	200	0.1	4032	4197	3,93%
Y17	1	50	400	0.1	5606	5692	1,51%	O17	1	50	400	0.1	6012	6223	3,39%
Y18	1	50	1000	0.1	9302	9378	0,81%	O18	1	50	1000	0.1	10420	10621	1,89%
Y19	1	9	64	0.25	2332	2368	1,52%	O19	1	9	64	0.25	2766	2829	2,23%
Y20	1	9	100	0.25	2860	2914	1,85%	O20	1	9	100	0.25	3312	3444	3,83%
Y21	1	9	130	0.25	3270	3330	1,80%	O21	1	9	130	0.25	3706	3880	4,48%
Y22	1	9	200	0.25	4198	4286	2,05%	O22	1	9	200	0.25	4528	4867	6,97%
Y23	1	9	400	0.25	6042	6221	2,88%	O23	1	9	400	0.25	6480	6962	6,92%
Y24	1	9	1000	0.25	9604	9873	2,72%	O24	1	9	1000	0.25	10868	11363	4,36%
Y25	1	15	64	0.25	2480	2527	1,86%	O25	1	15	64	0.25	2962	3046	2,76%
Y26	1	15	100	0.25	3008	3081	2,37%	O26	1	15	100	0.25	3510	3673	4,44%
Y27	1	15	130	0.25	3428	3499	2,03%	O27	1	15	130	0.25	3902	4108	5,01%
Y28	1	15	200	0.25	4356	4470	2,55%	O28	1	15	200	0.25	4724	5100	7,37%
Y29	1	15	400	0.25	6266	6470	3,15%	O29	1	15	400	0.25	6706	7295	8,07%
Y30	1	15	1000	0.25	9982	10320	3,28%	O30	1	15	1000	0.25	11184	11784	5,09%
Y31	1	50	64	0.25	2792	2948	5,29%	O31	1	50	64	0.25	3384	3599	5,97%
Y32	1	50	100	0.25	3324	3502	5,08%	O32	1	50	100	0.25	3932	4249	7,46%
Y33	1	50	130	0.25	3740	3936	4,98%	O33	1	50	130	0.25	4316	4683	7,84%
Y34	1	50	200	0.25	4676	4899	4,55%	O34	1	50	200	0.25	5128	5660	9,40%
Y35	1	50	400	0.25	6702	7016	4,48%	O35	1	50	400	0.25	7118	8008	11,11%
Y36	1	50	1000	0.25	10512	11141	5,65%	O36	1	50	1000	0.25	11702	12689	7,78%