

## PARANIN ZAMAN DEĞERİ ÇERÇEVESİNDE STOK MALİYETLERİ VE SİPARİŞ KARARLARI

*Mustafa ÇİMEN\**   
*Gözdem DURAL SELÇUK\*\**   
*Şule TARIM\*\*\** 

Alınma: 09.03.2019; düzeltme: 20.10.2020; kabul: 30.10.2020

**Öz:** Bu makalede; net bugünkü değer yaklaşımı uygulanarak elde edilen, paranın zaman değerini dikkate alan ekonomik sipariş miktarı formülasyonları sunulmaktadır. Makalede; sabit kurulum maliyeti, doğrusal elde bulundurma maliyeti ve ceza maliyeti varsayımları altında, statik-deterministik talepli optimal sipariş miktarı problemi ele alınmıştır. Söz konusu problem literatürde daha önce iki farklı makalede incelenmiştir. Ancak bu iki makalede, problem aynı varsayımlar altında incelendiği halde iki farklı formülasyon sunulmuştur. Her iki makalenin de yazarları birbirlerinin formüllerine itiraz ederek kendi formüllerinin doğru olduğunu iddia etmişlerdir. Bu çalışmada, bahsi geçen problem için ekonomik sipariş miktarının doğru formülasyonları sunulmakta ve daha önceki iki makalenin de hatalı olduğu gösterilmektedir. Yapılan nümerik analizler, (i) hem nakit akışı analizi ekonomik sipariş miktarı modeline entegre edilmediğinde, (ii) hem de bu entegrasyonu hatalı olarak yapan iki makalede önerilen hatalı formülasyonun kullanılması durumunda alt-optimal sonuçlar elde edilebileceğini göstermektedir. Nümerik sonuçlar bu makalede sunulan formülasyonun katma değerini ortaya koymaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Envanter Sistemleri, Ekonomik Sipariş Miktarı, Net Bugünkü Değer

### Inventory Costs and Replenishment Decisions Considering the Time Value of Money

**Abstract:** In this study, we propose economic order quantity formulations considering the time value of money, using a net present value based approach. We address the optimal lot sizing problem with static-deterministic demand under fixed ordering cost, linear holding and penalty cost assumptions. This problem has been investigated in the literature by two articles. However, despite addressing the problem under the same assumptions, these two articles propose two different formulations. The writers of both of the studies have objected each other's formulations claiming that their own study is correct. In our study we present the exact formulations for the aforementioned problem and point out the shortcomings of the previously presented net present value based economic order quantity formulations. Our numerical study demonstrates that both (i) not integrating cash flows analysis into classical economic order quantity model, and (ii) using

\*Hacettepe Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İşletme Bölümü, 06800 Ankara

\*\*Atılım Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 06830 Ankara

\*\*\*Barna, Innishannon, İrlanda

İletişim Yazarı: Şule Tarım (suletarim@yahoo.com)

the erroneous models presented by the two articles which make this integration incorrectly, may lead to sub-optimal solutions.

**Keywords:** Inventory Systems, Economic Order Quantity, Net Present Value

## 1. GİRİŞ

Envanter yönetimi; büyüklükleri fark etmeksizin pek çok işletmenin bütçelerinin önemli bir kısmını oluşturan, satın alma ve stok tutma operasyonları ile ilgili kararları içerir. İşletmeler, tüketicilerin ihtiyacını karşılayacak ürün ve hizmetleri elde edebilmek/üretebilmek için stok tutmaya ihtiyaç duyarlar. Ancak stok bulundurmaktan kaynaklanan operasyonel maliyetlere (örn.; sipariş/hazırlık maliyetleri, depo kirası, personel giderleri, soğutma/elektrik giderleri, bakım giderleri, taşıma giderleri vs.) ek olarak; işletmeler, stok miktarı arttıkça farklı bir yatırımda kullanılacak sermayenin stoka bağlanması, stok miktarı azaldıkça da stoksuz kalma ihtimalinin ve dolayısıyla talebi karşılayamama/kâr kaybı ihtimallerinin artması gibi fırsat maliyetlerine de katlanmak zorunda kalırlar. Tüm bunlar envanter kararlarının önemini arttırmakta, buna bağlı olarak akademik ilgiyi de alana çekmektedir. Sonuç olarak envanter yönetimi alanında karşılaşılabilecek farklı varsayımların dikkate alındığı ve/veya farklı karar tekniklerinin önerildiği geniş bir akademik literatür oluşmuş durumdadır.

Envanter kararlarının eniyilenmesi üzerine yapılan akademik çalışmaların, Harris'in (1913) Ekonomik Sipariş Miktarı (Economic Order Quantity-EOQ) modelini tanıtan makalesi ile başladığı söylenebilir. Bu ilk çalışmada; talebin bilindiği, sürekli ve durağan olduğu, birim maliyetlerin zaman içinde değişmediği, sipariş miktarının tam sayı olmak zorunda olmadığı, tedarik süresinin göz ardı edildiği ve elde bulundurmamaya izin verilmeyip yalnız elde bulundurma ve sabit sipariş maliyetlerinin dikkate alındığı varsayılmıştır. Bu varsayımlarla, planlama döneminde toplam envanter maliyetinin, ilgili üründen her siparişte “ne kadar” alındığında en aza indirileceği hesaplanır. Daha sonraki çalışmalar bu varsayımların her birini esneterek farklı varsayımlarla ekonomik sipariş miktarını hesaplamıştır. Bunlar arasında yer alan Goyal (1976)'ın yüksek lisans tezinde, EOQ modelinin, stoksuz kalmanın mümkün olduğu bir sistemde “ne zaman” ve “ne kadar” sipariş verileceğinin hesaplandığı bir türevi sunulmuştur.

EOQ modeli, basitliğinden dolayı envanter kararlarında yaygın şekilde kullanılmaktadır. Ancak, klasik EOQ formülü paranın zaman değerini dikkate almamaktadır. EOQ modelinin maliyet bileşenleri periyodik bir nakit akışı yapısı sunmaktadır. Finans teorisi; şimdiki zamanda ortaya çıkan bir nakit akışının potansiyel kazanç elde etme kapasitesi sebebiyle gelecekteki aynı miktarda nakit akışından daha büyük bir değere sahip olduğunu söylemektedir. Net Bugünkü Değer (Net Present Value-NPV) yaklaşımı, gelecekteki nakit akışlarının getirisine belirli bir faiz oranında iskonto uygulamaktadır. Daha yüksek faiz oranı, yapılacak indirimin ölçeğini büyütmektedir. Sipariş büyüklüğüne ilişkin literatürdeki birçok çalışma (örn., Hadley 1964; Trippi ve Lewin 1974; Thompson 1975; Hofmann 1998; Haneveld ve Teunter 1998), paranın zaman değerini dikkate almayan klasik EOQ formülünün ancak faiz oranları düşükse optimale yakın sonuçlar verdiğini göstermektedir. NPV yaklaşımını dikkate alan envanter optimizasyonu, literatürde çeşitli tanımlar ve varsayımlar altında yaygın olarak çalışılmıştır. Grubbström (1998, 1999), NPV metodunu malzeme ihtiyaç planlama ile birleştirmiştir. Grubbström çalışmalarında farklı sistemler için NPV tabanlı envanter optimizasyon formülleri ortaya koymuştur. Van der Laan (2003) ise NPV yaklaşımını ortak üretim ve yeniden üretim için uygulamıştır. Hill and Pakkala (2005), Poisson talepli envanter sistemi üzerine çalışmıştır. Söz konusu çalışmalarda, basit ve bileşik faiz oranlarını dikkate alan NPV yaklaşımı için optimal formüller geliştirilmiştir. Chen ve diğerleri (2007), ürün yaşam döngüsünün şekillendirdiği talep dağılımı varsayımı altındaki sistemler için NPV yaklaşımını çalışmıştır. Dye ve diğerleri (2007), aynı problemi ürünlerdeki bozulmayı da dikkate alarak genişletmişlerdir. Hsieh ve diğerleri (2005) de bir envanter sistemi için sabit talep, iki depo ve eksiliksiz maliyet yaklaşımları ile beraber bozulmayı da dikkate almışlardır. Grubbström (2010), “gazeteci çocuk” problemi olarak da bilinen tek

dönemli envanter problemlerine NPV yaklaşımını uygulamıştır. Ayrıca, çeşitli deterministik envanter problemleri için NPV uzantılı EOQ formüllerini öneren bazı çalışmalar da mevcuttur (örn: Grubbström ve Thorstenson 1986; Followill ve Dave 1998; Luciano ve Lorenzo 1999).

Son 10 yıla gelindiğinde, EOQ modellerinin paranın zaman değeri yaklaşımı ile çözülmesi araştırmacıların tekrar ilgi odağı olmaya başlamış ve farklı envanter problemi varsayımları altında bir takım model önerilerinde bulunulmuştur. Örneğin, Beullens ve Janssens (2014) geleneksel parametre setleri yerine, firmalar arasındaki nakit akış yapılarını kullanarak NPV metoduna eş değer analiz yöntemi sunmuşlardır. Mahajan ve Diatha (2018) ise indirgenmiş ortalama maliyet minimizasyonu ve sürekli birleşik faiz yöntemi ile hem normal hem de zamanla bozulabilen ürünler için EOQ modeli önermiştir. Çalışkan (2020a), Çalışkan (2020b) zamanla bozulabilen ürünler için ilkinde zaman-orantılı talep yapısını ele alarak; ikincide üstel ürün bozulmasını ele alarak sezgisel yaklaşımlarda bulunmuştur. Daha sonra, Çalışkan (2020c) birleşik faiz varsayımı altında kapalı form EOQ formülasyonu üzerine çalışmıştır.

Makalemizde paranın zaman değeri eşliğinde ele alınan EOQ modellerine yoğunlaşmaktayız; ancak envanter finansmanı üzerine daha geniş bir bakış açısına sahip olmak isteyen ilgili okurlar, Bogataj ve Bogataj (2019)'ın sunduğu son 50 yılın çalışmalarını kapsayan yazın makalesine başvurabilirler.

Bu çalışmada; sabit kurulum maliyetli, sabit talepli, ihmal edilebilir teslim süreli ve stoksuzluğa izin veren bir deterministik envanter sistemine odaklanılmıştır. Gurnani (1983)'nin makalesi, bu deterministik problem için EOQ formülüne NPV yaklaşımını entegre etmek isteyen ilk çalışmadır. Gurnani (1983), bu kapsamda hem kâr maksimizasyonu hem de maliyet minimizasyonu hedefleri için formüller sunmuştur. Ancak Kim ve Chung (1985), Gurnani'nin bu çalışmasına kavramsal çerçevede eleştiri getirmişlerdir. Kim ve Chung'a göre sadece kâr maksimizasyonu hedefi, optimum stok kontrolü sağlar. Dolayısıyla, maliyet minimizasyonu formülü, sipariş büyüklüğü kararlarında kullanılmamalıdır. Kim ve Chung'ın Gurnani'nin çalışmasına yönelik yayınladığı düzeltmelerinde aynı zamanda Gurnani'nin kâr maksimizasyonu formülüne de bir itiraz yer almaktadır. Kim ve Chung (1985) Gurnani'nin formülasyonuna yaptıkları itirazı, Kim ve diğerleri (1986) tarafından yapılan diğer bir çalışmaya dayandırmışlardır. Gurnani ise Kim ve Chung (1985)'in eleştirileri ve itirazlarını, yayımladığı bir yanıtla (Gurnani, 1985) reddetmiş ve yapmış olduğu ilk çalışmanın (Gurnani, 1983) doğru olduğunu iddia etmiştir. Diğer taraftan, söz konusu problem için NPV çerçevesine dayalı EOQ formülasyonuna ilişkin başka bir çalışma bulunmamaktadır. Bu iki çalışmanın (Gurnani, 1983; Kim ve Chung, 1985) optimal sipariş büyüklüğüne ilişkin birbirleriyle çelişen iddiaları günümüze kadar çözümsüz kalmıştır.

Bu çalışmada, Gurnani (1983) ve Kim ve Chung (1985) tarafından karşılıklı yapılan itirazlar ele alınmakta, yukarıda tanımlanan envanter problemi için NPV tabanlı EOQ ( $EOQ_{NPV}$ ) formülasyonu sunulmaktadır. Oluşturulan model ve yapılan sayısal deneyler neticesinde çalışmanın literatüre katkısı aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

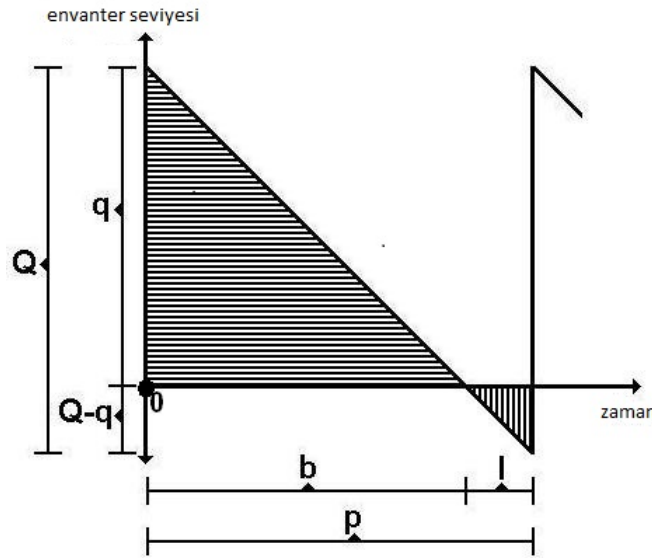
- NPV yaklaşımıyla nakit akış analizleri entegre edilen EOQ modeli için doğru formülasyon sunulmuştur.
- Hem Gurnani (1983), hem de Kim ve Chung'ın (1985) çalışmalarındaki hatalar belirlenmiştir.
- Sipariş miktarının NPV yaklaşımı entegre edilerek hesaplanmasının önemi, klasik EOQ modeliyle  $EOQ_{NPV}$  modeli karşılaştırılarak gösterilmiştir.
- Gurnani (1983)'nin ve Kim ve Chung (1985)'in formülasyonlarındaki hataların pratikte sebep olabileceği maliyet artışı ve kâr kaybı, sayısal karşılaştırmalarla gösterilmiştir.
- Kim ve Chung (1985)'in, maliyet minimizasyonu amacının sipariş miktarı hesabında kullanılmaması gerektiği iddiasını değerlendirmek üzere, elde edilen kârlar ve maliyetler

açısından kâr ve maliyete dayalı  $EOQ_{NPV}$  modelleri karşılaştırılmış, elde edilen kâr ve maliyetin büyüklük farklılıklarına ilişkin sayısal bir açıklama yapılmıştır.

Makalenin ilerleyen kısımları şu şekilde düzenlenmiştir: Bölüm 2’de problem tanımı ve Gurnani (1983) ve Kim ve Chung’ın (1985) çalışmalarında sunulan formülasyonlar ile kâr maksimizasyonu ve de maliyet minimizasyonu amaçları için düzeltilmiş  $EOQ_{NPV}$  formülasyonları yer almaktadır. Nümerik testler ve sonuçlar Bölüm 3’te sunulmaktadır. Bölüm 4 ise sonuç kısmından oluşmaktadır.

## 2. NET BUGÜNKÜ DEĞER YAKLAŞIMLI EKONOMİK SİPARİŞ MİKTARI MODELİ

Bu çalışmada, statik deterministik talepli bir envanter optimizasyon problemi ele alınmaktadır. Çalışmada siparişlerin periyodik olarak verildiği varsayılmaktadır. Her bir sipariş için doğrusal üretim/satın alma maliyetine ilaveten; sabit bir kurulum/sipariş maliyeti de bulunmaktadır. Elde tutulan stok için doğrusal bir elde tutma maliyetine katlanılmaktadır. Talebin statik ve sürekli olduğu varsayılmaktadır. Karşılanamayan talep, ceza maliyetine katlanılarak geciktirilmekte ve talep bir sonraki sipariş ile karşılanmaktadır. Planlama ufkunun sonsuz olmadığı ve ihmal edilebilir teslim sürelerinin olduğu varsayılmaktadır. Birim zaman, bir dönem olarak adlandırılmakta ve iki sipariş arasındaki zaman aralığı da bir döngü olarak tanımlanmaktadır. Şekil 1’de gösterildiği üzere eniyilenecek karar değişkenleri, sipariş büyüklüğü ( $Q$ ) ve bir döngünün başlangıç stok seviyesi ( $q$ )’dir. Makalede kullanılan notasyon Tablo 1’de özetlenmiştir.



**Şekil 1:**  
*Karar Değişkenlerinin Grafıksel Gösterimi*

**Tablo 1. Değişken ve Parametrelerin Notasyonu**

Sembol	Anlamı
$PWC$	net bugünkü değer/toplam maliyet değeri
$PWI$	net bugünkü değer/toplam kâr değeri
$c_1$	birim kurulum veya sipariş maliyeti
$c_2$	birim satınalma (veya üretim) maliyeti
$c_3$	birim elde tutma maliyeti
$c_4$	birim ceza (talep erteleme) maliyeti
$c_5$	birim başına satış fiyatı
$b$	talebin envanterden karşılanma zamanı
$b_1$	talebin ertelendiği zaman (Gurnani'nin formülünde)
$l$	talebin ertelendiği zaman
$Q$	sipariş büyüklüğü
$q$	her bir döngünün başlangıcındaki stok seviyesi
$d$	birim zaman başına talep
$p$	iki sipariş arasındaki zaman
$r$	iskonto oranı
$T$	planlama ufku (period sayısında)

Her bir döngü için optimal sipariş büyüklüğü ( $Q$ ) ve optimal başlangıç stok seviyesi ( $q$ ) klasik EOQ modeli ile aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$Q = \sqrt{\frac{2dc_1}{c_3} * \frac{c_3+c_4}{c_4}} \quad (1)$$

$$q = \sqrt{\frac{2dc_1}{c_3} * \frac{c_4}{c_3+c_4}} \quad (2)$$

Klasik envanter optimizasyon teorisinde fırsat maliyeti; nakit akışlarının zaman ve faiz oranına göre iskonto edilerek hesaplanması yerine elde tutma maliyetinin içinde sabit bir değer olarak ele alınır (Hadley ve Whitin 1963). Paranın zaman değerinin bu şekilde kullanımı; yani, zaman değeri hesaplamasının temel prensibi olan nakit girişi veya çıkışının meydana gelmelerine göre iskonto edilmemesi, finans teorisi ile uyumlu değildir (Gurnani 1983).

İzleyen alt bölümlerde, Gurnani'nin (1983) derivasyonları ile Kim ve Chung'un (1985) önerdiği düzeltmelerin karşılaştırmasına ve hataların düzeltilmesine dayalı olarak verilen  $EOQ_{NPV}$  modeli için ifadeler sunulmaktadır.

## 2.1. Maliyet Minimizasyonu

Çalışmada ele alınan problemde dört bileşen dikkate alınmaktadır: kurulum maliyeti, üretim maliyeti, stok elde tutma maliyeti ve stoksuz kalma maliyeti. Bu maliyet bileşenlerinin her biri, envanter sisteminde meydana gelen farklı olaylara bağlıdır ve bu nedenle, ilgili nakit akışının değeri gerçekleştiği zaman noktasına göre bugünkü değerine indirgenmelidir.

Kurulum maliyeti, sipariş verildiğinde oluşmaktadır. Teslim süresinin göz ardı edilebilecek kadar küçük olduğu ve verilen siparişin anında teslim edildiği varsayılmaktadır. Dolayısıyla her bir döngünün başında üretim/satın alma maliyeti ile beraber kurulum maliyeti tahakkuk etmektedir. Sonuç olarak, bu maliyetler iskonto edilmeden maliyet/kâr fonksiyonunda yer almaya devam edecektir. Nitekim her bir sipariş döngüsü için toplam kurulum maliyeti şöyle olacaktır:

$$c_1 \quad (3)$$

Gurnani (1983) döngü başına üretim maliyetini aşağıdaki gibi formüle etmiştir:

$$qc_2 \quad (4)$$

Bununla birlikte, üretim maliyeti sadece stok için üretilen kalemlere değil aynı zamanda önceki döngülerde karşılanamayıp geciktirilen miktarlar için üretilen kalemler için de tahakkuk etmektedir. “q” terimi “döngü başlangıcındaki envanter seviyesi”ni ifade etmektedir ve talep ertelemeye izin verilmemesi kaydıyla üretim maliyetini de hesaplamak için kullanılabilir. Ancak, sistem talep ertelemeye izin vermekte olduğundan, “q” terimi yerine “sipariş büyüklüğü”nü tanımlayan “Q” terimi kullanılmalıdır. Böylece, üretim maliyeti aşağıdaki gibi formüle edilecektir:

$$Qc_2 \quad (5)$$

Diğer taraftan elde tutma maliyeti de elde tutulan stok miktarındaki değişime bağlı olarak sürekli olarak tahakkuk edecektir. Gurnani (1983), iskonto edilmiş elde tutma maliyetini şu şekilde formüle etmektedir:

$$\frac{dc_3*(e^{-br}+br-1)}{r^2} \quad (6)$$

Sürekli satışlarla beraber; tahakkuk etmiş elde tutma maliyeti, stok seviyesi negatif olmadığında "0 – b" zaman aralığı boyunca buna bağlı olarak değişecektir. Dolayısıyla, iskonto edilmiş ortalama elde tutma maliyeti, Gurnani'nin (1983) formülünü kanıtlayan, aşağıda sunulan (7) vasıtasıyla üretilmelidir:

$$\int_0^b c_3 * (-dt + q) * e^{-rt} dt \quad (7)$$

“b – p” zaman aralığında sistem stoksuz kalır ve elde tutma maliyetine benzer sürekli fonksiyonla stoksuz kalma maliyeti tahakkuk etmeye başlar. Gurnani (1983) bu etkileşimi şöyle formüle etmiştir:

$$\frac{c_4*(Q-q)*[e^{-br}-(b_1r+1)*e^{-pr}]*e^{-br}}{b_1r^2} \quad (8)$$

Bununla birlikte stoksuz kalma maliyeti formülü şu şekilde türetilmelidir:

$$e^{-rp} * \int_b^p c_4 * \left[\frac{Q-q}{1}\right] * (t - b) * e^{r(p-t)} dt \quad (9)$$

İntegral alınma ve sadeleştirme sonrası, (8) şuna dönüşür:

$$\frac{c_4 d*[e^{-br}-(r+1)*e^{-pr}]}{r^2} \quad (10)$$

Özet olarak, Gurnani (1983) toplam iskonto edilmiş stok maliyeti (sadeleştirilmiş şekilde) aşağıdaki gibidir:

$$PWC_1 = c_1 + qc_2 + \frac{dc_3*(e^{-br}+br-1)}{r^2} + \frac{c_4 d*[e^{-br}-(b_1r+1)*e^{-pr}]*e^{-br}}{r^2} \quad (11)$$

Buradaki hatalar düzeltildiğinde toplam stok maliyeti formülü aşağıdaki gibi olmalıdır:

$$PWC_1 = c_1 + Qc_2 + \frac{dc_3*(e^{-br}+br-1)}{r^2} + \frac{c_4 d*[e^{-rb}-(r+1)*e^{-rp}]}{r^2} \quad (12)$$

Problem nakit akışı çerçevesinde ele alındığında, planlama ufğunun uzunluğu Gurnani tarafından sunulan (1983, sayfa 263) düzenleme ifadesi ile birleştirilmelidir:

$$\frac{(1 - e^{-Tr})}{(1 - e^{-Pr})} \quad (13)$$

Bu nedenle,  $T$  uzunluğundaki planlama ufku için toplam iskonto edilmiş stok maliyetini hesaplayan kesin formül şöyledir:

$$PWC_T = \left( c_1 + Qc_2 + \frac{dc_3*(e^{-br}+br-1)}{r^2} + \frac{c_4 d*[e^{-rb}-(r+1)*e^{-rp}]}{r^2} \right) * \frac{(1 - e^{-Tr})}{(1 - e^{-Pr})} \quad (14)$$

Eğer karar değişkenleri  $b$  ve  $p$ ,  $Q$  ve  $q$  cinsinden yazılırsa ( $b = p/d$  ve  $p = q/d$ ), (14) şuna dönüşür:

$$PWC_T = \left( c_1 + Qc_2 + \frac{dc_3*(e^{-\frac{qr}{d}+\frac{qr}{d}-1})}{r^2} + \frac{c_4 d*[e^{-\frac{qr}{d}-(r+1)*e^{-\frac{qr}{d}}]}{r^2} \right) * \frac{(1 - e^{-Tr})}{(1 - e^{-\frac{qr}{d}})} \quad (15)$$

(15)'in  $Q$  ve  $q$  üzerinden minimizasyonu, maliyet minimizasyonu hedefli optimal stok kontrol politikasını oluşturacaktır.

## 2.2. Kâr Maksimizasyonu

$b$  zaman aralığında, talebin stoktan karşılandığı durumda anında satış meydana gelir. Gurnani (1983) anında satıştan sağlanan geliri aşağıdaki şekilde formüle etmiştir:

$$\frac{Qc_5*(e^{-br}+br-1)}{br^2} \quad (16)$$

Anında satışlardan sağlanan gelir ile elde tutma maliyeti ters orantılı olmasına karşın Gurnani (1983), elde tutma maliyeti formülüyle birlikte aynı iskonto faktörünü kullanmıştır. Bu nedenle, Kim ve Chung (1985) söz konusu formülasyonu tekzip etmiş ve anında satışlardan sağlanan gelirin hesaplanması için şunu önermişlerdir:

$$\frac{Qc_5*(1-e^{-br})}{br} \quad (17)$$

Her ne kadar Kim ve Chung doğru iskonto faktörünü kullanmış olsalar da formülasyon hâlâ yanlıştır: iskonto edilecek anında satışlar, aslında hem anında satışlar hem de ertelenmiş talebi içeren “ $Q$ ” ile hesaplanır. Anında satışlardan elde edilen tam iskontolu ortalama gelir şöyle bulunabilir:

$$\int_0^b d * c_5 * e^{-rt} dt \quad (18)$$

İntegral hesabı ve sadeleştirme sonrası iskonto edilmiş ortalama gelir formülü şuna dönüşür:

$$\frac{c_5 q (1 - e^{-rb})}{rb} \quad (19)$$

Diğer taraftan ertelenen talep de bir sonraki sipariş zamanında karşılanır. Yani gelir, yenileme döngüsünün sonunda bir defada toplanır. Ertilenmiş taleplerden sağlanan gelir için yukarıda sözü edilen iki çalışma (Gurnani, 1983; Kim ve Chung, 1985) ile bu çalışma fikir birliğine varmıştır:

$$(Q - q) * c_5 e^{-rp} \quad (20)$$

Bu doğrultuda, Gurnani (1983), Kim ve Chung (1985) ve  $EOQ_{NPV}$ 'nin (hataların düzeltilmesinden sonra elde edilen "optimal model") ortalama toplam kâr formülasyonları sırasıyla, (21)-(22)-(23), aşağıda gösterilmiştir:

$$PWI_1(\text{Gurnani, 1983}) = \frac{Qc_5(e^{-br} + br - 1)}{br^2} + (Q - q) * c_5 * e^{-rp} - \left\{ c_1 + qc_2 + \frac{dc_3(e^{-br} + br - 1)}{r^2} + \frac{c_4 d [e^{-br} - (b_1 r + 1)e^{-pr}] * e^{-br}}{b_1 r^2} \right\} \quad (21)$$

$$PWI_1(\text{Kim ve Chung, 1985}) = \frac{Qc_5(1 - e^{-br})}{br} + (Q - q) * c_5 * e^{-rp} - \left\{ c_1 + qc_2 + \frac{dc_3(e^{-br} + br - 1)}{r^2} + \frac{c_4 d [e^{-br} - (b_1 r + 1)e^{-pr}] * e^{-br}}{b_1 r^2} \right\} \quad (22)$$

$$PWI_1(EOQ_{NPV}) = c_5 * \left[ \frac{q(1 - e^{-rb})}{rb} + (Q - q) * e^{-rp} \right] - \left\{ c_1 + Qc_2 + \frac{dc_3(e^{-br} + br - 1)}{r^2} + \frac{c_4 d [e^{-rb} - (r + 1)e^{-rp}]}{r^2} \right\} \quad (23)$$

Eğer planlama ufku bir dönemden daha uzunsa, (23)'te sunulan  $EOQ_{NPV}$  kâr formülü, toplam maliyet fonksiyonuna benzer şekilde düzeltilmelidir:

$$PWI_T(EOQ_{NPV}) = \frac{(1 - e^{-Tr})}{(1 - e^{-pr})} * \left( c_5 * \left[ \frac{q(1 - e^{-rb})}{rb} + (Q - q) * e^{-rp} \right] - \left\{ c_1 + Qc_2 + \frac{dc_3(e^{-br} + br - 1)}{r^2} + \frac{c_4 d [e^{-rb} - (r + 1)e^{-rp}]}{r^2} \right\} \right) \quad (24)$$

Tablo 2 Gurnani (1983)'nin ve Kim ve Chung (1985)'in derivasyonlarında yapılan hataları her bir maliyet ve gelir kalemi için özetlemektedir. Koyu harflerle gösterilen yerler, derivasyonlardaki farklılıkları ifade etmektedir. Kim ve Chung, Gurnani'nin maliyet minimizasyonu derivasyonuna itiraz etmediğinden, tablo hazırlanırken (ve numerik çalışmalarda) Gurnani'nin derivasyonunu kabul ettiği ve kullandığı varsayımı yapılmıştır.



**Tablo 2. Değişken ve Parametrelerin Notasyonu**

	Gurnani (1983)	Kim ve Chung (1985)	<i>EOQ<sub>NPV</sub></i>
<b>Kurulum Maliyeti</b>	$c_1$	$c_1$	$c_1$
<b>Üretim/Satın alma maliyeti</b>	$qc_2$	$qc_2$	$Qc_2$
<b>Elde bulundurma maliyeti</b>	$\frac{c_3 d (e^{-br} + br - 1)}{r^2}$	$\frac{c_3 d (e^{-br} + br - 1)}{r^2}$	$\frac{c_3 d (e^{-br} + br - 1)}{r^2}$
<b>Ceza maliyeti</b>	$\frac{c_4 d (e^{-br} + br - 1) e^{-br}}{r^2}$	$\frac{c_4 d (e^{-br} + br - 1) e^{-br}}{r^2}$	$\frac{c_4 d (e^{-br} + br - 1)}{r^2}$
<b>Anında Satıştan Sağlanan Gelir</b>	$\frac{c_5 Q * (e^{-br} + br - 1)}{br^2}$	$\frac{c_5 Q * (1 - e^{-br})}{br}$	$\frac{c_5 q * (1 - e^{-br})}{br}$
<b>Ertelenen Talepten Sağlanan Gelir</b>	$(Q - q) * c_5 e^{-rp}$	$(Q - q) * c_5 e^{-rp}$	$(Q - q) * c_5 e^{-rp}$

### 3. NÜMERİK ÇALIŞMA

Yukarıda sözü edilen modeller arasında maliyet ve kâr farklılıklarını incelemek üzere sayısal bir deney tasarlanmıştır. Nümerik çalışmalar ışığında: (i) EOQ hesaplamasında paranın zaman değerinin dikkate alınmasının önemi, (ii) kurulum maliyeti, ceza maliyeti, satış fiyatı ve özellikle de faiz oranının; paranın zaman değerinin dikkate alınmaması veya yanlış entegre edilmesi durumunda elde edilecek sonuçların optimal değerlerden sapma miktarı üzerindeki etkilerinin maliyet veya kâr yoluyla araştırılması, ve (iii) maliyet minimizasyonu ve kâr maksimizasyonu yaklaşımlarına göre model sonuçlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır.

#### 3.1. Deney Tasarımı

Çalışmada, kurulum maliyeti ( $c_1$ ), elde tutma maliyeti ( $c_4$ ), satış fiyatı ( $c_5$ ) ve faiz oranının ( $r$ ) farklı değerlerine dayalı 1386 problem örneği tanımlanmıştır. Parametreler belirlenirken, sonuçların parametre-bağımlı olmaması adına, birbirleriyle ilişkili parametrelerin oranlarının (örneğin sabit kurulum maliyeti/elde bulundurma maliyeti oranı, elde bulundurma maliyeti/ceza maliyeti oranı vs.) farklılaşacağı rastgele değerler seçilmiştir. Örnekler genelinde, birim kurulum maliyeti ve elde tutma maliyeti sırasıyla 10 ve 1 olarak sabitlenmiştir. Talep oranı ise dönem başına 1200 birim olarak varsayılmış ve planlama ufku da 15 dönem olarak belirlenmiştir. Tüm parametre değerleri Tablo 3'te özetlenmiştir.

**Tablo 3. Deneyin Parametreleri**

Parametre	Test Edilmiş Değerler
$c_1$	100, 250, 400, 550, 700, 850
$c_2$	1
$c_3$	10
$c_4$	2, 5, 8, 11, 14, 17, 20
$c_5$	10, 25, 40
$r$	0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50
$d$	1200
$T$	15

Karşılaştırması yapılan her bir modelin toplam maliyet/kâr fonksiyonu, C++ diliyle kodlanmış ve karar değişkenlerinin olası tüm tamsayı değerleri denenerek fonksiyonu minimize/maksimize eden sonuç tespit edilmiştir.

Her bir örnek için **maliyet minimizasyonu** hedefiyle optimal sipariş büyüklüğü ( $Q$ ) ve optimal başlangıç stok seviyesi ( $q$ ) değerleri;

- (i) klasik EOQ modeli,
- (ii) Gurnani (1983)'nin modeli, ve
- (iii)  $EOQ_{NPV}$  modeli (optimal model)

ile bulunmuştur. Daha sonra, her bir model için ortaya çıkan  $Q$  ve  $q$  değerlerinin gerçek iskontolu **maliyetleri**  $EOQ_{NPV}$  (optimal model) formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

Her bir örnek için **kâr maksimizasyonu** hedefiyle optimal sipariş büyüklüğü ( $Q$ ) ve optimal başlangıç stok seviyesi ( $q$ ) değerleri yine sırasıyla;

- (i) Gurnani (1983)'nin modeli,
- (ii) Kim ve Chung (1985)'in modeli, ve
- (iii)  $EOQ_{NPV}$  modeli (optimal model)

ile bulunmuştur. Daha sonra, her bir model için ortaya çıkan  $Q$  ve  $q$  değerlerinin gerçek iskontolu **kârları**  $EOQ_{NPV}$  (optimal model) formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

Çalışmada, birbiriyle karşılaştırılan maliyet minimizasyonu-kâr maksimizasyonu karşılaştırması haricinde tüm karşılaştırmalar, alt-optimal modelin  $EOQ_{NPV}$  ile karşılaştırılması şeklinde yapılmaktadır. Dolayısıyla sayısal analizlerde:

- klasik EOQ vs.  $EOQ_{NPV}$  (Bölüm 3.2.),
- Gurnani (1983)'nin maliyet minimizasyonu modeli vs.  $EOQ_{NPV}$  (Bölüm 3.3.1.),
- Gurnani (1983)'nin kâr maksimizasyonu modeli vs.  $EOQ_{NPV}$  (Bölüm 3.3.2.),
- Kim ve Chung (1985)'in kâr maksimizasyonu modeli vs.  $EOQ_{NPV}$  (Bölüm 3.3.3.)

karşılaştırmaları yapılmıştır.

Ayrıca, maliyet minimizasyonu-kâr maksimizasyonu karşılaştırması yapabilmek adına optimal sipariş büyüklüğü ( $Q$ ) ve optimal başlangıç stok seviyesi ( $q$ ) değerleri

- (i) Maliyet minimizasyonu hedefiyle  $EOQ_{NPV}$  modeli, ve
- (ii) Kâr maksimizasyonu hedefiyle  $EOQ_{NPV}$  modeli

ile bulunmuştur. Daha sonra, her bir model için ortaya çıkan  $Q$  ve  $q$  değerlerinin gerçek iskontolu maliyetleri ve kârları da hesaplanmıştır (Bölüm 3.4).

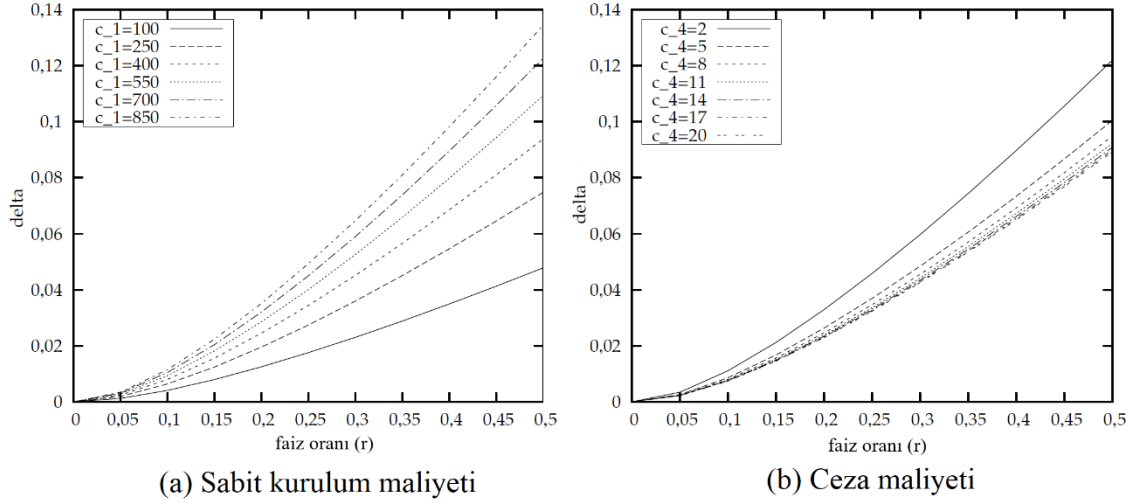
Her bir karşılaştırma için modeller arasındaki ortalama yüzde maliyet / kâr farkları ( $\delta$ ) hesaplanmıştır:

$$\delta = \frac{CP_c - CP_o}{CP_o} \quad (25)$$

$CP_o$ , optimal modelin ( $EOQ_{NPV}$ ) elde edilen maliyeti /kârı ve  $CP_c$ , karşılaştırılan modelin elde edilen maliyet/kârıdır.

### 3.2. EOQ hesaplamasında NPV yaklaşımının önemi: $EOQ_{NPV}$ ile Klasik EOQ karşılaştırması

Paranın zaman değerini göz ardı etmenin etkisini bulmak için klasik EOQ modeli ve  $EOQ_{NPV}$  modeli karşılaştırılmıştır. Şekil 2, faiz oranı ( $r$ ), kurulum maliyeti ( $c_1$ ) ve ceza maliyeti ( $c_4$ ) ne göre klasik EOQ modeli ile  $EOQ_{NPV}$  modelinin toplam maliyetleri arasındaki yüzde farklılıklarının ortalama değerlerini göstermektedir.



Şekil 2:

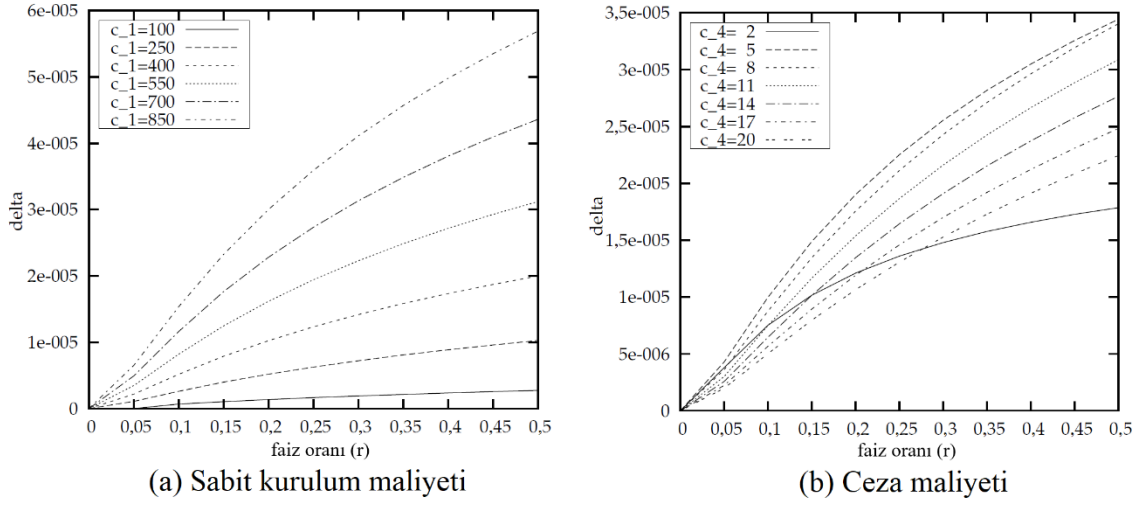
*Klasik EOQ ve EOQ<sub>NPV</sub> modellerinin maliyet minimizasyonu hedefiyle karşılaştırılması*

Şekil 2’de gösterildiği üzere, klasik EOQ modeli ve EOQ<sub>NPV</sub> modeli arasındaki fark, faiz oranı yükseldikçe artış göstermektedir. Faiz oranında %0’dan %50’ye bir yükselme, modellerde maliyet farklılıklarının yaklaşık %14’lere çıkmasına yol açmaktadır. Bu durum, envanter hesaplamalarında, iskonto edilmiş maliyetlerin kullanımına olan ihtiyacı vurgulamaktadır. Şekil 2 ayrıca, klasik EOQ modelinin kurulum maliyeti yükseldikçe daha yüksek maliyetler ürettiğini ortaya koymaktadır. Bunun altında yatan neden ise daha yüksek kurulum maliyetinin, daha uzun döngü uzunluğuna yol açması, maliyetler üzerindeki iskonto oranının etkisini arttırmasıdır. Bu modeller ceza maliyetine göre karşılaştırıldıklarında da benzer bir etki görülmektedir. Düşük ceza maliyetinin olduğu bir sistemde, ertelenen talep miktarında artış olmaktadır. Sonuç olarak, daha yüksek gelir tüm döngü için iskonto edilmektedir, bu da tekrar faiz oranının etkisini arttırır.

### 3.3. EOQ<sub>NPV</sub> modeli ile önceki hatalı derivasyonlar arasında nümerik karşılaştırmalar

#### 3.3.1 Maliyet minimizasyonu: EOQ<sub>NPV</sub> ile Gurnani (1983) karşılaştırması

Bu bölümde EOQ<sub>NPV</sub> modeli ile Gurnani (1983)’nin sunduğu model arasında sayısal bir karşılaştırma yapılarak maliyet minimizasyonu hedefiyle eniyileme yapıldığında Gurnani’nin formülasyonundaki hataların elde edilecek maliyeti ne ölçüde arttırabileceği incelenecektir. Bu çalışmada ele alınan bir diğer makale olan Kim ve Chung (1985), Gurnani’nin maliyetlerle ilişkili formülasyonunu eleştirmeyerek kabul ettiğinden ayrıca bir karşılaştırma yapılmamaktadır.



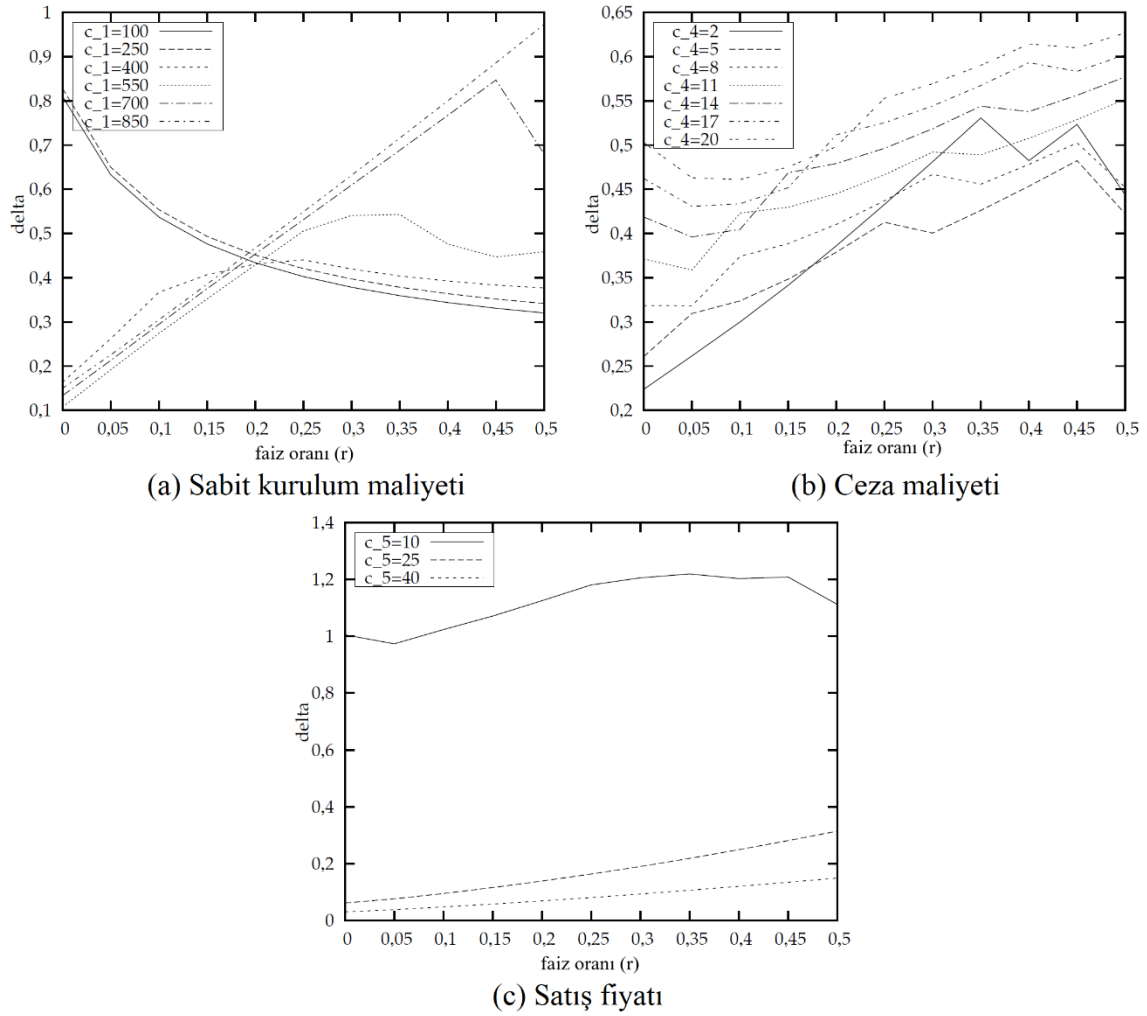
Şekil 3:

$EOQ_{NPV}$  ve Gurnani (1983) modellerinin maliyet minimizasyonu hedefiyle karşılaştırılması

Şekil 3, faiz oranı ( $r$ ), kurulum maliyeti ( $c_1$ ) ve ceza maliyeti ( $c_4$ ) ne göre Gurnani (1983) ve  $EOQ_{NPV}$  maliyet minimizasyonu modelleri arasındaki karşılaştırmayı sunmaktadır. Şekil, faiz oranı ve kurulum maliyetinin iki model arasındaki fark üzerindeki belirgin pozitif etkisini göstermektedir. Bununla beraber ceza maliyetinde meydana gelecek bir değişikliğe karşın tutarlı bir yapı gözlemlenmemiştir.

### 3.3.2. Kâr Maksimizasyonu: $EOQ_{NPV}$ ile Gurnani (1983) karşılaştırması

Bu bölümde, Gurnani (1983)'nin modeli ve  $EOQ_{NPV}$  (optimal model) arasında kâr maksimizasyonu tabanlı bir karşılaştırma yapılmıştır. Bölüm 2.2'de gösterildiği üzere, Gurnani'nin modeli toplam kâr formülünde ciddi eksikliklere sahiptir. Burada bu eksikliklerin sayısal sonuçlara ne ölçüde yansıtacağı incelenmektedir. Şekil 4, yapılan analizlerin sonuçlarını özetlemektedir.



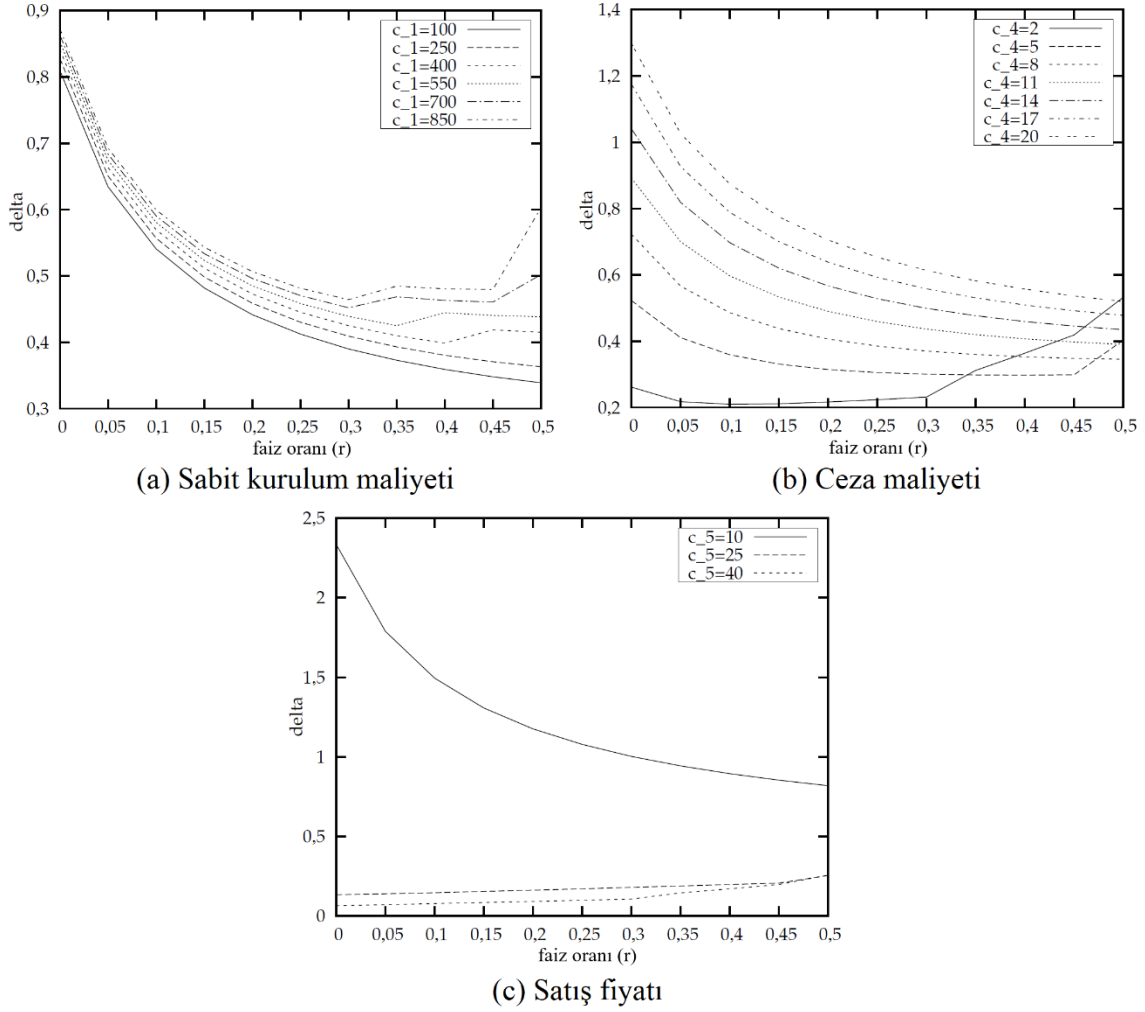
**Şekil 4:**

*EOQ<sub>NPV</sub> ve Gurnani (1983) modellerinin kâr maksimizasyonu hedefiyle karşılaştırılması*

Şekil 4’te kâr maksimizasyonu hedefiyle  $EOQ_{NPV}$  modeli ve Gurnani (1983)’nin modeli ile elde edilen kârlar arasındaki farklar gösterilmektedir. Toplam iskonto edilmiş gelir formülasyonlarında yapılan hataların, elde edilen kârlar üzerinde belirgin bir etkisi olduğu açıktır. Farklılıkların büyüklüğü ayrıca birim satış fiyatına ( $c_5$ ) ve faiz oranlarına ( $r$ ) bağlı olarak da değişiklik göstermektedir. Bununla beraber, maliyet bileşenlerindeki değişim ile (örn; kurulum maliyeti ve ceza maliyeti) Gurnani (1983)’nin modelinin sonuçlarının optimal kârlardan sapması arasında belirgin bir ilişki gözlemlenmemiştir.

### 3.3.3. Kâr Maksimizasyonu: $EOQ_{NPV}$ ile Kim ve Chung (1985) karşılaştırması

Bu bölümde, Kim ve Chung (1985)’in modeli ve  $EOQ_{NPV}$  (optimal model) arasında kâr maksimizasyonu tabanlı bir karşılaştırma yapılmıştır. Kim ve Chung’ın modeli de, yine Bölüm 2.2’de gösterildiği üzere, toplam kâr formülünde ciddi eksikliklere sahiptir. Şekil 5, bu eksikliklerin sonuçları nümerik olarak ne ölçüde etkilediğini göstermektedir.



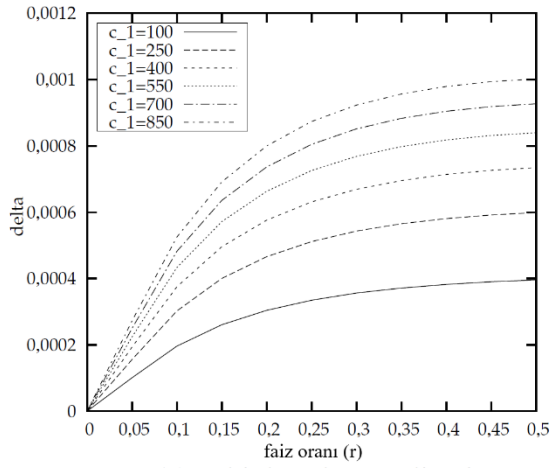
Şekil 5:

*EOQ<sub>NPV</sub> ve Kim ve Chung (1985) modellerinin kâr maksimizasyonu hedefiyle karşılaştırılması*

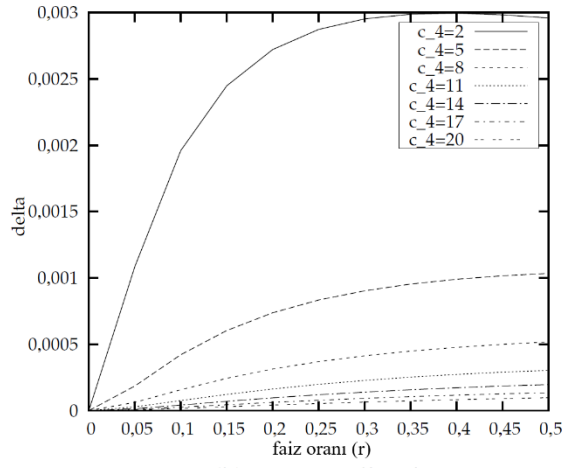
Şekil 5’te, 4’te kâr maksimizasyonu hedefiyle  $EOQ_{NPV}$  modeli ve Kim ve Chung (1985)’in modeli ile elde edilen kârlar arasındaki farklar gösterilmektedir. Burada da gelir formülasyonlarında yapılan hatalar sonuçları ciddi ölçüde etkilemiştir. Kim ve Chung’ın modeli ile elde edilen sonuçların optimal sonuçlardan farkı, satış fiyatına ( $c_5$ ) ve faiz oranlarına ( $r$ ) bağlı olarak da değişiklik göstermektedir. Bunlara ilaveten, Kim ve Chung (1985) ve  $EOQ_{NPV}$  modelleri arasındaki farklılıklarla kurulum ve ceza maliyetleri arasında, yukarıda açıklanan sebeplerle pozitif bir ilişki bulunmaktadır.

### 3.4. Maliyet Minimizasyonu Yaklaşımına Karşı Kâr Maksimizasyonu Yaklaşımı

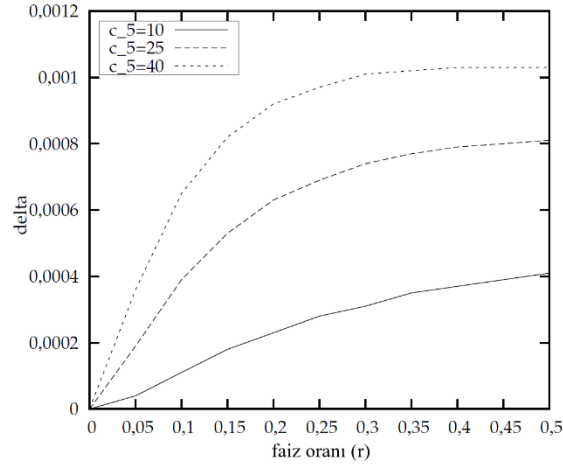
Bu bölümde maliyet minimizasyonu ve kâr maksimizasyonu yaklaşımları  $EOQ_{NPV}$  ile elde edilen sonuçlara göre karşılaştırılmıştır. Şekil 6 ve 7 sırasıyla maliyet ve kâr için sonuçları göstermektedir.



(a) Sabit kurulum maliyeti

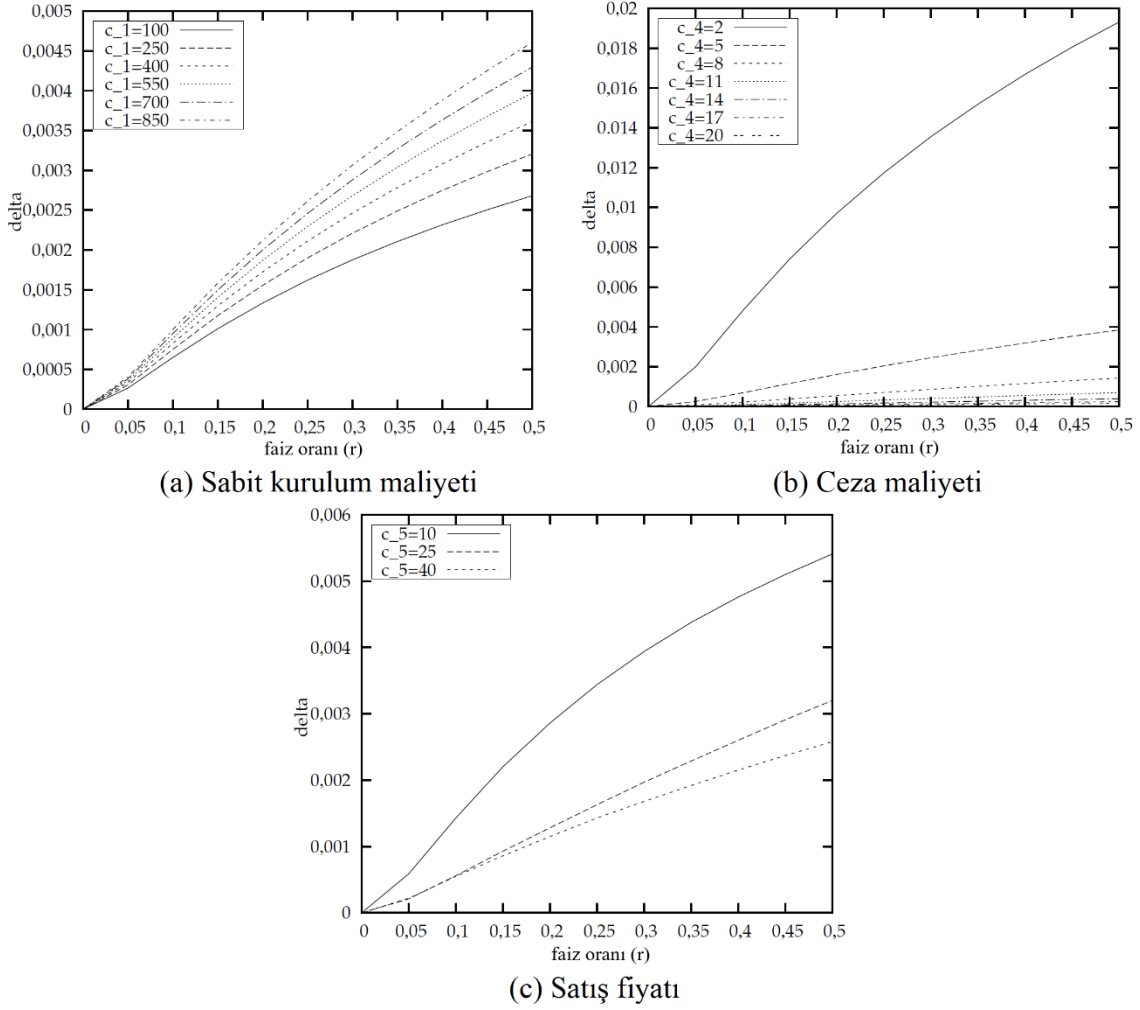


(b) Ceza maliyeti



(c) Satış fiyatı

**Şekil 6:**  
*Maliyet minimizasyonu ve kâr maksimizasyonu hedeflerinin, elde edilen maliyet açısından karşılaştırması*



**Şekil 7:**

*Maliyet minimizasyonu ve kâr maksimizasyonu hedeflerinin, elde edilen kâr açısından karşılaştırması*

Şekil 6’da gösterildiği üzere, faiz oranı ( $r$ ), kurulum maliyeti ( $c_1$ ) ve satış fiyatı ( $c_5$ )’nın, maliyet farkları üzerinde benzer etkileri vardır; öyle ki, herhangi birindeki artış, maliyet minimizasyonu ile kâr maksimizasyonu yaklaşımları arasındaki maliyet farklarını artırmaktadır. Bununla birlikte, ceza maliyetinin ( $c_4$ ), maliyet ve kâr tabanlı yaklaşımları arasındaki maliyet farkı ile negatif ilişkisi vardır. Maliyet minimizasyonu ve kâr maksimizasyonu yaklaşımları arasındaki kâr farklılıkları ile negatif ilişkisi olan satış fiyatı dışında, aynı etkiler Şekil 7’de görülmektedir.

Şekil 6 ve 7’de sunulan sonuçlar, karar vericilerin kendi koşullarının gereksinimleri veya farklı amaçları için iki farklı formülü kullanabileceklerini ortaya koymaktadır. Kâr ile ilgilenmeyip, maliyetle ilgilenenler için maliyet minimizasyonu, maliyetleri düşürecek için, izlenecek ana hedeftir. Diğer taraftan; yüksek kazanç arzu eden kâr amaçlı girişimlerin ihtiyaçlarını, kâr maksimizasyonu yaklaşımı karşılayacaktır. Her ne kadar yaygın olan görüş, bir kuruluşun varoluş nedeninin kâr elde etmek olduğu ise de maliyet minimizasyonu ile performans değerlendirmesi yapan pek çok kurum/birim de bulunabilir. Dolayısıyla, maliyet minimizasyonu ya da kâr maksimizasyonu yaklaşımlarından birinin en iyi olduğunu ileri sürmek, yanıltıcı olacaktır.



#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada, statik-deterministik talep altında bir stok sipariş büyüklüğü problemi ele alınmıştır. Yapılan katkı iki türdür. İlk olarak, NPV tabanlı EOQ modeli için formülasyonlar türetilmiştir. Söz konusu formülasyonlar, aynı problem durumu için önceden Gurnani (1983) ile Kim ve Chung (1985) tarafından sunulanları da düzeltmektedir. İkinci olarak, önceden ortaya atılan modellerle bu çalışmada sunulan modelin performansları arasında nümerik bir karşılaştırma sağlanmıştır. Yapılan nümerik çalışma daha da ileriye götürülerek; Kim ve Chung (1985) tarafından belirtildiği gibi kâr maksimizasyonu yaklaşımının maliyet minimizasyonu yaklaşımından üstün olup olmadığı da incelenmiştir.

Yapılan nümerik çalışma, bu makalede önerilen optimal  $EOQ_{NPV}$  modeli ile literatürde yer alan önceki hatalı modeller (Gurnani, 1983; Kim ve Chung, 1985) arasında belirgin bir performans farkı olduğunu göstermiştir.  $EOQ_{NPV}$  modeli ile Gurnani (1983)'nin çalışması arasında yapılan karşılaştırmada, (i) maliyet minimizasyonu yapıldığında Gurnani'nin modeli ile  $EOQ_{NPV}$  modeli arasında küçük de olsa farklar bulunduğu, (ii) kâr maksimizasyonu yapıldığında bu farkların çok daha ciddi boyutlara ulaştığı ve elde edilen kârın özellikle birim satış fiyatı ve faiz oranlarına bağlı olarak yaklaşık %120'ye kadar azalabildiği görülmüştür.  $EOQ_{NPV}$  modeli ile Kim ve Chung (1985)'in kâr maksimizasyonu modeli karşılaştırıldığında da yine iki model ile bulunan planlarla elde edilecek kârın %100'ün üzerinde azalabildiği gözlenmiştir. Bu sonuçlar bahsedilen iki makalede yapılan hataların sonuçlarının ne kadar ciddi boyutlara ulaşabileceğini göstermekte ve  $EOQ_{NPV}$  modelinin katma değerini ortaya koymaktadır. Kâr maksimizasyonu ve maliyet minimizasyonu ile elde edilen sonuçlar ise, bu iki yaklaşımdan birini üstün olarak seçmenin, mümkün olmadığı sonucuna götürmektedir. Aksine, her iki yaklaşım da karar vericinin amacına göre uygundur.

Sunulan modelin ana kısıtı, sabit talep oranını varsaymasıdır. Gelecekte yapılabilecek başka bir araştırmaya yön vermesi açısından; sunulan formülasyon, stokastik ve/veya dinamik talep durumları için genişletilebilir. Ayrıca, kısıtlı üretim kapasitesi ve teslim zamanı birleşimi ve ceza maliyeti planı yerine, hizmet seviyesi yaklaşımı gibi alternatif problem durumları da dikkate alınarak değerli katkılar sağlanabilir.

#### KAYNAKLAR

1. Beullens, P., & Janssens, G. K. (2014). Adapting inventory models for handling various payment structures using net present value equivalence analysis. *International Journal of Production Economics*, 157, 190-200. doi:10.1016/j.ijpe.2013.09.013
2. Bogataj, D., & Bogataj, M. (2019). NPV approach to material requirements planning theory—a 50-year review of these research achievements. *International Journal of Production Research*, 57(15-16), 5137-5153. doi:10.1080/00207543.2018.1524167
3. Chen, C.K. ve diğerleri (2007) A net present value approach in developing optimal replenishment policies for a product life cycle, *Applied Mathematics and Computation*, 184, 360–373. doi:10.1016/j.amc.2006.05.164
4. Çalışkan, C. (2020a). A note about 'on replenishment schedule for deteriorating items with time-proportional demand'. *Production Planning & Control*, 1-4. doi:10.1080/09537287.2020.1782500
5. Çalışkan, C. (2020b). A derivation of the optimal solution for exponentially deteriorating items without derivatives. *Computers & Industrial Engineering*, 148, 106675. doi:10.1016/j.cie.2020.106675
6. Çalışkan, C. (2020). The economic order quantity model with compounding. *Omega*, 102307. doi:10.1016/j.omega.2020.102307

7. Dye, C.Y. ve diğerleri (2007). Inventory and pricing strategies for deteriorating items with shortages: A discounted cash flow approach, *Computers and Industrial Engineering*, 52, 29–40. doi:10.1016/j.cie.2006.10.009
8. Followill, R. A. ve Dave, D.S. (1998) Financial cost inclusive reformulations of inventory lot size models, *Computers and Industrial Engineering*, 34 (3), 589–597. doi:10.1016/S0360-8352(97)00316-1
9. Goyal, P. R. (1976). The inclusion of inspection costs in the determination of economic order quantity (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, Lehigh University, Bethlehem USA). Erişim adresi: <https://preserve.lehigh.edu/etd/2050/>
10. Grubbström, R.W. (1998) A net present value approach to safety stocks in planned production, *International Journal of Production Economics*, 56-57, 213–229. doi:10.1016/S0925-5273(97)00094-7
11. Grubbström, R.W. (1999) A net present value approach to safety stocks in a multi-level MRP system, *International Journal of Production Economics*, 59, 361–375. doi:10.1016/S0925-5273(98)00016-4
12. Grubbström, R.W. (2010) The Newsboy problem when customer demand is a compound renewal process, *International Journal of Production Economics*, 203, 134–142. doi:10.1016/j.ejor.2009.06.032
13. Grubbström, R.W. ve Thorstenson A. (1986) Evaluation of capital costs in a multi-level inventory system by means of the annuity stream principle, *European Journal of Operational Research*, 24 (1), 136–145. doi:10.1016/0377-2217(86)90019-6
14. Gurnani, C. (1985) Economic Analysis Of Inventory Systems: A Reply, *International Journal of Production Research*, 23, 771–772. doi:10.1080/00207548508904745
15. Hadley, G. (1964) A Comparison of Order Quantities Computed Using the Average Annual Cost and the Discounted Cost, *Management Science*, 10 (3), 472–476. doi:10.1287/mnsc.10.3.472
16. Hadley, G. ve Whitin T.M. (1963) *Analysis of Inventory Systems*, Prentice Hall, NJ.
17. Haneveld, W.K.K. ve Teunter R.H. (1998) Effects of discounting and demand rate variability on the EOQ, *International Journal of Production Economics*, 54, 173–192. doi: 10.1016/S0925-5273(97)00142-4
18. Harris, FW. (1913) How many parts to make at once, *The Magazine of Management* 10 (2), 135–136.
19. Hill, R.M. ve Pakkala T.P.M. (2005) A discounted cash flow approach to the base stock inventory model, *International Journal of Production Economics*, 93-94, 439–445. doi: 10.1016/j.ijpe.2004.06.040
20. Hofmann, C. (1998) Investments in modern production technology and the cash flow-oriented EPQ- model, *International Journal of Production Economics*, 54, 193–206. doi: 10.1016/S0925-5273(97)00143-6
21. Hsieh, T.P. ve diğerleri (2008) Determining optimal lot size for a two warehouse system with deterioration and shortages using net present value, *European Journal of Operational Research*, 191, 182–192. doi: 10.1016/j.ejor.2007.08.020
22. Kim, Y. H. ve Chung, V. (1985) Economic Analysis Of Inventory Systems: A Clarifying Analysis, *International Journal of Production Research*, 23, 761–767. Doi: 10.1080/00207548508904743

23. Kim, Y. H. ve diğerleri (1986) Evaluating Investment in Inventory Policy: A Net Present Value Framework, *The Engineering Economist*, 31 (2), 119–136. doi: 10.1080/00137918608902931
24. Luciano, E. ve Lorenzo, P. (1999) Some basic problems in inventory theory: The financial perspective, *European Journal of Operational Research*, 114, 294–303. doi: 10.1016/S0377-2217(98)00257-4
25. Mahajan, S., & Diatha, K. S. (2018). Minimizing the Discounted Average Cost Under Continuous Compounding in the EOQ Models with a Regular Product and a Perishable Product. *American Journal of Operations Management and Information Systems*, 3(2), 52-60. doi: 10.11648/j.ajomis.20180302.13
26. Thompson, H.E. (1975) Inventory Management and Capital Budgeting: A Pedagogical Note, *Decision Sciences*, 6 (2), 383–398. doi:10.1111/j.1540-5915.1975.tb01029.x
27. Trippi, R. R. ve Lewin, D. E. (1974) A present value formulation of the classical EOQ problem, *Decision Sciences*, 5, 30–35. doi:10.1111/j.1540-5915.1974.tb00592.x
28. Van der Laan, E. (2003) An NPV and AC analysis of a stochastic inventory system with joint manufacturing and remanufacturing, *International journal of Production Economics*, 81-82, 317–331. doi:10.1016/S0925-5273(02)00297-9

