



## Stokastik envanter model kullanılarak iş makinelerinin onarımında kullanılan kritik yedek parçalar için envanter yönetim sistemi oluşturulması

**Nihat Kasap<sup>1</sup>**

Yönetim Bilimleri Fakültesi  
Sabancı Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

**İlker Biçer<sup>2</sup>**

Savunma Bilimleri Enstitüsü  
Kara Harp Okulu, Ankara, Türkiye

**Banu Yüksel Özkaya<sup>3</sup>**

Endüstri Mühendisliği Bölümü,  
Mühendislik Fakültesi  
Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye

### Özet

Bu çalışmada, iş makinelerinin bakım onarım deposu için stokastik envanter modeli oluşturulmuştur. Bu model ile iş makinelerinin onarımında kullanılan kritik yedek parçalara ait envanter yönetimi yapılmaktadır. Oluşturulan model, lineer olmayan stokastik bir tam sayılı optimizasyon modelidir. Modelin hedefi, envanter maliyetlerini asgariye indirmek için yedek parçalara ait stok parametrelerini ve yeniden sipariş noktasını belirlemektir. Aynı zamanda kritik yedek parçaların envanterde bulunabilirliği de arttırılmaktadır. Modelde, sipariş sıklığı ve servis düzeyi kısıtları da göz önünde bulundurulmuştur. Çözüm metodu olarak geliştirilmiş ABC analizini içeren ve elektronik tablolarda kolayca uygulanabilen sezgisel (heuristic) bir yöntem önerilmiştir. Son olarak, önerilen model ile bir uygulama ve maliyet analizi yapılmış ve mevcut durumdaki ile modelde önerilen optimum envanter düzeyindeki maliyetlerin karşılaştırılması yapılmıştır. Model kullanımı maliyetlerde % 5'in üzerinde bir azalma sağlamaktadır.

**Anahtar Sözcükler:** Stokastik envanter yönetimi, yedek parça, buluşsal yöntem, ABC analizi, maliyet analizi.

### **Building inventory management system by using stochastic inventory model for critical spare parts used for maintenance of construction machines**

#### **Abstract**

In this study, we develop a stochastic inventory model for maintenance depot of the construction machines. With this model, the inventory of critical spare parts used for the maintenance of construction machines is managed. Proposed model is a nonlinear stochastic integer optimization problem. The aim of the model is to find out reorder points, and the maximum and minimum stocking levels of critical spare parts that minimize the inventory costs. Moreover, the availability of critical spare parts is increased. The average service level and replenishment frequency constraints are also considered in the model. To solve the model, we propose a heuristic that contains a modified ABC Analysis and can be implemented with the spreadsheet applications easily. Finally, an application and cost analysis with the proposed model are performed. The

<sup>1</sup> nihatk@sabanciuniv.edu (N. Kasap)

<sup>2</sup> ibicer73@gmail.com (İ. Biçer)

<sup>3</sup> byuksel@hacettepe.edu.tr (B. Özkaya)



comparison of total costs for the current situation and optimum inventory level that the model proposes is performed during the cost analysis. Using inventory levels and reorder amount found by the model satisfies more than 5% cost reduction.

**Keywords:** Stochastic inventory management, spare parts, heuristics, ABC analysis, cost analysis.

## 1. Giriş

Envanter, firmaların ve kurumların gelecekte oluşabilecek talebi karşılamaları ve işlemlerin verimli ve hatasız bir şekilde yürümesi için ellerinde tuttıkları ürün ve hammaddelerdir. Envanterin uygun düzeyde bulundurulması sistemlerin işleyişini olumlu yönde etkilemektedir. Uygulamada oluşabilecek beklenmedik durumlara, dalgalanmalara, düzensizliklere ve gecikmelere karşı kurumu güvence altına almak esas amaçtır. İşletmeler bir yandan kredi kaynakları ile borçlanırken, diğer yandan da yüksek envanter yükleri yaşamaktadırlar. İşletmenin sermayesinin katma değer yaratmayan noktalarda bağlı olması; nakit akıştaki problemlere, ürünün durduğu yerde maliyetsel olarak negatif yönde değerlendirilmesine, artan maliyetlerin de satış miktarında azalma olarak firmaya yansımaya neden olmaktadır.

Envanter kontrolü ile girişimci, malların firmaya getirdiği maliyeti minimum yapabilir, sermayenin ne zaman ve nereye yatırılacağı kararını verebilir. Envanter kontrolünde esas amaç en uygun zamanda optimal stok seviyesinin belirlenmesi, firmaya maliyetinin minimum olması ve bunun bir düzen içerisinde sürdürülmesidir. Eğer firmanın envanter düzeyi yüksek olursa, malların elde bulundurulmasından doğacak belirli bir maliyet vardır. Elde gereğinden fazla mal bulundurmak; depo kirası, yıpranma, bozulma, malların modasının geçmesi gibi birçok sorun firmaya belirli bir maliyet yüklemektedir. Eğer envanter düzeyi düşük olursa, firmanın gelen talepleri karşılayamamasına sebep olacaktır. Bunun da firmaya belirli ölçüde maliyet yükleyeceği açıktır. Bu iki oranı dengeleyecek ve minimum maliyeti sağlayacak optimal envanter düzeyi belirlenmelidir. Bunun en iyi şekilde yapılması envanter kontrolüyle mümkündür.

Envanter, bugün bütün işletmelerin odak noktası haline gelmiştir. İşletmelerde başarılı bir yönetim için, stok yönetiminin en iyi şekilde planlanması gereklidir. İşletmeler stoklarında çeşitli nedenlere bağlı olarak belirli bir miktardan fazla finansal kaynak ayıramazlar. Bu bakımdan işletmelerin envanter yönetimi oldukça önemlidir. Üretim ve envanter yönetiminin başarısı verimlilik ve maliyet analizlerinden ve yorumlanabilmesinden geçmektedir. Buradan hareketle arzu edilen müşteri memnuniyetini, en düşük envanter maliyeti ile sağlayabilmek envanter yönetimin en önemli amacıdır. Sistemlerin kalite ve güvenilirlik seviyelerini yüksek tutmaları bu amaca ulaşmalarında çok önemli bir yere sahiptir. Kurumların işleyişi açısından envanterin etkin bir biçimde kontrol edilmesi gerekmektedir. Ancak bu kontrol, oluşabilecek maliyetleri minimize etmek amacıyla, tüm envanterin yok edilmesi anlamına gelmemelidir. Esas kontrol; doğru malzemeyi, doğru zamanda, doğru miktarda ve doğru yerde bulundurmadır. Bu kavramlardan herhangi birinin eksikliği halinde sistemde işleyiş bakımından aksaklıklar meydana gelecektir. Örneğin, tüketimi (talebi) az olan bir malzemenin stoklarda aşırı miktarda bulunması, stok maliyetini arttıracaktır. Tam tersine, tüketimi (talebi) fazla olan bir malzemenin stoklarda yeterli miktarda bulunmaması da işleyişin duraklamasına ve servis süresinin uzamasına neden olacaktır.

İş makineleri sektöründe, herhangi bir sorun durumunda oluşabilecek yedek parça eksikliği, önceden yapılmış olan tüm plan ve programları aksatmakta ve önemli maliyetlere yol açmaktadır. Bu nedenle oluşacak talepler zamanında karşılanabilmeli ve işleyişin aksamaması sağlanmalıdır. Bunun doğal sonucu olarak da oluşan maliyetleri ve doğabilecek riskleri azaltmak için yeterli envanter bulundurmalı ve bu envanterin yönetimi iyi bir şekilde yapılmalıdır. Firmanın ihtiyaç duyulan malzeme miktarı gerek o yıl için planlanan inşaat sayısı, gerekse aniden beliren ihtiyaçlar ile doğru orantılıdır.

Dolayısıyla etkin bir malzeme ihtiyaç tespiti için inşaat ve tamirat işlerinin doğru tahmin edilmesi gerekmektedir. Tamirat sayısının tahmin edilmesi, diğer mal ve hizmetlerin talebinin tahmin edilmesinden daha zordur.

### **1.1. Stokastik Envanter Modeli**

Bir mala olan talebin zaman içerisinde değişim göstermesi ve bunun kesin olarak bilinmemesi, bunun yanı sıra tedarik süresinin de tam olarak belirlenememesi durumunda stokastik envanter modelleri kullanılmaktadır. Ancak bu değerlerin, geçmiş yıldaki verilere dayanarak, belirli bir olasılıkla tahmini mümkündür. Firma, bu verilere dayanarak stok tükenmesini önlemek için elde fazladan stok bulundurmaktadır. Belirsiz olan talepler karşısında firmalar etkin hareket edebilmek ve oluşacak tersliklere karşı emniyetli tarafta olabilmek için emniyet stoku bulundurlar. Bunun başlıca sebebi, talepte oluşacak artışın sebep olabileceği stoksuz kalma durumunun, emniyet stoku maliyetine oranla daha maliyetli ve tehlikeli olmasıdır. Talepte oluşan artış veya azalış alıcılar tarafından belirlenmekte ve alıcıların ne zaman sipariş verecekleri kendileri tarafından kararlaştırılmaktadır. Talep artışından farklı olarak, sipariş edilen envanterin zamanında gelmemesi de stoksuz kalma sorunu yaratabilmektedir [1]. Aynı zamanda tedarik zamanları da sabit olmamaktadır. Stoksuz durumunda makinelerdeki arızalardan, işçi sorunlarından ve diğer gecikmelerden dolayı üreticinin gelen siparişi karşılaması daha uzun zaman alabilmektedir. Dolayısı ile siparişin teslim süresi de değişkenlik göstermektedir. Sipariş süresindeki bu değişkenlik de stoksuzluğa neden olabilmektedir [2]. Stokastik modeller, talep dışında diğer Ekonomik Sipariş Miktarı (Economic Order Quantity - EOQ) Modeli varsayımlarını kabul etmektedirler. Bu modellerde firmalar, belirlenen uygun sipariş miktarını (Q) belirlenmiş olan yeniden sipariş zamanı (r) geldiğinde sipariş ederler. Sipariş verildikten sonra eğer talepte artış olursa, elde bulunan envanterler güvenlik stokunun altına iner, hatta tükenebilirler. Firma her ne kadar güvenlik stoku bulundursa da gerçekleşen yüksek talep doğrultusunda stoksuz kalınabilir. Bu durum da firmaların hizmet seviyelerini olumsuz etkilemektedir. Hizmet seviyesini arttırmak ve envanter sorunu yaşamamak için daha fazla güvenlik stoku bulundurmaya tercih ederler [1].

Bu çalışmada, bir mala olan talebin zaman içerisinde değişim göstermesi ve bunun kesin olarak bilinmemesi, bunun yanı sıra tedarik süresinin de tam olarak belirlenememesi durumunda kullanılan "Stokastik Envanter Modelleri" kullanılarak, XYZ organizasyonunun bakım onarım yapısına en uygun model ikinci bölümde buluşsal çözüm yöntemi ile birlikte açıklanacaktır. Üçüncü bölümde ise belirlenen çözüm metodu ile XYZ organizasyonuna ait bir uygulama ve maliyet analizi yapılacaktır. En son bölümde ise sonuç ve öneriler anlatılacaktır. Bir sonraki bölümde Tedarik zinciri, envanter yönetimi, yedek parça envanter ve bakım sistemleri ile ilgili yayın taraması özet bir şekilde anlatılmıştır.

### **1.2. Literatür Taraması**

Literatür araştırıldığında tedarik zincirlerinde en iyi stok kararlarının verilebilmesi amacıyla yönelik çok sayıda matematiksel model önerilmiştir [3-7]. Fakat matematiksel eniyileme (optimizasyon) modelleri, belirsizliğin yüksek olduğu ve gerçek hayatı yansıtmak amacıyla çok sayıda değişken ve parametrenin hesaba katılması gerektiği durumlarda karmaşık hale gelebilmektedir. Dolayısı ile bu tür belirsizlik ortamlarında simülasyon modelleme yaklaşımı tercih edilebilmektedir [8]. Tedarik zincirlerinde stok sistemlerini ele alan benzer simülasyon uygulamaları, matematiksel optimizasyon modelleri gibi yaygın olarak literatürde mevcuttur [9-13]. Bu probleme bir alternatif olarak, çoğumuzun yaygın olarak kullandığı elektronik tabloların kullanımı öne sürülebilir. Nitekim, sayısı az da olsa, tedarik zincirlerinde stok yönetimine ilişkin birtakım çalışmalarda elektronik tablolar kullanılmaya başlanmıştır [8, 14].

Literatürde özellikle bakım sistemleri envanter modelleri hakkında çalışmalar da mevcuttur. Kennedy v.d. [15] bakım stokları hakkında bugüne kadar yapılan çalışmalarını özetlemiş, yedek parça stoklarının farklı yönlerini anlatmış, önleyici ya da planlı bakımda yedek parça talebinin tahmin edilebilir olduğu için onarım parçalarına stok yapmanın gerekmediği, ancak plansız onarımlarda ise, stok boşalması durumunun oldukça maliyetli üretim ve hizmet kayıplarına sebep olmasından dolayı bir miktar güvenlik stoku tutulması gerektiğini anlatmıştır. Güvenlik stok miktarının genel yönetim politikasına, geçerliliği kalkma ve modası geçme durumuna, aşamalı depo yapısına ve şartlara bağlı olduğu anlatılmıştır.

Yang ve Du [16], operasyonda hazır bulunma maliyetinde önemli bir etkisi olan kritik yedek parçaların başlangıç tedariğini kolaylaştıran ve optimal bakım planı için kullanılan verimli bir değerlendirme metodu geliştirmişlerdir. Bu prosedür ile, toplam yaşam döngüsü maliyetini azaltmak ve bakım planlamanın etkisini iyileştirmek hedeflenmiştir.

Dekker v.d. [17], yedek parça stok sistemlerinde aynı yedek parçanın farklı kritiklikteki makinelerde kullanılıp üretim için farklı önemlere sahip olduğu durumları incelemiş ve bazı taleplerin karşılanamaması durumunda büyük elde bulunmama maliyetleri olabileceğini göstermiştir. Kurulan modelde talepler kritik ve kritik olmayanlar diye sınıflandırılmış ve farklı servis seviyeleri belirlenmiştir. Bu tür stoklama sonucunda kritik taleplerin servis seviyesinin arttığı gözlemlenmiştir.

Dhakar v.d. [18] makalelerinde, az talepli fakat operasyon için kritik ve bulunmaması durumunda aşırı maliyete neden olan önemli yedek parçaların optimal stok seviyelerini bulan gerçekçi bir model geliştirmişlerdir. S'nin stok seviyesini ifade ettiği (S-1,S) modelde, arıza olduğu herhangi bir zamanda stok durumunu S'ye tamamlamak için derhal sipariş verilmektedir.

Vaughan [19] çalışmasında düzenli bakım ve arıza bakımları sırasında talep oluşan yedek parçaların stok politikasını tarif etmektedir. Makalede tek yapılı bir sipariş politikasını karakterize eden stokastik dinamik programlama modeli kurulmuş, sipariş ve elde bulundurma maliyetlerinin farklı değerler aldığı senaryolarda optimal politikanın verimliliği incelenmiştir. Düzenli bakım ve rastgele arıza bakımları için ayrı sipariş politikalarının izlendiği duruma kıyasla toplam maliyette bu model daha ekonomik sonuçlar vermektedir.

## 2. Model

Bu bölümde, iş makinelerinin onarımında kullanılan kritik yedek parçalara ait envanter yönetim sisteminde kullanılacak model anlatılmaktadır. Oluşturulan model, lineer olmayan stokastik bir tam sayı optimizasyon modelidir. Çözüm yöntemi olarak sezgisel (heuristic) bir yöntem anlatılmıştır. Modelin hedefi, envanter maliyetlerini asgariye indirmek için yedek parçalara ait stok parametrelerini ve yeniden sipariş noktasını belirlemektir. Modelde, sipariş sıklığı ve servis düzeyi kısıtları da göz önünde bulundurulmuştur. Modele ait varsayımlardan aşağıda verilmiştir.

- Talep herhangi bir zaman aralığında rasgele değişkendir ve olasılık dağılımı durağandır.
- Talebin olasılık dağılımı normal dağılıma uygundur.
- Dolayısıyla, talebin olasılık dağılımı normal dağılım ise tedarik süresinde gelen taleplerinde dağılımı normal dağılımdır.
- Talep küçük değerlerde ve kısa zaman aralıklarında gerçekleşir ve envanter seviyesi yeniden sipariş noktasını atlamaz.
- Tedarik süresi (Lead Time) sabittir.
- Stoksuzluğa izin verilmemiştir.
- ABC analizindeki her grup için değişik servis düzeyleri (S) kullanılmıştır. Bunlar;

- A grubu için : 97,5 %
- B grubu için : 95,0 %
- C grubu için : 92,5 % dir.

## 2.1. Formülasyon

Envanter maliyetlerini sipariş sıklığı ve servis düzeyi kısıtları ile birlikte değerlendirip asgariye indirmek (minimize etmek) olan hedefimizi elde etmek için yedek parçalara ait stok parametrelerini ve yeniden sipariş noktasını belirlememiz gerekmektedir. Envanter maliyetlerini düşürürken, yedek parçaların envantere bulunabilirliğini de arttırmış oluyoruz. Modelleme yapılırken Zhang v.d [20] çalışmasından yararlanılmış ve aşağıdaki formülasyon oluşturulmuştur.

$$\text{Min} \quad : \text{Envanter Yatırımı} \quad (1)$$

$$\text{Öyle ki} \quad : \text{Ortalama Sipariş Sıklığı} \leq F \quad (2)$$

$$\text{Ortalama Servis Düzeyi} \geq S \quad (3)$$

Yukarıdaki denklemlerde "F" hedef sipariş sıklığını, "S" ise arzulan servis düzeyini göstermektedir. Model oluşturulurken, en az 2 haftada bir sipariş verildiği farz edilmiş, dolayısı ile "F" değeri bir yılda 26 olmuştur. Aynı zamanda modelde kullanılan servis düzeyleri, ABC sınıflandırması ile bulunan ilgili gruplar yardımı ile oluşturulmuş ve değerler aşağıdaki gibi kabul edilmiştir.

$$S_A \geq 0,975$$

$$S_B \geq 0,950$$

$$S_C \geq 0,925$$

Servis düzeylerini, ortalama servis düzeyi olarak kullandığımız için yüksek servis düzeyine sahip bir parçanın kullanılması düşük servis düzeyli diğer bir parçayı dengelemiştir. Yukarıda verilen formülasyondan anlaşılacağı gibi sipariş ve stoksuzluk maliyetlerine bağlı maliyet tabanlı bir model yerine kısıtlara bağlı bir model geliştirilmiştir. İki yaklaşım da aslında birbirinin benzeridir. Lagrange çarpanları yöntemi ile kısıtlar hedef fonksiyonuna getirilebilir. Kısıta bağlı model kurmamızın sebebi, gerçek hayattaki uygulamalarda şirketlerin sipariş ve stoksuzluk maliyetleri yerine kısıtlar için değerler belirlemeyi daha çok tercih etmeleridir. Bu model yardımıyla belirli servis seviyesi ve sipariş sıklığı değerlerine ulaşmak için gerekli envanter maliyeti hesaplanabilmekte, dolayısıyla da karar vericileri daha rahat destekleyen bir yapı oluşturulmaktadır.

## 2.2. Notasyon

Modelde kullanılan notasyon aşağıda verilmiştir.

$F$  = Hedef sipariş sıklığı

$S$  = Servis düzeyi (Kullanıcı tarafından belirlenmiştir)

$N$  = Yedek parça sayısı

$c_i$  = Yedek parça  $i$ 'nin birim fiyatı (TL)

$D_i$  = Yedek parça  $i$  için tahmin edilen yıllık talep miktarı

$$D_{total} = \sum_{i=1}^N D_i$$

$p_i(\cdot)$  = Yedek parça  $i$ 'ye ait talebin tedarik süresi (lead time) boyunca olasılık yoğunluk fonksiyonu

$P_i(\cdot)$  = Yedek parça  $i$ 'ye ait talebin tedarik süresi (lead time) boyunca olasılık kümülatif dağılım fonksiyonu

$l_i$  = Yedek parça i için tedarik süresi (Lead time)

$\theta_i$  = Yedek parça i için tedarik  $l_i$  süresince tahmin edilen (ortalama) talep miktarı

$\theta_i = l_i \times D_i$

$\sigma_i$  = Yedek parça i'nin tedarik süresindeki talebin standart sapma değeri

$Q_i$  = Yedek parça i için sipariş miktarı

$r_i$  = Yedek parça i için yeniden sipariş noktası

$A_i(r_i, Q_i)$  = Yedek parça i için stokun tükenme olasılığı

$B_i(r_i, Q_i)$  = Yedek parça i için herhangi bir zamandaki tahmini geri ısmarlama (backorder) sayısı

$A_i(r_i, Q_i)$  ve  $B_i(r_i, Q_i)$  miktarları aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir.

$$B_i(r_i, Q_i) = \frac{1}{Q_i} [\beta_i(r_i) - \beta_i(r_i + Q_i)] \quad (4)$$

Burada;

$$\beta_i(r_i) = \sum_{u=r_i+1}^{\infty} (u - r_i - 1) [1 - P_i(u - 1)] \quad (5)$$

$$\beta_i(r_i + Q_i) = \sum_{u=r_i+Q_i+1}^{\infty} [u - (r_i + Q_i) - 1] [1 - P_i(u - 1)] \quad (6)$$

olarak hesaplanır ve tedarik süresi (lead time) nedeniyle oluşan zaman ağırlıklı geri ısmarlama'yı temsil etmektedir.

$$A_i(r_i, Q_i) = \frac{1}{Q_i} [\alpha_i(r_i) - \alpha_i(r_i + Q_i)] \quad (7)$$

$$a_i(r_i) = \sum_{u=r_i+1}^{\infty} (u - r_i) p_i(u) \quad (8)$$

$$a_i(r_i + Q_i) = \sum_{u=r_i+Q_i}^{\infty} [u - (r_i + Q_i)] p_i(u) \quad (9)$$

Yukarıdaki formüllerde  $a_i$ ,  $r_i$  ve  $(r_i + Q_i)$  fazlalığı sonucu tahmini tedarik süresince oluşan talebi temsil etmektedir.

Yedek parça i için herhangi bir zamandaki tahmin edilen envanter miktarı aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanabilir.

$$\left[ \frac{Q_i}{2} + r_i - \theta_i + B_i(r_i, Q_i) \right] \quad (10)$$

Burada tahmin edilen envanter miktarı, envanter düzeyi + güvenlik stoku (safety stock) + geri ısmarlama miktarı olarak hesaplanır.

Yukarıda verilen notasyon ile model aşağıdaki gibi oluşturulur.

$$\text{Min} \quad \sum_{i=1}^N c_i \left[ r_i - \theta_i + \frac{Q_i}{2} + B_i(r_i, Q_i) \right] \quad (11)$$

$$\text{Öyle ki; } \left(\frac{1}{N}\right) \sum_{i=1}^N \frac{D_i}{Q_i} \leq F \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^N \frac{D_i}{D_{\text{Toplam}}} [1 - A_i(r_i, Q_i)] \geq S \quad (13)$$

$$r_i \geq \theta_i \quad (14)$$

$$Q_i \geq 1 \quad (15)$$

$$r_i, Q_i \text{ tamsayı} \quad (16)$$

Denklem (12), sipariş sıklığı kısıtıdır.  $Q_i$  sipariş miktarı, yedek parça  $i$  için bir yılda ortalama sipariş sayısının  $\frac{D_i}{Q_i}$  olduğunu gösterir. Bu fikre dayanarak sipariş sıklığı kısıtı yukarıdaki gibi yazılmıştır. Servis seviyesi kısıtını da (13) ortalama servis seviyesinin  $1 - A_i(r_i, Q_i)$  olduğu düşünülerek yazılabilmektedir. Burada  $A_i(r_i, Q_i)$ , yedek parça  $i$  için stokun herhangi bir zamanda tükenme olasılığını göstermektedir. Denklem (14)'te  $\theta_i$ 'yi kullanarak, bütün parçalar için servis seviyesinin yaklaşık olarak en az %50 olduğu garanti edilmektedir. Böylelikle bazı yedek parçalar için istenmeyen düşük servis seviyesi oluşması da engellenmiştir.

Oluşturulan bu model lineer olmayan bir tam sayılı optimizasyon problemidir. Model, klasik  $(Q, r)$  modeline benzemektedir ve sezgisel yöntemler ile çözülebilir. Model çözümünde kullanılacak olan yöntem bir sonraki bölümde özetlenmiştir.

### 2.3. Sezgisel Yöntem

Bu bölümde sipariş miktarları ve yeniden sipariş noktalarını bulmak için kullanılan ve Zhang v.d [20] tarafından önerilen sezgisel yöntem anlatılmaktadır. Öncelikle bu yöntemde yedek parçalar sınıflara bölünmekte ve her sınıf içerisinde servis seviyesi sabit olmaktadır. Sistem içerisindeki her bir parça için servis seviyesi aramak yerine sadece aramayı birkaç servis seviyesi için yaparak, optimizasyon probleminin boyutu kayda değer bir miktarda azaltılmaktadır. Sipariş miktarı ve yeniden sipariş noktası için, basit kapalı formda ifadeler bulunmuştur. Bu ifadeler aşağıda açıklanmıştır. Bu ifadeleri kullanarak Excel tablosu yardımıyla basit bir analiz oluşturup modeldeki kısıtları sağlayan ve en düşük maliyeti verir parametreler kolayca bulunabilmektedir.

Geleneksel ABC analizinde sınıflandırma için, parçalar birim maliyet veya yıllık maliyetlerine göre sıralanmaktadır. Burada parçaları sıralama yaparken [20]'de önerildiği gibi  $\frac{D_i}{Q_i c_i^2}$  oranı kullanılmış, azalan şekilde sıralama yapılmış ve daha sonra ABC gruplaması yapılmıştır.

#### 2.3.1. Sipariş Miktarını Hesaplama

Sipariş miktarı ( $Q_i$ ) geleneksel EOQ denklemi kullanılarak aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$Q_i = \sqrt{2 \frac{KD_i}{c_i}} \quad (17)$$

Azrulan sipariş sıklığını belirleyen  $K$  değerini bulmak için aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{D_i}{Q_i} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{D_i}{\sqrt{2 \frac{KD_i}{c_i}}} \leq F \quad (18)$$

Daha sonra yukarıdaki denklem yardımı ile K değeri aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$K \geq \frac{1}{2} \left( \frac{1}{NF} \sum_{i=1}^N \sqrt{D_i c_i} \right)^2 \quad (19)$$

$$\text{Eğer } Q_i = \left\{ \frac{1}{NF} \left( \sum_{i=1}^N \sqrt{D_i c_i} \right) \sqrt{\frac{D_i}{c_i}} \right\} \quad (20)$$

olarak kullanır ve  $Q_i \geq 1$  kısıtını getirirsek, EOQ modelinin genel fikrini kullanarak yukarıdaki tanımı aşağıdaki gibi tekrar yazabiliriz.

$$Q_i = \max \left\{ \frac{1}{NF} \left( \sum_{i=1}^N \sqrt{D_i c_i} \right) \sqrt{\frac{D_i}{c_i}}, 1 \right\} \quad (21)$$

Sipariş sıklığı kısıtını sağlamak ve güvenli aralıkta kalmak için,  $Q_i$  değerleri Excel programında bulunurken, en yakın ilk büyük tamsayıya yuvarlanmıştır.

### 2.3.2. Yeniden Sipariş Noktasının Hesaplanması

Yedek parça için yeniden sipariş noktası  $r_i$  değerini bulmak için [20]'de önerildiği gibi Nahmias [21] kitabındaki Tip I ve Tip II yaklaşımlarını kapsayan karma bir yöntem kullanılmaktadır. Verilen sipariş miktarı  $Q_i$  ve hedef servis seviyesi  $S_i$  değerlerini kullanarak yeniden sipariş noktası  $r_i$  değerini bulmak için talep miktarı normal dağışım olarak düşünülmüştür. Ortalama talep miktarı  $\theta_i$  ve standart sapma  $\sigma_i$  değerleri kullanılmaktadır. Tip I servis düzeyi tedarik süresinde stok bulundurma olasılığıdır. Tip II ise stok yardımı ile zamanında karşılanan talebin oranını göstermektedir.

### 2.3.3. Karma Yaklaşım

Tip I ve Tip II yaklaşımlarından daha iyi bir uygun sonuç bulmak için, yeniden sipariş noktaları için karma bir formül bulunmaktadır. [20]'de bu yaklaşımlar aşağıdaki karma denklemlerde birleştirilmiştir.

$$r_i = \theta_i + \sigma_i \min \left\{ \sqrt{-2 \ln \left( \frac{\sqrt{2\pi}(1-S_i)(Q_i + z_{s_i} \sigma_i)}{\sigma_i} \right)}, z_{s_i} \right\} \quad (22)$$

$$\text{eğer } \ln \left( \frac{\sqrt{2\pi}(1-S_i)(Q_i + z_{s_i} \sigma_i)}{\sigma_i} \right) \leq 0 \quad (23)$$

$$\text{Eğer } \ln \left( \frac{\sqrt{2\pi}(1-S_i)(Q_i + z_{s_i} \sigma_i)}{\sigma_i} \right) > 0 \text{ ise stoksuzluk maliyetini en azda tutmak için, } r_i$$

değeri, "1" olarak kabul edilir.

Bir sonraki bölümde model ile yapılan bir uygulama anlatılmıştır. Bu uygulamada excel tabloları yardımıyla model ve önerilen sezgisel yöntem test edilmiş ve maliyet analizi yapılmıştır.



### 3. Modelin XYZ Organizasyonundaki Uygulaması

Uygulama ve maliyet analizi için XYZ organizasyonuna ait depodaki malzemelerin 01.01.2005 ile 31.12.2008 tarihleri arasındaki stok kayıtları kullanılmıştır. Öncelikle depo kayıtlarındaki 200 adet malzeme için ABC analizi yapılmış ve 50 kritik malzeme bulunmuştur.

#### 3.1. ABC Analizinin Yapılması

ABC analizi birçok farklı envanter kaleminin olması durumunda envanterleri incelemede yardımcı olur. Bu analiz, envanteri oluşturan elemanların, talep ve fiyat oranlarına göre önem derecelerine dayanarak sıralanmasını göstermektedir. Yani, nicel bir yöntem olan ABC yöntemi, önemli ile önemsizi ayırma işlevini gerçekleştirmektedir. Bu analiz önemli stok kalemlerini belirleme ve kontrol etmek amacıyla çok sayıdaki stok kalemini 3 gruba ayırır. Stoktaki tüm kalemlere aynı stok yönetim teknikleri uygulamamak için yakın takip ve izleme gerektiren önemli kalemler, diğerlerinden ayırt edilir. A grubu malzemeler sistem için çok önemli, değerinde pahalı ve sayıda az kalem grubu olarak ortaya çıkar. B grubu malzemeler ise orta değerinde ve sayıda ortalama bir rakamda oluşur. C grubu malzemeler ise sistem için az önemli, değerinde ucuz fakat sayıda çok kalem grubu olarak ortaya çıkar. Sınıflara ait toplam değer yüzdesi ve toplam kalemlerin yüzdesi Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1 ABC Analizinde Kullanılan Toplam Değer ve Kalem Yüzdeleri**

Sınıfı	Toplam değer yüzdesi	Toplam Kalem yüzdesi
A	70 - 80	15 - 20
B	15 - 25	30 - 40
C	5 - 10	50 - 55

Talep ve fiyat kriterleri ile gerçekleşen iş makinelerine ait yedek parçaların ABC sınıflandırması yapılmış ve ABC analizi sonucunda her bir sınıf malzemelerin toplam değer yüzdesi ve toplam kalemlerin yüzdesi Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2 ABC Analizi Sonucu Bulunan Yüzdeler**

Sınıfı	Toplam değer yüzdesi	Kalem Sayısı	Toplam Kalem yüzdesi
A	73,4657	32	16
B	22,51	64	32
C	5,01	102	52

Sonuç olarak ABC analizi envanter kalemlerinin toplam envanter içindeki kümülatif yüzdelere göre sınıflandırmasından ibarettir. Yüksek değerli A kalemlerinden az miktarda bulundurmamak fakat kontrolü sıklaştırmak ve ayrıntılı kayıtlar gerekli olacaktır. Buna karşın düşük değerli C kalemlerinden bol miktarda bulundurmalı; kontrol, sipariş ve kayıt işlemleri basit tutulmalıdır. Stok miktarları fazla olduğundan sık sık gözden geçirme ve sipariş işlemlerine gerek yoktur. ABC analizi ile hedeflenen yıllık büyük harcama gerektiren kalemlere dikkat çekmek ve böylece A grubu malların stok düzeylerini düşürerek toplam maliyeti azaltmaktır. XYZ organizasyonunun envanterinde olan yedek parçalara uygulanan ABC analizi sonucunda malzemeler önem derecesine göre ayrılmış olup, A grubu malzemelerin tamamı (32 Kalem) ile B grubu malzemelerin ilk 18 kalemi; toplam maliyet kriterleri doğrultusunda A grubuna yakın oldukları için; toplam 50 kalem malzeme kritik malzeme sınıfına dahil edilmiştir.

### 3.2. Sipariş Miktarı ve Yeniden Sipariş Noktasının Belirlenmesi

Kritik malzemelere ait sipariş miktarları ( $Q_i$ ) Excel programı ile hesaplanmış ve EK-C'de verilmiştir. Ne kadar sipariş edileceğini bilmek yeterli değildir. Hangi noktada sipariş verileceğini bilmek de önemlidir. Eldeki miktar önceden belirlenmiş bir miktara düştüğünde tekrar sipariş vermenin zamanıdır. Bu miktar, teslimat süresi boyunca gelecek talebi ve stoksuz kalmamak için bir miktar güvenlik stoğunu içerir. Yani kısacası yeni siparişin verilmesini gerektirdiği kabul edilen stok düzeyidir.

Yeniden sipariş noktasını önceki bölümde verilen denklemi (22) kullanarak hesaplayabiliriz. Sistemimizde belirlediğimiz kritik malzemelere ait yeniden sipariş noktaları ( $r_i$ ) Excel programı ile hesaplanmış ve EK-D'de verilmiştir.

Bütün hesaplamalar sonucunda EK-E'de  $Q(i)$  ve  $r(i)$  değerleri ve her bir malzemenin birim dönemde alacağı maksimum ile minimum envanter düzeyleri topluca verilmiştir. Güvenli aralıkta kalmak için  $Q(i)$  ve  $r(i)$  değerleri yukarı yuvarlanmıştır.

### 3.3. Maliyet Analizi

Maliyet analizinde kullanılan değerler, faaliyete dayalı maliyetlendirme sayesinde, satın alma (sipariş), ürün giriş kontrolü ve depolama faaliyetlerine göre gruplandırılıp eldeki kaynakların bu faaliyetler için ne kadar harcama yaptıkları tespit edildikten sonra hesaplanmıştır. Her bir faaliyetin kaynaklardan ne kadar kullandığı ve maliyetlerin elde edilmesinde kullanılan veriler Tablolar 3-8'de yer almaktadır. Tablo-3, maliyet analizinde kullanılan kaynakları (masraf sınıfları), bunların toplam değer ve birim maliyetlerini içermektedir.

**Tablo 3 Kaynakların Toplam Değerleri ve Maliyetleri**

Kaynaklar (Masraf Sınıfları)	Kaynak Maliyet Anahtarları	Toplam Değer	Maliyet (TL/ay)	Birim Maliyet	Birim Maliyet Anahtarı
Depo Yönetimi	Süre (saat)	160	2000	12,5	TL/saat
Depo Personeli	Süre (saat)	320	547,54	1,7111	TL/saat
Telefon	Konuşma Süresi (dak.)	1200	15	0,0125	TL/dakika
Mali ve İdari İşler	Süre (saat)	800	10600	13,25	TL/saat
Sınıflandırılmayan Masraflar (Posta, Su, Elektrik vb.)	Personel Sayısı	8	100	12,5	TL/personel

Depo yönetiminden sorumlu bir personel vardır ve aylık maaşı Tablo-3'de maliyet olarak verilmiştir. Depo personeli olarak 2 çalışan mevcuttur ve bir çalışanın maliyeti de 273,77 TL/ay olarak verilmiştir. XYZ organizasyonuna ait depo, organizasyonun devlet kuruluşu olması nedeniyle kira gideri bulunmamaktadır. Deponun yapım yılı 1985 ve 20 yıldan eski olduğu için amortisman hesabı yapılmasına gerek görülmemiştir. Üstelik analiz sonrası, depolama maliyetinin diğer maliyetlere göre kayda değer derecede düşük olduğu ve amortismanı katmamanın fazla bir etki yaratmadığı görülmüştür. Mali ve idari işler (saymanlık ve maliye bölümü) maliyetini hesaplarken bu bölümlerdeki 5 adet personele ait toplam maaş miktarı alınmıştır. Bütün bunlara ek olarak, maliyet hesabında aylık irsaliye sayısı 50 olarak kullanılmıştır.

Tablo-4'te "Sınıflandırılmayan Masrafların (Posta, Su, Elektrik vb.)" ürün giriş kontrolü ve depolama faaliyetleri için her bir irsaliye başına olan birim maliyeti hesaplanmıştır. Sınıflandırılmayan masraflara, sipariş süresince bilgisayar kullanımı dolaylı olarak elektrik maliyetleri eklenmiştir.

**Tablo 4 Sınıflandırılmayan Masrafların Maliyet Personel Sayı Bilgileri**

Faaliyetler	Ortalama Personel Sayısı	Kullanım Yüzdesi	Maliyet (TL/irsaliye)
Ürün Giriş Kontrolü	3	0,375	0,75
Depolama	2	0,25	0,5

Tablo 5-6'da depo yönetimi, depo personeli ve mali ve idari işler kaynaklarının, Tablo 7'de ise telefon kullanımının ürün giriş kontrolü ve depolama faaliyetleri için irsaliye başına düşen birim personel maliyetleri hesaplanmıştır.

**Tablo 5 Ürün Giriş Kontrolü İçin Maliyet Değerleri**

Ürün Giriş Kontrolü	Depo Yönetimi	Depo Personeli	Mali ve İdari İşler
Ürün Giriş Kontrolü Toplamı (saat/irsaliye)	1	1	3,5
Maliyet (TL/irsaliye)	12,5	1,7111	46,375
Ürün Giriş Kontrolü Personel Maliyeti	60,5861 TL/irsaliye		

**Tablo 6 Depolama Faaliyetleri İçin Maliyet Değerleri**

Depolama	Depo Yönetimi	Depo Personeli	Mali ve İdari İşler
Depolama Toplamı (saat/irsaliye)	0,5	4	0
Maliyet (TL/irsaliye)	6,25	6,8443	0
Depolama Personel Maliyeti	13,0943 TL/irsaliye		

**Tablo 7 Depo Telefon Bilgileri**

Faaliyet	%	TL/ay	Maliyet (TL/irsaliye)
Ürün Giriş Kontrolü Kullanımı	40	6	0,12
Depolama	10	1,5	0,03

İhtiyacımız olan bir başka veri de irsaliye başına sipariş maliyetidir. Depo içerisinde sipariş ile ilgili 3 ana bölüm (satın alma, muhasebe ve depo) vardır. Tablo 8'de bu bölümlerde sipariş için ne kadar zaman ve kaynak harcadığı ve bunların maliyete yansımaları gösterilmektedir.

**Tablo 8 Sipariş Verme Maliyetleri**

Kısım	Faaliyet	Personel (insan - dakika)			Kırtasiye (TL/sipariş)	Telefon ve Diğer (TL/sipariş)
		Satın alma (dak.)	Depo (dak.)	Telefon (dak.)		
Depo	Satın alma talebinin oluşturulması		10	5	1	
Satın Alma	Siparişin Hazırlanması	15			2	1
	Tedarikçiye Bildirilmesi	5		5	1,5	1
	Sipariş Takibi (Telefon Görüşmeleri)	20		15		0,5
	Ürün Gelişi / Sipariş Kontrolü		10			0,5
Depo	Teslim Alış, Ürün Kontrolü	20	15	5	0,5	0,5
Depo ve Muhasebe	Fatura Kontrolü	15	5	5		0,5
<b>TOPLAM</b>		<b>75</b>	<b>40</b>	<b>35</b>	<b>5</b>	<b>4</b>

Sipariş maliyetinin hesaplanmasında, bu bölümlerde sipariş için harcanan zaman dilimlerinden, dolayısıyla bu iş için görevlendirilmiş kişilerin bu zaman aralığında fabrikadan almayı hak ettiği ücret tutarından faydalanılacaktır. Sipariş maliyeti hesaplamalarında bir sipariş için çeşitli bölümlerin harcadığı süreler ve kaynaklar, uygulamanın yapıldığı organizasyona ait güncel ve gerçeğe yakın değer ve süreler kullanılarak tespit edilmiştir.

Tablo 9'da görüldüğü gibi maliyet kalemleri tespit edildikten sonra hesaplamalar yapılmıştır. Brüt ortalama iş gören maliyeti, aylık çalışma saatine bölünerek 1 dakikalık işgücü maliyeti bulunmuştur. Sipariş maliyeti de dakikalık işgücü maliyetinin sipariş için harcanan süreler ile çarpılıp kırtasiye, telefon ve diğer maliyetler ile toplanması sonucu hesaplanmıştır.

**Tablo 9 Sipariş ve Ürün Depolama Maliyetleri**

Brüt Ortalama İşgören Maliyeti (TL / insan - ay)	2100
Aylık Çalışma Saati	160
Brüt Ortalama İşgören Maliyeti (TL / insan - dakika)	0,21875
<b>Sipariş Maliyeti (TL / sipariş)</b>	<b>41,8125</b>
Depo Kirası (TL / ay)	0
Depo Efektif Hacmi (m3)	10
Ürün Depo Kira Maliyeti (TL / m3 - ay)	0
Ürünün Sigorta, Isınma ve İşçilik Maliyetleri (TL / ay)	1000
Ürünün Sigorta, Isınma ve İşçilik Birim Maliyetleri (TL / m3 - ay)	100
<b>Ürünün Depolama Maliyeti (TL / m3 - ay)</b>	<b>100</b>

Ürünün depolama maliyeti ise, depo kirasının efektif hacme bölündükten sonra sigorta, ısınma ve işçilik maliyetleri toplanarak hesaplanmıştır. Depo efektif hacmi hesaplanırken, model sonucu bulunan ve maliyet hesaplarında kullanılan her bir yedek parça ürün için aylık ortalama envanter düzeyi ve bu ürünlerin depoda raflarda kapladığı toplam hacim düşünülmüş ve efektif hacim 10 m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Kritik 50 ürünün kapladığı toplam hacim 5,34 m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Depoda toplam 200 ürün olduğu için, kritik olmayan diğer 150 ürünü de düşününce efektif hacim 10 m<sup>3</sup> olarak hesaplamaya katılmıştır. Ürünün sigorta, ısınma ve işçilik maliyetleri için ayda 1000 TL harcadığı, m<sup>3</sup> başına 100 TL ettiği bulunmuştur.

Bütün bu hesaplamalar sonucunda oluşan ürün giriş kontrolü ve depolama faaliyetlerine ait maliyetler Tablo 10'da özetlenmiştir.

**Tablo 10 Depo Faaliyetlerine Ait Birim Maliyetler**

<b>Faaliyet</b>	<b>Maliyet (TL/irsaliye)</b>
Ürün Giriş Kontrolü	61,4561
Depolama	13,6243

Yukarıdaki tablolarda açıklanan birim maliyet değerlerini kullanarak depo için toplam envanter maliyeti (her bir malzeme j için) aşağıdaki formül ile bulunmaktadır.

$$\text{Toplam Envanter Maliyeti}_j = \text{Elde Bulundurma Maliyeti}_j + \text{Ürün Giriş Kontrol Maliyeti}_j + \text{Sipariş Maliyeti}_j$$

Yukarıdaki formülde elde bulundurma maliyeti aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\text{Elde Bulundurma Maliyeti}_j = \text{Depolama Maliyeti}_j + \text{Yatırım Maliyeti}_j$$

Her bir malzeme için yatırım maliyetini bir başka deyişle, stoğa bağlanan sermayenin maliyetini hesaplamak için, bankalardan alınan kredi faizi kullanılmıştır. Yıllık kredi faizi,

aylık kredi faizine dönüştürülmelidir. Buna göre organizasyonun yıllık sermaye maliyeti % 14 alınmıştır. Bundan hareketle aylık maliyet ise %1,097885 olarak hesaplanmıştır. Yıllık faizin, aylığa dönüşümü aşağıda gösterilmiştir. Yıllık faiz "r<sub>y</sub>", aylık faiz ise "r<sub>a</sub>" ile gösterilmiştir.

$$r_a = (1 + r_y)^{1/12}$$

$(1 + 0,14)^{1/12} = 1,01097885$  ve aylık faiz = 0,01097885 olarak elde edilmiştir.

Buna göre yatırım maliyeti, malzemenin alış fiyatının aylık faiz ile çarpımından elde edilir. Malzemelerin birim alış fiyatları (baf) stok kayıtlarında alınmıştır. Her bir ürün için aylık yatırım maliyeti, baf x 0,01097885 TL olarak hesaplanır. Depolama, ürün giriş kontrol ve sipariş maliyetleri aşağıdaki formüller ile hesaplanmaktadır.

Depolama Maliyeti<sub>j</sub> = Ortalama Stok<sub>j</sub> \* Birim Depolama Maliyeti + 13,6243 TL/irsaliye

Depolama Maliyeti<sub>j</sub> = Ortalama Stok<sub>j</sub> \* 100 TL/m<sup>3</sup> + 13,6243 TL/irsaliye

Ürün Giriş Kontrol Maliyeti<sub>j</sub> = 61,4561 TL/irsaliye

Sipariş Maliyeti<sub>j</sub> = 41,8125 TL/sipariş

Aşağıdaki bölümlerde model uygulamadan önceki ve sonraki toplam envanter maliyeti hesaplanmış ve karşılaştırılması yapılmıştır.

### 3.3.1. Model Uygulanmadan Önceki Toplam Envanter Maliyet

Mevcut durumdaki toplam maliyeti hesaplamak ve modelde önerilen optimum envanter düzeyindeki maliyetler ile karşılaştırmak amacıyla, ABC analizi sonucu kritik olarak belirlenen 50 kalem ürün için envanter maliyeti hesaplanmış ve Ek-A'da bu kritik malzemelere ait ürün, depolama ve yatırım maliyetleri verilmiştir. ABC analizi sonucu kritik olarak belirlenen 50 kalem malzemenin bir yıllık satın alma miktarı toplamı 1382 olarak belirlenmiştir. Bir siparişte ortalama olarak 2 adet ürün olduğu varsayıldığından mevcut durumda aylık sipariş miktarı 58 olarak hesaplanmıştır. Mevcut durumdaki hesaplanan toplam maliyetler Tablo 11'de aşağıda verilmiştir.

**Tablo 11 Kritik Malzemeler İçin Toplam Maliyetler**

Sipariş Maliyeti	2.425,13 TL/ay
Ürün Giriş Kontrol Maliyeti	3.564,45 TL/ay
Depolama Maliyeti	1.415,40 TL/ay
Yatırım Maliyeti	2.502,78 TL/ay
Elde Bulundurma Maliyeti	3.918,18 TL/ay
Toplam Envanter Maliyeti	9.907,76 TL /ay
Toplam Ürün Maliyeti	227.963,34 TL/ay
<b>Toplam Maliyet</b>	<b>237.871,10 TL /ay</b>

### 3.3.2. Model Uygulandıktan Sonraki Toplam Envanter Maliyeti

Toplam maliyeti hesaplamak için ABC analizi sonucu kritik olarak belirlenen 50 kalem ürün için envanter maliyeti hesaplanacaktır. Ek-B'de bu kritik malzemelere ait ürün, depolama ve yatırım maliyetleri verilmiştir. Toplam envanter maliyetini hesaplamak için bu malzemelerin ürün giriş kontrol ve sipariş maliyetlerini de hesaba katmak gerekiyor. ABC analizi sonucu kritik olarak belirlenen 50 kalem malzemenin bir yıllık talep miktarı toplamı 1268 olarak belirlenmiştir. Aylık sipariş miktarı 50 olarak verildiği için, ortalama olarak bir sipariş 2 adet ürün içermektedir. Maliyet analizinde mevcut depo envanteri ile dördüncü bölümde önerilen model sonucu belirlenen optimum envanter değerlerini kıyaslarken bir siparişte ortalama olarak 2 adet ürün olduğu varsayılacak ve mevcut durumda aylık sipariş miktarı 50'den farklı olacaktır. Dolayısı ile ürün giriş kontrol ve sipariş maliyetlerini de değişecektir.

Model uygulamasından sonra hesaplanan toplam maliyetler Tablo 12’de verilmiştir.

**Tablo 12 Kritik Malzemeler İçin Toplam Maliyetler**

Sipariş Maliyeti	2.090,63 TL/ay
Ürün Giriş Kontrol Maliyeti	3.072,81 TL/ay
Depolama Maliyeti	1.146,67 TL/ay
Yatırım Maliyeti	2.361,09 TL/ay
Elde Bulundurma Maliyeti	3.507,76 TL/ay
Toplam Envanter Maliyeti	8.671,19 TL /ay
Toplam Ürün Maliyeti	215.058,26 TL/ay
<b>Toplam Maliyet</b>	<b>223.729,45 TL /ay</b>

Mevcut durumdaki ve modelde önerilen optimum envanter düzeyindeki maliyetlerin karşılaştırılması Tablo 13’te verilmiştir. Model kullanımı maliyetlerde % 5’in üzerinde bir azalma sağlamaktadır. Ürün satın alma maliyeti düşünülmediği zaman, envanter maliyetinde % 12’nin üzerinde kayda değer bir azalma sağlanmaktadır.

**Tablo 13 Mevcut ve Optimum Maliyetlerin Karşılaştırılması**

	Mevcut Durum	Optimum Durum	% Azalma
Toplam Ürün Maliyeti	227.963,34 TL /ay	215.058,26 TL /ay	5,66
Toplam Envanter Maliyeti	9.907,76 TL /ay	8.671,19 TL /ay	12,48
Toplam Maliyet	237.871,10 TL /ay	223.729,45 TL /ay	5,95

Model kullanımının sağladığı diğer bir fayda da servis seviyeleri üzerine olmuştur. Modelin verdiği stok miktarı kullanıldığı zaman daha iyi bir servis seviyesi sağlanmıştır. Kritik olan 50 malzemenin tamamı servis seviyesini sağlarken mevcut durumda kritik malzemelerden 23 tanesi servis seviyesini sağlayamamaktadır. Servis seviyesi, müşteri siparişlerinin doğru miktarda, doğru zamanda, doğru fiyatla müşteriye ulaştırılanların yüzdesi şeklinde tanımlanabilir. Bir başka deyişle, talebin direk stoktan karşılanma olasılığı şeklinde tanımlanan servis seviyesi tipik %95 olarak belirlenmektedir. Genellikle envanterdeki malzemelere önemlerine göre servis seviyeleri verilmektedir. Böylece çok önemli parçalar %97.5 seviyelerindeyken, daha az önemliler %92.5 seviyesinde olabilmektedir.

#### **4. Sonuçlar**

A, B, C grubu parçalar, toplam değer içinde nisbi önemlerine göre yüksek değerli, orta değerli, düşük değerli stok kalemlerini temsil eder. Bu ayırım, stokların kontrol faaliyetlerinin farklılaştırılmasını sağlamıştır. Buna göre XYZ organizasyonundaki A grubu stok kalemleri, çok sıkı bir kontrole tabi tutulmalıdır. Stok yönetim sisteminin miktar ve zaman kararıyla ilgili olarak, sipariş miktarı, emniyet stoku, tedarik süresi, fiili stoklar gibi sistemin temel faktörlerinin hepsi dikkatle kontrol etmelidir. Bütün faktörlerin sık sık kontrol edilmesi, daha az kabul yapılmasını mümkün kılacağından, kontrol fonksiyonunun hassasiyeti arttıracaktır. Siparişlerin sık sık verilmesinden amaç, fiili stokların, talebe mümkün olduğu kadar yakın bulunmasını temin etmektir. Böylece emniyet stoklarının, minimum seviyede tutulması sağlanmış olur. Sık sık siparişlerle, stokların işletmede bekleme sürelerinin azalması dolayısıyla, elde stok bulundurma masraflarının azalmasına, talebin karşılanmama ihtimallerinin azalması nedeniyle, stok tükenme hadisesinin sebep olacağı, maliyetlerin azalmasına ve emniyet stok seviyesinin, minimum tutulabilmesi nedeniyle, yine bu stoklarla ilgili, elde bulundurma masraflarının, azalmasını mümkün kılacaktır.

C grubu stok kalemlerinin kontrolünde, A grubu stok kalemlerinin kontrolünde, uyulması gereken yöntem ve politikaların tamamen aksinde bir davranış göstermesi beklenmelidir. Büyük miktarda ve uzun aralıklarla sipariş verilmeli, yüksek seviyeli emniyet stokları tesis

edilmeli, kayıt, raporlama ve kontrol faaliyetleri azaltılmalıdır. C grubu stok kalemlerinin, birim başına elde bulundurma masrafı düşük olduğundan, yüksek emniyet stokları ekonomiktir. Bu grup kalemlerin, genellikle standart mallar olması nedeniyle, eskime ve yıpranma riski azdır. Belirlenen bir politika ile, bütün C grubu kalemleri için emniyet stokları tayin edilmelidir bunun için her kalem için, ayrı ayrı emniyet stoku seviyesi tayin etmeye lüzum yoktur. C grubu stok kalemleri için, siparişlerin az fakat büyük miktarlarda olması neticesinde, ortalama stoklar yükselecektir, dolayısıyla elde stok bulundurma masrafları artar. Ancak, elde bulundurma masrafı, aynı zamanda birim maliyetlere de bağlı olduğundan, C grubu stok kalemlerinin birim maliyeti, düşük unsurlar olması nedeniyle, bu artışın çok büyük olması beklenmemelidir.

Mevcut durumdaki toplam ürün maliyetinin 227.963,43 TL olduğu ve önerilen model ile bu maliyet 215.058,26 TL ye düştüğü ve bunun da yaklaşık % 5,66'lık bir iyileştirme anlamına geldiği hesaplanmıştır. Yine aynı hesaplamalar doğrultusunda mevcut toplam envanter maliyetinin 9.907,76 TL'nden 8.671,19 TL'ye düştüğü yani % 12,48'lik kayda değer bir iyileştirme sağladığı bulunmuştur. Toplam maliyetlerde ise maliyet 237.871,10 TL'nden 223.729,45 TL'ye düşerek yaklaşık olarak % 5,95'lik bir iyileştirme sağladığı görülmüştür.

Model kullanımının sağladığı diğer bir fayda da servis seviyeleri üzerine olmuştur. Modelin verdiği stok miktarı kullanıldığı zaman daha iyi bir servis seviyesi sağlanmıştır. Kritik olan 50 malzemenin tamamı servis seviyesini sağlarken mevcut durumda kritik malzemelerden 23 tanesi servis seviyesini sağlayamamaktadır.

### **Kaynakça**

- [1] Ç. Saraçlar, Lojistik Faaliyetler İçinde Envanter Yönetiminin Rolü ve Önemi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, 2003.
- [2] G. Satıcı, Enflasyonist Ortamda Endüstri İşletmelerinde Envanter Model Analizleri (Üretim ve Stok Sistemleri) ve Bir Uygulama. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, 1995.
- [3] F. Chen, et al., Quantifying the bullwhip effect in a simple supply chain: the impact of forecasting, lead times, and information. *Management Science*, 46(3), 436-443 (2000).
- [4] C. Chandra, S. Kumar, Taxonomy of inventory policies for supply-chain effectiveness. *International Journal of Retail and Distribution Management*. 29 (4), 164-175 (2001).
- [5] Y.T. Herer, et al., Transshipments: an emerging inventory recourse to achieve supply chain leagility. *International Journal of Production Economics*. 80, 201-212 (2002).
- [6] M. Khouja, Optimizing inventory decisions in a multi-stage multi-customer supply chain. *Transportation Research Part E*. 39, 193-208 (2003).
- [7] A. H. L. Lau, H. Lau, Effects of a demand-curve s shape on the optimal solutions of a multi-echelon inventory/pricing model. *European Journal of Operational Research*. 147, 530-548 (2003).
- [8] B. Sezen, Tedarik zincirinde stok yönetimi problemleri için elektronik tablolar yardımı ile simülasyon uygulaması. *Yönetim ve Ekonomi*. 11, 1, 57-68 (2004).
- [9] S. Banerjee, et al., Controlled partial shipments in two-echelon supply chain networks: a simulation study. *International Journal of Production Economics*. 71, 91-100 (2001).

- [10] F.T.S. Chan, et al., A simulation approach in supply chain management. *Integrated Manufacturing Systems*. 13, 117-122. (2002).
- [11] R. Ganeshan, et al., The impact of inventory and flow planning parameters on supply chain performance: an exploratory study. *International Journal of Production Economics*. 71, 111-118 (2001).
- [12] J.S.K. Lau, G.Q. Huang, Web-based simulation portal for investigating impacts of sharing production information on supply chain dynamics from the perspective of inventory allocation. *Integrated Manufacturing Systems*. 13, 5, 345-358 (2002).
- [13] F. Persson, J. Olhager, Performance simulation of supply chain designs. *International Journal of Production Economics*. 77, 231-245 (2002).
- [14] L. Lebel, J.S. Carruth, Simulation of woodyard inventory variations using a stochastic model. *Forest Products Journal*. 47, 3, 52-57 (1997).
- [15] W.J. Kennedy, et al., An overview of recent literature on spare parts inventories. *International Journal of Production Economic*. 76, 201-215, (2002).
- [16] S.C. Yang, Z.W. Du, Criticality evaluation for spare parts initial provisioning. *IEEE*. 507-513 (2004).
- [17] R. Dekker, et al., A spare part stocking policy based on equipment criticality. *International Journal of Production Economics*. 56, 69-77 (1998).
- [18] T.S. Dhakar, et al., Base stock level determination for high cost low demand critical repairable spares. *Computer and Operations Research*. 21(4), 411-420 (1994).
- [19] T.S. Vaughan, Failure replacement and preventive maintenance spare parts ordering policy. *European Journal of Operational Research*. 161, 183-190 (2005).
- [20] R.Q. Zhang, et al., Spreadsheet implementable inventory control for a distribution center. *Journal of Heuristics*. 7, 185-203 (2001).
- [21] S. Nahmias, *Production and Operation Analysis*. McGraw Hill, New York, NY, 2005, p.256.

## Ekler

### Ek A. ABC Analizi Sonucu Belirlenen Kritik Malzemelerin Mevcut Envanter Durumundaki Maliyetleri

S.No.	Stok Numarası	Birim Fiyat (TL)	Mevcut Envanter Miktarı	Hacim (m3)	Ürün Maliyeti	Depolama Maliyeti	Yatırım Maliyeti	Toplam Maliyet
1	4810-27-039-0583	5.900,00	2	0,02250	11800,00	4,50	129,55	11934,05
2	4320-27-039-0074	2.789,52	5	0,02080	13947,60	10,40	153,13	14111,13
3	2930-01-043-5097	5.640,40	4	0,02500	22561,60	10,00	247,70	22819,30
4	2930-00-076-1833	2.784,80	3	0,00768	8354,40	2,30	91,72	8448,43
5	3130-27-039-0020	3.540,00	3	0,04000	10620,00	12,00	116,60	10748,60
6	3805-01-438-1952	1.475,00	2	0,00600	2950,00	1,20	32,39	2983,59
7	2520-00-916-4667	890,90	4	0,03600	3563,60	14,40	39,12	3617,12
8	2530-00-852-1220	290,90	5	0,02188	1454,50	10,94	15,97	1481,41



9	4320-27-038-9976	2.832,00	4	0,04500	11328,00	18,00	124,37	11470,37
10	4810-27-039-0048	212,40	7	0,00800	1486,80	5,60	16,32	1508,72
11	3815-27-010-0869	131,27	11	0,00300	1443,97	3,30	15,85	1463,12
12	3805-27-039-0545	1.472,00	7	0,08000	10304,00	56,00	113,13	10473,13
13	2950-01-437-9070	1.652,00	1	0,06400	1652,00	6,40	18,14	1676,54
14	4320-27-038-9988	118,00	9	0,01200	1062,00	10,80	11,66	1084,46
15	4320-27-018-0615	1.711,00	2	0,02813	3422,00	5,63	37,57	3465,19
16	2915-01-438-7308	501,50	3	0,00025	1504,50	0,08	16,52	1521,09
17	2910-01-382-0163	77,88	14	0,00025	1090,32	0,35	11,97	1102,64
18	2920-00-231-7270	1.080,88	4	0,01452	4323,52	5,81	47,47	4376,80
19	2940-99-204-7381	123,60	19	0,01936	2348,40	36,78	25,78	2410,97
20	3040-27-039-0067	952,26	9	0,06300	8570,34	56,70	94,09	8721,13
21	4320-01-219-3966	737,50	9	0,02813	6637,50	25,31	72,87	6735,68
22	3120-27-021-6922	413,00	16	0,02400	6608,00	38,40	72,55	6718,95
23	3120-01-377-1515	890,90	4	0,09600	3563,60	38,40	39,12	3641,12
24	2910-00-152-9875	295,61	8	0,00063	2364,88	0,50	25,96	2391,34
25	4820-27-039-0057	601,80	5	0,01563	3009,00	7,81	33,04	3049,85
26	2930-01-292-6895	2.083,88	3	0,02500	6251,64	7,50	68,64	6327,78
27	3020-01-513-5023	100,63	6	0,02188	603,78	13,13	6,63	623,53
28	2530-01-461-1253	531,00	7	0,00800	3717,00	5,60	40,81	3763,41
29	3020-01-273-3734	649,00	5	0,00900	3245,00	4,50	35,63	3285,13
30	2920-00-167-6782	950,49	5	0,03750	4752,45	18,75	52,18	4823,38
31	5998-27-021-9415	672,60	6	0,00938	4035,60	5,63	44,31	4085,53
32	2930-27-013-3068	601,80	5	0,12600	3009,00	63,00	33,04	3105,04
33	3020-27-019-0208	94,40	25	0,00090	2360,00	2,25	25,91	2388,16
34	3120-01-514-2154	501,50	3	0,01250	1504,50	3,75	16,52	1524,77
35	2950-01-380-4831	3.115,20	3	0,12500	9345,60	37,50	102,60	9485,70
36	3130-00-131-1832	767,00	7	0,00938	5369,00	6,56	58,95	5434,51
37	4810-27-017-7721	184,08	12	0,00250	2208,96	3,00	24,25	2236,21
38	2815-01-199-6561	190,79	6	0,00040	1144,74	0,24	12,57	1157,55
39	4320-27-038-9980	2.832,00	3	0,04500	8496,00	13,50	93,28	8602,78

40	5930-99-315-0081	483,80	8	0,00300	3870,40	2,40	42,49	3915,29
41	2530-01-103-3814	188,80	2	0,01563	377,60	3,13	4,15	384,87
42	2530-01-461-0272	731,60	4	0,01875	2926,40	7,50	32,13	2966,03
43	2540-27-021-0828	354,00	2	0,00300	708,00	0,60	7,77	716,37
44	2950-27-024-2400	2.006,00	1	0,02700	2006,00	2,70	22,02	2030,72
45	2815-01-419-0334	434,74	3	0,00338	1304,22	1,01	14,32	1319,55
46	2530-01-438-9792	295,00	1	0,00800	295,00	0,80	3,24	299,04
47	2530-01-438-1963	383,08	6	0,00480	2298,48	2,88	25,23	2326,59
48	3805-01-119-1725	3.658,00	2	0,01400	7316,00	2,80	80,32	7399,12
49	3040-27-039-0069	680,86	4	0,08100	2723,44	32,40	29,90	2785,74
50	3020-99-212-2800	424,80	5	0,00491	2124,00	2,46	23,32	2149,78
				<b>TOPLAM</b>	<b>227963,34</b>	<b>625,19</b>	<b>2502,78</b>	<b>231091,3</b>

#### Ek B. ABC Analizi Sonucu Belirlenen Kritik Malzemelerin Maliyetleri

S.No.	Stok Numarası	Birim Fiyat (TL)	Aylık Ortalama Envanter Düzeyi	Hacim (m3)	Ürün Maliyeti	Depolama Maliyeti	Yatırım Maliyeti	Toplam Maliyet
1	4810-27-039-0583	5.900,00	2,5	0,02250	14750,00	5,63	161,94	14917,56
2	4320-27-039-0074	2.789,52	5,5	0,02080	15342,36	11,44	168,44	15522,24
3	2930-01-043-5097	5.640,40	3,5	0,02500	19741,40	8,75	216,74	19966,89
4	2930-00-076-1833	2.784,80	4,5	0,00768	12531,60	3,46	137,58	12672,64
5	3130-27-039-0020	3.540,00	3,5	0,04000	12390,00	14,00	136,03	12540,03
6	3805-01-438-1952	1.475,00	4,5	0,00600	6637,50	2,70	72,87	6713,07
7	2520-00-916-4667	890,90	2,5	0,03600	2227,25	9,00	24,45	2260,70
8	2530-00-852-1220	290,90	7,5	0,02188	2181,75	16,41	23,95	2222,11
9	4320-27-038-9976	2.832,00	1,5	0,04500	4248,00	6,75	46,64	4301,39
10	4810-27-039-0048	212,40	6,5	0,00800	1380,60	5,20	15,16	1400,96
11	3815-27-010-0869	131,27	9,0	0,00300	1181,43	2,70	12,97	1197,10
12	3805-27-039-0545	1.472,00	4,5	0,08000	6624,00	36,00	72,72	6732,72
13	2950-01-437-9070	1.652,00	1,5	0,06400	2478,00	9,60	27,21	2514,81
14	4320-27-038-9988	118,00	6,0	0,01200	708,00	7,20	7,77	722,97
15	4320-27-018-0615	1.711,00	5,5	0,02813	9410,50	15,47	103,32	9529,29

16	2915-01-438-7308	501,50	6,5	0,00025	3259,75	0,16	35,79	3295,70
17	2910-01-382-0163	77,88	9,0	0,00025	700,92	0,23	7,70	708,84
18	2920-00-231-7270	1.080,88	8,5	0,01452	9187,48	12,34	100,87	9300,69
19	2940-99-204-7381	123,60	11,0	0,01936	1359,60	21,30	14,93	1395,82
20	3040-27-039-0067	952,26	2,5	0,06300	2380,65	15,75	26,14	2422,54
21	4320-01-219-3966	737,50	4,5	0,02813	3318,75	12,66	36,44	3367,84
22	3120-27-021-6922	413,00	6,5	0,02400	2684,50	15,60	29,47	2729,57
23	3120-01-377-1515	890,90	4,5	0,09600	4009,05	43,20	44,01	4096,26
24	2910-00-152-9875	295,61	6,0	0,00063	1773,66	0,38	19,47	1793,51
25	4820-27-039-0057	601,80	2,5	0,01563	1504,50	3,91	16,52	1524,92
26	2930-01-292-6895	2.083,88	3,5	0,02500	7293,58	8,75	80,08	7382,41
27	3020-01-513-5023	100,63	6,0	0,02188	603,78	13,13	6,63	623,53
28	2530-01-461-1253	531,00	2,5	0,00800	1327,50	2,00	14,57	1344,07
29	3020-01-273-3734	649,00	8,5	0,00900	5516,50	7,65	60,56	5584,71
30	2920-00-167-6782	950,49	2,5	0,03750	2376,23	9,38	26,09	2411,69
31	5998-27-021-9415	672,60	4,5	0,00938	3026,70	4,22	33,23	3064,15
32	2930-27-013-3068	601,80	1,5	0,12600	902,70	18,90	9,91	931,51
33	3020-27-019-0208	94,40	13,0	0,00090	1227,20	1,17	13,47	1241,84
34	3120-01-514-2154	501,50	2,5	0,01250	1253,75	3,13	13,76	1270,64
35	2950-01-380-4831	3.115,20	1,5	0,12500	4672,80	18,75	51,30	4742,85
36	3130-00-131-1832	767,00	4,5	0,00938	3451,50	4,22	37,89	3493,61
37	4810-27-017-7721	184,08	9,0	0,00250	1656,72	2,25	18,19	1677,16
38	2815-01-199-6561	190,79	7,0	0,00040	1335,53	0,28	14,66	1350,47
39	4320-27-038-9980	2.832,00	1,5	0,04500	4248,00	6,75	46,64	4301,39
40	5930-99-315-0081	483,80	9,5	0,00300	4596,10	2,85	50,46	4649,41
41	2530-01-103-3814	188,80	10,0	0,01563	1888,00	15,63	20,73	1924,35
42	2530-01-461-0272	731,60	5,5	0,01875	4023,80	10,31	44,18	4078,29
43	2540-27-021-0828	354,00	8,5	0,00300	3009,00	2,55	33,04	3044,59
44	2950-27-024-2400	2.006,00	1,5	0,02700	3009,00	4,05	33,04	3046,09
45	2815-01-419-0334	434,74	7,5	0,00338	3260,55	2,53	35,80	3298,88
46	2530-01-438-9792	295,00	3,5	0,00800	1032,50	2,80	11,34	1046,64

47	2530-01-438-1963	383,08	7,5	0,00480	2873,10	3,60	31,54	2908,24
48	3805-01-119-1725	3.658,00	1,5	0,01400	5487,00	2,10	60,24	5549,34
49	3040-27-039-0069	680,86	4,5	0,08100	3063,87	36,45	33,64	3133,96
50	3020-99-212-2800	424,80	4,5	0,00491	1911,60	2,21	20,99	1934,80
				<b>TOPLAM</b>	<b>215058,26</b>	<b>465,45</b>	<b>2361,09</b>	<b>217884,80</b>

### Ek C. Kritik Malzemelerin $Q_i$ Değerleri

S. No.	Stok No.	N	$D_i$	$c_i$	F	$1/(NF)$	$\sqrt{(D_i \cdot c_i)}$	$\sqrt{(D_i/c_i)}$	$Q_i$
1	3020-01-513-5023	50	80	100,63	26	0,000769	89,7240	0,8916	<b>3,5026</b>
2	2530-00-852-1220	50	79	290,90	26	0,000769	151,5952	0,5211	<b>2,0472</b>
3	3130-27-039-0020	50	10	3.540,00	26	0,000769	188,1489	0,0531	<b>0,2088</b>
4	4810-27-039-0048	50	68	212,40	26	0,000769	120,1799	0,5658	<b>2,2227</b>
5	2915-01-438-7308	50	23	501,50	26	0,000769	107,3988	0,2142	<b>0,8413</b>
6	4810-27-039-0583	50	13	5.900,00	26	0,000769	276,9476	0,0469	<b>0,1844</b>
7	2930-01-043-5097	50	8	5.640,40	26	0,000769	212,4222	0,0377	<b>0,1479</b>
8	4320-27-039-0074	50	17	2.789,52	26	0,000769	217,7656	0,0781	<b>0,3067</b>
9	2930-00-076-1833	50	13	2.784,80	26	0,000769	190,2693	0,0683	<b>0,2684</b>
10	4320-27-038-9988	50	103	118,00	26	0,000769	110,2452	0,9343	<b>3,6702</b>
11	2910-00-152-9875	50	31	295,61	26	0,000769	95,7283	0,3238	<b>1,2721</b>
12	3805-27-039-0545	50	9	472,00	26	0,000769	65,1767	0,1381	<b>0,5425</b>
13	3805-01-438-1952	50	22	1.475,00	26	0,000769	180,1388	0,1221	<b>0,4798</b>
14	3805-01-119-1725	50	1	3.658,00	26	0,000769	60,4814	0,0165	<b>0,0650</b>
15	2520-00-916-4667	50	26	890,90	26	0,000769	152,1953	0,1708	<b>0,6711</b>
16	2950-01-380-4831	50	2	3.115,20	26	0,000769	78,9329	0,0253	<b>0,0995</b>
17	4320-27-038-9976	50	8	2.832,00	26	0,000769	150,5191	0,0531	<b>0,2088</b>
18	4320-27-038-9980	50	2	2.832,00	26	0,000769	75,2596	0,0266	<b>0,1044</b>
19	2530-01-461-1253	50	15	531,00	26	0,000769	89,2468	0,1681	<b>0,6603</b>
20	2930-01-292-6895	50	4	2.083,88	26	0,000769	91,2991	0,0438	<b>0,1721</b>
21	2950-27-024-2400	50	2	2.006,00	26	0,000769	63,3404	0,0316	<b>0,1240</b>
22	2910-01-382-0163	50	140	77,88	26	0,000769	104,4184	1,3408	<b>5,2670</b>
23	4820-27-039-0057	50	15	601,80	26	0,000769	95,0105	0,1579	<b>0,6202</b>

24	4320-27-018-0615	50	7	1.711,00	26	0,000769	109,4395	0,0640	<b>0,2513</b>
25	2950-01-437-9070	50	8	1.652,00	26	0,000769	114,9609	0,0696	<b>0,2734</b>
26	4320-01-219-3966	50	14	737,50	26	0,000769	101,6120	0,1378	<b>0,5412</b>
27	2930-27-013-3068	50	12	601,80	26	0,000769	84,9800	0,1412	<b>0,5547</b>
28	3815-27-010-0869	50	102	131,27	26	0,000769	115,7132	0,8815	<b>3,4628</b>
29	2815-01-199-6561	50	30	190,79	26	0,000769	75,6551	0,3965	<b>1,5577</b>
30	4810-27-017-7721	50	32	184,08	26	0,000769	76,7500	0,4169	<b>1,6379</b>
31	2920-00-231-7270	50	10	1.080,88	26	0,000769	103,9654	0,0962	<b>0,3779</b>
32	3120-01-514-2154	50	13	501,50	26	0,000769	80,7434	0,1610	<b>0,6325</b>
33	5930-99-315-0081	50	11	483,80	26	0,000769	72,9507	0,1508	<b>0,5923</b>
34	3040-27-039-0067	50	11	952,26	26	0,000769	102,3468	0,1075	<b>0,4222</b>
35	2920-00-167-6782	50	8	950,49	26	0,000769	87,2005	0,0917	<b>0,3604</b>
36	3020-27-019-0208	50	74	94,40	26	0,000769	83,5799	0,8854	<b>3,4781</b>
37	3120-01-377-1515	50	11	890,90	26	0,000769	98,9944	0,1111	<b>0,4365</b>
38	2530-01-438-9792	50	3	295,00	26	0,000769	29,7489	0,1008	<b>0,3962</b>
39	2815-01-419-0334	50	1	434,74	26	0,000769	20,8504	0,0480	<b>0,1884</b>
40	3020-99-212-2800	50	5	424,80	26	0,000769	46,0869	0,1085	<b>0,4262</b>
41	3120-27-021-6922	50	2	413,00	26	0,000769	28,7402	0,0696	<b>0,2734</b>
42	2940-99-204-7381	50	86	123,60	26	0,000769	103,1000	0,8341	<b>3,2768</b>
43	3130-00-131-1832	50	3	767,00	26	0,000769	47,9687	0,0625	<b>0,2457</b>
44	2530-01-438-1963	50	4	383,08	26	0,000769	39,1449	0,1022	<b>0,4014</b>
45	2530-01-103-3814	50	28	188,80	26	0,000769	72,7076	0,3851	<b>1,5128</b>
46	2530-01-461-0272	50	7	731,60	26	0,000769	71,5626	0,0978	<b>0,3843</b>
47	2540-27-021-0828	50	12	354,00	26	0,000769	65,1767	0,1841	<b>0,7233</b>
48	3040-27-039-0069	50	4	680,86	26	0,000769	52,1866	0,0766	<b>0,3011</b>
49	5998-27-021-9415	50	11	672,60	26	0,000769	86,0151	0,1279	<b>0,5024</b>
50	3020-01-273-3734	50	12	649,00	26	0,000769	88,2496	0,1360	<b>0,5342</b>

#### Ek D. Kritik Malzemelerin $r_i$ Değerleri

S. No	Stok No.	$\theta_i$	$\sigma_i$	$(1-S_i)$	$Q_i$	$z_{si}$	DeğerA	$\ln(\text{Değer A})$	$\sqrt{(-2\ln(\text{Değer A}))}$	$r_i$
1	3020-01-513-5023	1,54	10,21	0,075	3,502	2,245	0,4865	-0,720425	1,200	13,79

2	2530-00-852-1220	1,52	9,98	0,075	2,047	2,245	0,4606	-0,775182	1,245	13,94
3	3130-27-039-0020	0,19	1,71	0,075	0,208	2,245	0,445	-0,809598	1,272	2,37
4	4810-27-039-0048	1,31	6,02	0,075	2,222	2,245	0,4914	-0,710379	1,192	8,48
5	2915-01-438-7308	0,44	3,69	0,075	0,841	2,245	0,4649	-0,765790	1,238	5,00
6	4810-27-039-0583	0,25	0,96	0,075	0,184	2,245	0,4582	-0,780315	1,249	1,45
7	2930-01-043-5097	0,15	1,73	0,075	0,147	2,245	0,4381	-0,825282	1,285	2,38
8	4320-27-039-0074	0,33	3,30	0,075	0,306	2,245	0,4395	-0,822111	1,282	4,56
9	2930-00-076-1833	0,25	6,24	0,075	0,268	2,245	0,4301	-0,843640	1,299	8,35
10	4320-27-038-9988	1,98	6,18	0,075	3,670	2,245	0,5336	-0,628075	1,121	8,91
11	2910-00-152-9875	0,60	3,20	0,075	1,272	2,245	0,4967	-0,699661	1,183	4,38
12	3805-27-039-0545	0,17	2,99	0,075	0,542	2,245	0,4562	-0,784813	1,253	3,91
13	3805-01-438-1952	0,42	5,48	0,075	0,479	2,245	0,4385	-0,824348	1,284	7,46
14	3805-01-119-1725	0,02	0,50	0,075	0,064	2,245	0,4464	-0,806372	1,27	0,65
15	2520-00-916-4667	0,50	1,26	0,075	0,671	2,245	0,5223	-0,649478	1,14	1,93
16	2950-01-380-4831	0,04	0,58	0,075	0,099	2,245	0,4544	-0,788635	1,256	0,76
17	4320-27-038-9976	0,15	0,50	0,075	0,208	2,245	0,5005	-0,692033	1,176	0,74
18	4320-27-038-9980	0,04	0,50	0,075	0,104	2,245	0,4613	-0,773695	1,244	0,66
19	2530-01-461-1253	0,29	1,26	0,075	0,660	2,245	0,5206	-0,652584	1,142	1,73
20	2930-01-292-6895	0,08	1,71	0,075	0,172	2,245	0,4409	-0,818712	1,28	2,26
21	2950-27-024-2400	0,04	0,58	0,075	0,124	2,245	0,4624	-0,771231	1,242	0,76
22	2910-01-382-0163	2,69	13,96	0,075	5,266	2,245	0,4929	-0,707324	1,189	19,30
23	4820-27-039-0057	0,29	1,29	0,075	0,620	2,245	0,5123	-0,668712	1,156	1,78
24	4320-27-018-0615	0,13	3,30	0,075	0,251	2,245	0,4363	-0,829310	1,288	4,39
25	2950-01-437-9070	0,15	0,58	0,075	0,273	2,245	0,5110	-0,671251	1,159	0,82
26	4320-01-219-3966	0,27	2,22	0,075	0,541	2,245	0,4679	-0,759409	1,232	3,00
27	2930-27-013-3068	0,23	0,50	0,075	0,554	2,245	0,6306	-0,461042	0,960	0,71
28	3815-27-010-0869	1,96	4,57	0,075	3,462	2,245	0,5643	-0,571999	1,07	6,85
29	2815-01-199-6561	0,58	6,98	0,075	1,557	2,245	0,4640	-0,767801	1,239	9,22
30	4810-27-017-7721	0,62	5,68	0,075	1,637	2,245	0,4762	-0,741760	1,218	7,53
31	2920-00-231-7270	0,19	5,45	0,075	0,377	2,245	0,4350	-0,832190	1,29	7,22
32	3120-01-514-2154	0,25	1,41	0,075	0,632	2,245	0,5061	-0,680958	1,167	1,90

33	5930-99-315-0081	0,21	5,12	0,050	0,592	1,960	0,2601	-1,346537	1,641	8,62
34	3040-27-039-0067	0,21	1,00	0,050	0,422	1,960	0,2985	-1,208764	1,555	1,77
35	2920-00-167-6782	0,15	0,58	0,050	0,360	1,960	0,3238	-1,127367	1,502	1,02
36	3020-27-019-0208	1,42	5,91	0,050	3,478	1,960	0,3194	-1,141247	1,511	10,35
37	3120-01-377-1515	0,21	2,22	0,050	0,436	1,960	0,2703	-1,308140	1,617	3,80
38	2530-01-438-9792	0,06	1,29	0,050	0,396	1,960	0,2841	-1,258399	1,586	2,11
39	2815-01-419-0334	0,02	0,50	0,050	0,188	1,960	0,2928	-1,228005	1,567	0,80
40	3020-99-212-2800	0,1	2,16	0,050	0,426	1,960	0,2703	-1,307942	1,617	3,59
41	3120-27-021-6922	0,04	0,50	0,050	0,273	1,960	0,3141	-1,157810	1,522	0,80
42	2940-99-204-7381	1,65	8,54	0,050	3,276	1,960	0,2937	-1,225045	1,565	15,02
43	3130-00-131-1832	0,06	2,06	0,050	0,245	1,960	0,2605	-1,344823	1,64	3,44
44	2530-01-438-1963	0,08	0,50	0,050	0,401	1,960	0,3462	-1,060536	1,456	0,81
45	2530-01-103-3814	0,54	5,25	0,050	1,512	1,960	0,2817	-1,266731	1,592	8,90
46	2530-01-461-0272	0,13	2,45	0,050	0,384	1,960	0,2653	-1,326854	1,629	4,12
47	2540-27-021-0828	0,23	4,32	0,050	0,723	1,960	0,2666	-1,321891	1,626	7,26
48	3040-27-039-0069	0,08	1,29	0,050	0,301	1,960	0,2748	-1,291417	1,607	2,15
49	5998-27-021-9415	0,21	2,22	0,050	0,502	1,960	0,2740	-1,294462	1,609	3,78
50	3020-01-273-3734	0,23	4,50	0,050	0,534	1,960	0,2605	-1,345049	1,64	7,61

#### Ek E. Sonuç Tablosu

S. No.	Stok No.	Q <sub>i</sub>	r <sub>i</sub>	Yukarı Yuvarlama		Min.	Max.
				Q <sub>i</sub>	r <sub>i</sub>		
1	3020-01-513-5023	3,50262157	13,79	4	14	14	18
2	2530-00-852-1220	2,04716876	13,94	3	14	14	17
3	3130-27-039-0020	0,20879031	2,37	1	3	3	4
4	4810-27-039-0048	2,22274254	8,48	3	9	9	12
5	2915-01-438-7308	0,8412797	5,00	1	6	6	7
6	4810-27-039-0583	0,1843986	1,45	1	2	2	3
7	2930-01-043-5097	0,14794558	2,38	1	3	3	4
8	4320-27-039-0074	0,30667027	4,56	1	5	5	6
9	2930-00-076-1833	0,26840255	8,35	1	9	9	10

10	4320-27-038-9988	3,67019863	8,91	4	9	9	13
11	2910-00-152-9875	1,27213513	4,38	2	5	5	7
12	3805-27-039-0545	0,54245313	3,91	1	4	4	5
13	3805-01-438-1952	0,4797636	7,46	1	8	8	9
14	3805-01-119-1725	0,06495164	0,65	1	1	1	2
15	2520-00-916-4667	0,67109523	1,93	1	2	2	3
16	2950-01-380-4831	0,09953687	0,76	1	1	1	2
17	4320-27-038-9976	0,20879031	0,74	1	1	1	2
18	4320-27-038-9980	0,10439515	0,66	1	1	1	2
19	2530-01-461-1253	0,66025292	1,73	1	2	2	3
20	2930-01-292-6895	0,1721098	2,26	1	3	3	4
21	2950-27-024-2400	0,12403992	0,76	1	1	1	2
22	2910-01-382-0163	5,26699622	19,30	6	20	20	26
23	4820-27-039-0057	0,62019962	1,78	1	2	2	3
24	4320-27-018-0615	0,2512673	4,39	1	5	5	6
25	2950-01-437-9070	0,27337068	0,82	1	1	1	2
26	4320-01-219-3966	0,54124633	3,00	1	4	4	5
27	2930-27-013-3068	0,55472341	0,71	1	1	1	2
28	3815-27-010-0869	3,46281511	6,85	4	7	7	11
29	2815-01-199-6561	1,55773933	9,22	2	10	10	12
30	4810-27-017-7721	1,63788591	7,53	2	8	8	10
31	2920-00-231-7270	0,3778533	7,22	1	8	8	9
32	3120-01-514-2154	0,632482	1,90	1	2	2	3
33	5930-99-315-0081	0,59234588	8,62	1	9	9	10
34	3040-27-039-0067	0,42221196	1,77	1	2	2	3
35	2920-00-167-6782	0,36039867	1,02	1	2	2	3
36	3020-27-019-0208	3,47809807	10,35	4	11	11	15
37	3120-01-377-1515	0,43650962	3,80	1	4	4	5
38	2530-01-438-9792	0,39615175	2,11	1	3	3	4
39	2815-01-419-0334	0,18840705	0,80	1	1	1	2
40	3020-99-212-2800	0,42619143	3,59	1	4	4	5



<b>41</b>	3120-27-021-6922	0,27337068	0,80	1	1	1	2
<b>42</b>	2940-99-204-7381	3,27681521	15,02	4	16	16	20
<b>43</b>	3130-00-131-1832	0,24568289	3,44	1	4	4	5
<b>44</b>	2530-01-438-1963	0,40141835	0,81	1	1	1	2
<b>45</b>	2530-01-103-3814	1,51282949	8,90	2	9	9	11
<b>46</b>	2530-01-461-0272	0,38425907	4,12	1	5	5	6
<b>47</b>	2540-27-021-0828	0,72327083	7,26	1	8	8	9
<b>48</b>	3040-27-039-0069	0,30110159	2,15	1	3	3	4
<b>49</b>	5998-27-021-9415	0,50237714	3,78	1	4	4	5
<b>50</b>	3020-01-273-3734	0,53417091	7,61	1	8	8	9