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

Nihat Kasap[1]
Sabancı Üniversitesi, Yönetim Bilimleri Fakültesi,
Tuzla,İstanbul

İlker Biçer[2]
Jandarma Genel Komutanlığı,
Beştepe, Ankara

Banu Yüksel Özkaya[3]
Hacettepe Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği
Bölümü, Beytepe, Ankara

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 sayı 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 artırılmaktadır. 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 Kelimeler: *Stokastik Envanter Yönetimi, Yedek Parça, Sezgisel 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 integer optimization problem. The aim of the model is to find out reorder points, maximum and minimum stocking levels of critical spare parts that minimize the inventory costs. Moreover, it increases the availability of critical spare parts. The average service level and replenishment frequency constraints are also considered in the model. To solve the model, we propose a heuristic method that contains 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 comparison of total costs for the current situation and optimum inventory level that model proposes is performed during 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] *nihatk@sabanciuniv.edu (N. Kasap)*
[2] *ibicer73@gmail.com (İ. Biçer)*
[3] *byuksel@hacettepe.edu.tr (B. Özkaya)*

1. Giriş

Envanter, firmaların ve kurumların gelecekte oluşabilecek talebi karşılamak ve işlemlerin verimli ve hatasız bir şekilde yürümesi için ellerinde tuttukları 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 ile yaşamaktadırlar. İşletmenin sermayesinin katma değer yaratmayan noktalarda bağlı olması, nakit akıştaki problemlere, ürünün durduğu yerde maliyetsel olarak negatif yönde değerlenmesine, artan maliyetlerinde satış miktarında azalma olarak firmaya yansımasına neden olmaktadır.

Envanter kontrolü ile girişimci, ürünlerin 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. Elde gereğinden fazla mal bulundurmak depo kirası, yıpranma, bozulma, malların modasının geçmesi gibi birçok soruna neden olarak 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 düzeyinin belirlenmesi 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 güvenirlik 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 bulundurmaktır. 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 talepleri zamanında karşılayabilmeli ve işleyişin aksamamasını sağlamalıdır. Bunun doğal sonucu olarak da oluşan maliyetleri ve doğabilecek riskleri azaltmak için yeterli envanter bulundurmalı ve bu envanterin yönetimini iyi bir şekilde yapmalıdır. Firmanın ihtiyaç duyulan malzeme miktarı gerek o yıl için planlana inşaat sayısı gerek ise aniden beliren ihtiyaçlar ile doğru orantılıdır. Dolayısıyla etkin bir malzeme ihtiyaç tespiti için inşaat ve tamirat işleri 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 hata payı ile 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 bulundururlar. 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 modeli (Economic Order Quantity - EOQ) varsayımlarını kabul etmektedirler. Bu modellerde firmalar, belirlenen uygun sipariş miktarını (Q) belirlenmiş olan yeniden sipariş noktasına (r) ulaşıldığında 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 bulundurmayı tercih ederler [1].

Bu çalışmada, bir ürüne olan talebin rassal ve bunun kesin olarak bilinmemesi, bunun yanı sıra tedarik süresinin sabit olması durumunda kullanılan "Stokastik Envanter Modelleri" kullanılarak, XYZ organizasyonunun bakım onarım yapısına en uygun model ikinci bölümde sezgisel 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 amacına 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 sistemlerinin envanter modelleri hakkında çalışmalar da yaygındır. Kennedy v.d. (2002)'de bakım stokları hakkında bugüne kadar yapılan çalışmalar özetlenmiş, yedek parça stoklarının farklı yönleri anlatılmış, önleyici yada planlı bakımda yedek parça talebinin tahmin edilebilir olduğu için onarım parçalarının stok tutulmasının gerekmediği, ancak plansız onarımlarda ise, stok boşalması durumunun

oldukça maliyetli üretim ve hizmet kayıplarına sebep olmasından dolayı yeterli güvenlik stoku tutulması gerektiği belirtilmiştir. Güvenlik stok miktarının genel yönetim politikasına, geçerliliği kalkma ve modası geçme durumuna, aşamalı depo yapısına ve şartlara bağlı olduğu belirtilmiştir.

Yang ve Du (2004), 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 planlama etkisininin iyileştirilmesi hedeflenmiştir.

Dekker v.d. (1998), yedek parça stok sistemlerinde aynı yedek parçanın farklı önem seviyelerindeki makinelerde kullanılıp üretim için farklı önemlere sahip olduğu durumları incelemiş ve bazı taleplerin karşılanamaması durumunda yüksek elde bulundurmama maliyetleri olabileceğini göstermiştir. Kurulan modelde talepler kritik ve kritik olmayanlar olarak sınıflandırılmış ve farklı servis seviyeleri belirlenmiştir. Bu stok politikası ile kritik taleplerin servis seviyesinin arttığı gözlemlenmiştir.

Dhakar v.d. (1994)'de düşük talepli fakat operasyon için kritik ve bulunmaması durumunda yüksek maliyetlere neden olan önemli yedek parçaların optimal stok seviyelerini bulan gerçekçi bir model geliştirilmiştir. S'nin stok düzeyini ifade ettiği (S-1,S) modelinde, arıza olduğu anda stok düzeyini S'ye tamamlamak için derhal sipariş verilmektedir.

Vaughan (2005) çalışmasında düzenli bakım ve rastgele oluşabilecek arızaların bakımları sırasında gereken yedek parçalar için stok politikaları incelemiştir. Makalede bütünleşik bir sipariş politikasını karakterize eden stokastik dinamik programlama modeli kurulmuş, sipariş ve elde bulundurma maliyetlerinin farklı değerler aldığı senaryolarda optimal politikanın verimliliği değerlendirilmiştir. Düzenli bakım ve arıza bakımları için gereken yedek parçaların ayrı sipariş politikalarının izlendiği duruma kıyasla optimal politikanın toplam maliyette önemli tasarruf sağladığı gösterilmiştir.

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. Modelin çözümü için sezgisel (heuristic) bir yöntem kullanılmıştır. Model, sipariş sıklığı ve servis düzeyi kısıtlarını göz önünde bulundurarak envanter maliyetlerini asgariye indirmek için yedek parçalara ait stok parametrelerini ve yeniden sipariş noktasını belirlemeyi hedeflemektedir. Modele ait varsayımlar aşağıda verilmiştir.

- Talep herhangi bir zaman aralığında rasgele değişkendir ve olasılık dağılımı durağandır.
- Tedarik süresi (Lead Time) sabittir.
- Stok bulundurmama durumuna izin verilmemiştir.
- ABC analizindeki her grup için istenen en düşük servis düzeyleri farklıdır. Bu servis düzeyleri
    - A grubu için : 97,5 %
    - B grubu için : 95,0 %
    - C grubu için : 92,5 %'dur.

Bu varsayımlar altında her bir yedek parça için yeniden sipariş noktası-sipariş miktarı (Q,r) stok politikası uygulanmaktadır.

2.1. Formülasyon

Envanter maliyetlerini sipariş sıklığı ve servis düzeyi kısıtları ile birlikte değerlendirip en aza indirmek olan hedefimize ulaşmak için yedek parçalara ait stok parametrelerini ve

yeniden sipariş noktasını belirlememiz gerekmektedir. Belirlenen stok parametreleri ve yeniden sipariş noktası ile envanter maliyetlerini düşürürken, yedek parçaların envanterde bulunabilirliği istenen düzeye çıkartılır. Modelleme yapılırken Zhang v.d (2001) makalesinden yararlanılmış ve aşağıdaki formülasyon oluşturulmuştur:

Min : Envanter Yatırımı (1)
s.t. : Ortalama Sipariş Sıklığı ≤ F (2)
Ortalama Servis Düzeyi ≥ S (3)

Yukarıdaki denklemlerde "F" hedef sipariş sıklığını, "S" ise istenen en düşük ortalama servis düzeyini göstermektedir. Model oluşturulurken, en az 2 haftada bir sipariş verildiği varsayılmış, bu nedenle "F" değeri bir yıl için 26 olarak alınmıştır. Modelde kullanılan en düsük servis düzeyleri ABC sınıflandırması sonunda belirlenen gruplar yardımı ile oluşturulmuş ve grup j'nin en düşük servis düzeyleri (S_j) aşağıda verilmiştir:

$S_A \geq 0{,}975$
$S_B \geq 0{,}950$
$S_C \geq 0{,}925$

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

2.2. Notasyon

Modelde kullanılan notasyon aşağıda verilmiştir.

F = Hedef sipariş sıklığı
S = İstenen en düşük ortalama servis düzeyi (Kullanıcı tarafından belirlenmiştir)
N = Yedek parça sayısı
c_i = Yedek parça i'nin birim fiyatı (TL)
D_i = Yedek parça i için ortalama yıllık talep miktarı
$D_{toplam} = \sum_{i=1}^{N} D_i$ - Ortalama yıllık toplam talep miktarı
l_i = Yedek parça i için tedarik süresi (Lead time)
$p_i(.)$ = Yedek parça i'nin tedarik süresi boyunca gelen talebin olasılık yoğunluk fonksiyonu
$P_i(\cdot)$ = Yedek parça i'nin tedarik süresi boyunca gelen talebin olasılık kümülatif dağılım fonksiyonu
$\theta_i = l_i \times D_i$ - Yedek parça i'nin tedarik süresi boyunca gelen ortalama talep miktarı
σ_i = Yedek parça i'nin tedarik süresi boyunca gelen 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 stoğunun tükenme olasılığı
$B_i(r_i,Q_i)$ = Yedek parça i'nin ortalama geri ısmarlama (backorder) sayısı

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

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

Bu ifadede,

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

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

olarak hesaplanır ve $\beta_i(j)$ yedek parçaya i'ye tedarik süresi boyunca j'den daha fazla gelebilecek taleplerden dolayı oluşacak geri ısmarlamaların zaman ağırlıklı ortalamasını ifade etmektedir.

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

$$\alpha_i(r_i) = \sum_{u=r_i+1}^{\infty}(u - r_i)\, p_i(u) \tag{8}$$

$$\alpha_i(r_i + Q_i) = \sum_{u=r_i+Q_i}^{\infty}\left[u - (r_i + Q_i)\right] p_i(u) \tag{9}$$

Yukarıdaki formüllerde $\alpha_i(j)$ yedek parça i'ye tedarik süresi boyunca j'nin üzerinde gelen ortalama talep miktarını temsil etmektedir.

Yedek parça i için herhangi bir zamandaki ortalama envanter miktarı ise aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanabilir.

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

Yukarıda verilen notasyon ve ifadeler ile model aşağıdaki gibi oluşturulur.

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

$$s.t. \qquad \left(\frac{1}{N}\right)\sum_{i=1}^{N}\frac{\mathrm{D_i}}{\mathrm{Q_i}} \le F \tag{12}$$

$$\sum_{i=1}^{N}\frac{\mathrm{D_i}}{\mathrm{D_{Total}}}\left[1 - A_i(r_i, Q_i)\right] \ge S \tag{13}$$

$$r_i \ge \theta_i \tag{14}$$

$$Q_i \ge 1 \tag{15}$$

r_i *ve* Q_i tam sayıdır. (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 fikirden yola çıkarak sipariş sıklığı kısıtı ortalama sipariş sayısı üzerinden Denklem (12) olarak yazılmıştır. Denklem (13)'te belirtilen ortalama servis düzeyi kısıtı yedek parça i için servis düzeyinin $1-A_i(r_i,Q_i)$ olduğu düşünülerek yazılmıştır. Burada $A_i(r_i,Q_i)$ yedek parça i için herhangi bir zamanda stok bulunmama olasılığını gösterir. Denlem (14) de θ_i kullanarak, bütün parçalar için servis seviyesinin yaklaşık olarak en az %50 olduğunu garanti ediyoruz. Böylelikle bazı yedek parçalar için istenmeyen çok düşük servis düzeylerinin oluşması engellenmiş olmaktadır.

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

2.3. Sezgisel Yöntem

Bu bölümde her bir yedek parça i için sipariş miktarlarını (Q_i) ve yeniden sipariş noktalarını (r_i) bulmak için kullanılan ve Zhang v.d (2001) tarafından önerilen sezgisel yöntem anlatılmaktadır. Bu yöntemde öncelikle yedek parçalar sınıflara bölünmekte ve her sınıf içerisinde servis düzeyi sabit olarak kabul edilmektedir. Sistem içerisindeki her bir parçanın servis düzeyini aramak yerine aramayı sadece birkaç servis düzeyi için yapmak optimizasyon probleminin boyutunu anlamlı bir şekilde azaltmaktadır. Sipariş miktarı ve yeniden sipariş noktası için, aşağıda açıklanmış olan basit kapalı şekil (closed-form) ifadeler bulunmuştur. Bu ifadeler aşağıda Excel tablosu yardımıyla analiz edilerek modeldeki kısıtları sağlayan ve en düşük maliyetli parametreler kolayca bulunabilmektedir.

Geleneksel ABC metodunda sınıflandırma için, parçalar birim maliyet veya yıllık maliyetlerine göre sıralanmaktadır. Burada parçaları sıralama yaparken Zhang v.d (2001)'nin çalışmasında önerildiği gibi $\frac{D_i}{l_i c_i^2}$ oranı kullanılmış, azalan şekilde sıralama yapılmış ve daha sonra ABC gruplaması yapılmıştır.

2.3.1. Sipariş miktarını hesaplama

Sipariş miktarını (Q_i) geleneksel EOQ denklemini kullanarak aşağıdaki gibi bulabiliriz.

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

Denklem (17)'deki K değeri sabit sipariş maliyeti olmakla beraber sipariş sıklığı kısıtını sağlayan *K* değerlerini bulmak için aşağıdaki formül kullanılmaktadır.

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

Daha sonra yukarıdaki denklem yardımı ile geçerli K değerlerini aşağıdaki formulasyon yardımıyla bulabiliriz.

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

Eğer K için (19)'da verilen eşitsizliği sağlayan en küçük değer kullanılırsa, Q_i

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

olarak bulunur ve $Q_i \geq 1$ kısıtı ile EOQ modeli aşağıdaki gibi tekrar ifade edilebilmektedir.

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

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

2.3.2. Yeniden sipariş noktasının hesaplanması

Yedek parça i için yeniden sipariş noktası (r_i) değerini bulmak için Zhang v.d (2001) çalışmasında önerildiği gibi Nahmias (2005)'de sunulan Tip I ve Tip II yaklaşımlarını içeren karma bir yöntem kullanılmaktadır. Verilen sipariş miktarı Q_i ve hedef servis düzeyi S_i değerlerini kullanarak yeniden sipariş noktası r_i değerini bulmak için tedarik süreci boyunca gelen talep miktarının beklenen değeri θ_i ve standard sapması σ_i olan normal dağılıma sahip olduğu varsayılmaktadır. Tip I servis düzeyi tedarik süresi boyunca stok bulundurma olasılığıdır. Tip II servis düzeyi ise zamanında karşılanan taleplerin oranını göstermektedir.

2.3.3. Karma yaklaşım

Tip I ve *Tip II* yaklaşımlarından daha iyi bir uygun (feasible) sonuç bulmak için, yeniden sipariş noktaları için karma bir formül vardır. Zhang v.d (2001) çalışmalarında bu yaklaşımları aşağıdaki karma denklemlerde birleştirmiştir.

$$r_i = \begin{cases} \theta_i + \sigma_i \min\left\{\sqrt{-2\ln\left(\frac{\sqrt{2\pi}(1-S_i)(Q_i + z_{S_i}\sigma_i)}{\sigma_i}\right)}, z_{S_i}\right\} & \ln\left(\frac{\sqrt{2\pi}(1-S_i)(Q_i + z_{s_i}\sigma_i)}{\sigma_i}\right) \leq 0 \text{ ise} \\ \theta_i & \ln\left(\frac{\sqrt{2\pi}(1-S_i)(Q_i + z_{s_i}\sigma_i)}{\sigma_i}\right) > 0 \text{ ise} \end{cases} \qquad (22)$$

Bu denklemde, z_s değeri 0<s<1 için s'e karşılık gelen ters standart normal kümülatif yoğunluk fonksiyonudur.

Bir sonraki bölümde yukarıda anlatılan 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 Organizayonundaki 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 yapılarak 50 kritik malzeme bulunmuştur.

3.1. ABC Analizi

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. Nicel bir yöntem olan ABC metodu, kritik ile daha az kritik olanları ayırma işlevini gerçekleştirmektedir. Bu analiz, bir envanter sistemindeki kritik ve çok değerli olan stok kalemlerini belirleyerek bunların daha sık kontrol edilmesini sağlamak amacıyla çok sayıdaki stok kalemini 3 gruba ayırır. Stoktaki tüm kalemlere aynı stok yönetim teknikleri uygulamamak için yakın takip ve izleme gerektiren önemli ve kritik kalemler, diğerlerinden ayrıştırılır. A grubu malzemeler sistem için çok önemli ve kritik, değerde pahalı ve az sayıda bir kalem grubu olarak ortaya çıkar. B grubu malzemeler ise orta değerde ve A grubundan daha az kritik ve ortalama bir sayıdadır. C grubu malzemeler ise sistem için en az önemli ve en az kritik, değeri ucuz fakat çok sayıda bir 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, fiyat ve tedarik süresi kriterleri ile iş makinelerine ait yedek parçaların ABC sınıflandırması yapılmış ve ABC analizi sonucunda her bir sınıf malzemelerin toplam değerin 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	73,47	32	16
B	22,52	64	32
C	5,01	102	52

ABC analizi envanter kalemlerinin değer ve sayılarının tüm envanter içindeki kümülatif yüzdelerine göre sınıflandırmasından ibarettir. Yüksek değerli A kalemlerinden az miktarda bulundurmak fakat kontrolü sıklaştırmak ve ayrıntılı kayıtlar gerekli olacaktır. Buna karşın düşük değerli C kalemlerinden bol miktarda bulundurularak kontrol, sipariş ve kayıt işlemleri basit tutulmalıdır. Stok miktarları fazla olduğundan sık sık gözden geçirme ve sipariş işlemlerine gerek yoktur. ABC analizi ile yıllık büyük harcama gerektiren kalemlere dikkat çekmek ve böylece A grubu malların stok düzeylerinin düşürülerek 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 ve çalışmanın geri kalan kısmında belirlenen kritik 50 kalem kritik malzemenin analizi yapılmıştır.

3.2. Sipariş Miktarı ve Yeniden Sipariş Noktasının Belirlenmesi

Kritik 50 adet malzemeye ait sipariş miktarları (Q_i) Excel programı ile hesaplanarak EK - A'da verilmektedir. Envanter yönetim sistemi oluştururken sipariş miktarı ile birlikte yeniden sipariş noktasının belirlenmesi gerekmektedir. Envanter miktarı önceden belirlenmiş stok düzeyi olan yeniden sipariş noktasının altına düştüğünde sipariş verilmesi gerekir. Bu stok düzeyinin, teslimat süresi boyunca gelebilecek ortalama talebi ve istenen ortalama servis düzeyini sağlayabilmek için gereken güvenlik stoğunu içermesi gereklidir. Başka bir deyişle, yeniden sipariş noktası stoksuz kalmamak için yeniden sipariş verilmesinin gerektiği kabul edilen stok düzeyidir.

Yeniden sipariş noktası, yukarıda verilen (22) no'lu denklem kullanılarak hesaplanabilir. Sistemimizde belirlediğimiz kritik malzemelere ait yeniden sipariş noktaları (r_i) Excel programı ile hesaplanmış ve EK - B'de verilmektedir.

Yukarıda anlatılan hesaplamalar sonucunda elde edilen Q_i ve r_i değerleri tam sayı kısıtını sağlayabilmek ve sipariş sıklığı ve servis düzeyi bakımından güvenli aralıkta kalabilmek için yukarıya yuvarlanmıştır. Yuvarlama sonucunda elde edilen Q_i ve r_i değerleri ile her malzemenin iki sipariş arasında alabileceği maksimum ile minimum envanter düzeyleri EK - C'de verilmektedir.

3.3. Maliyet Analizi

Maliyet analizinde kullanılan değerler, faaliyete dayalı maliyetlendirme sistemi ile, satın alma (sipariş), ürün giriş kontrolü ve depolama faaliyetlerine göre gruplandırılarak eldeki kaynakların bu faaliyetler için ne kadar kullanıldıkları tespit edildikten sonra hesaplanmaktadır. Her bir faaliyetin kaynak kullanım oranları veya zamanları ile maliyetlerin elde edilmesinde kullanılan diğer veriler Tablolar 3 – 8'de sunulmaktadır.

Tablo- 3: Kaynakların Toplam Değerleri ve Maliyetleri

Kaynaklar (Masraf Sınıfları)	Kaynak Maliyet Anahtarları (/ay)	Toplam Kaynak Değeri	Maliyet (TL/ay)	Birim Maliyet	Birim Maliyet Anahtarı
Depo Yönetimi	Süre (saat)	160	2000	12,5000	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	13,2500	TL/saat
Sınıflandırılmayan Masraflar (Posta, Su, Elektrik vb.)	Personel Sayısı	8	100	12,5000	TL/personel

Tablo-3 maliyet analizinde kullanılan kaynakları (masraf sınıfları), bunların toplam değerlerini ve birim maliyetlerini içermektedir. Depo yönetiminden sorumlu bir personel bulunmaktadır ve bu personelin aylık maaşı Tablo-3'te maliyet olarak verilmiştir. Depo personeli olarak çalışan 2 personelden her birinin maliyeti 273,77 TL/ay olarak belirlenmiştir. XYZ organizasyonun bir devlet kuruluşu olması nedeniyle bu organizasyona ait deponun kira gideri bulunmamaktadır. Depo 1985 yılında yapılmış olup 20 yıldan eski olduğu dikkate alındığı zaman amortisman hesabı yapılmasına gerek bulunmamaktadır. Ayrıca, aşağıda belirtileceği üzere, depolama maliyetinin diğer maliyet kalemlerine göre oldukça düşük olduğu ve amortismanın önemli bir etki yaratmadığı görülmektedir. Mali ve idari işlere (saymanlık ve maliye bölümü) ait aktivitelerin maliyeti hesaplanırken bu bölümlerde görev yapan 5 personelin toplam aylık maaş miktarı göz önüne alınmaktadır. Maliyet hesabında aylık irsaliye sayısı 50 olarak varsayılmaktadır.

Tablo-4'te posta, su, elektrik gibi sınıflandırılmayan masrafların ürün giriş kontrolü ve depolama faaliyetleri için irsaliye başına düşen birim maliyet hesaplanmaktadır. Sınıflandırılmayan masraflara, sipariş süresince bilgisayar kullanımı dolaylı olarak elektrik maliyetleri eklenmektedir.

Tablo- 4: Sınıflandırılmayan Masrafların Personel Maliyeti Bilgileri

Faaliyetler	Ortalama Personel Sayısı	Kullanım Yüzdesi	Maliyet (TL/irsaliye)
Ürün Giriş Kontrolü	3	%37,5	0,75
Depolama	2	%25,0	0,50

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

Tablo- 5: Ürün Giriş Kontrolü İçin Personel Maliyeti Bilgileri

Ürün Giriş Kontrolü	Depo Yönetimi	Depo Personeli	Mali ve İdari İşler
Ürün Giriş Kontrolü Toplamı (saat/irsaliye)	1,0	1,0	3,5
Maliyet (TL/irsaliye)	12,5	1,7111	46,375
Ürün Giriş Kontrolü Personel Maliyeti	60,5861 TL/irsaliye		

Tablo- 6: Depolama Faaliyetleri için Personel Maliyeti Bilgileri

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

Tablo -7: Depo Telefon Maliyeti Bilgileri

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

İhtiyacımız olan bir başka veri irsaliye başına sipariş maliyetidir. Depo içerisinde sipariş ile ilgili 3 ana bölüm (satın alma, muhasebe ve depo) bulunmaktadır. Tablo-8'de bu bölümlerde sipariş için ne kadar zaman ve kaynak harcandığı ile bunların maliyete yansıması 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
Depo	Ürün Gelişi / Sipariş Kontrolü	-	10	-	-	0,5
	Teslim Alış/ Ürün Kontrolü	20	15	5	0,5	0,5
Depo ve Muhasebe	Fatura Kontrolü	15	5	5	-	0,5
TOPLAM		**75**	**40**	**35**	**5**	**4**

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 faydalanılmaktadır. Bu hesaplamalarda, uygulamanın yapıldığı organizasyonda bir sipariş için ilgili bölümlerin harcadığı güncel veya gerçeğe yakın süreler ve kaynaklar kullanılmaktadır.

Tablo 9'da sipariş maliyetine ait hesaplamalar gösterilmektedir. Aylık brüt ortalama işgören maliyeti, aylık toplam çalışma saatine bölünerek 1 dakikalık işgücü maliyeti bulunmuştur. Sipariş maliyeti dakikalık işgücü maliyetinin sipariş için harcanan süre (150 dak.) ile çarpılıp kırtasiye, telefon ve diğer maliyetler ile eklenmesi sonucu hesaplanmaktadır.

Tablo - 9: Sipariş Maliyeti

Brüt Ortalama İşgören Maliyeti (TL / insan - ay)	2100
Aylık Çalışma Saati (insan - saat)	160
Brüt Ortalama İşgören Maliyeti (TL / insan - dakika)	0,21875
Sipariş Maliyeti (TL / sipariş)	**41,8125**

Tablo - 10: Ürün Depolama Maliyetleri

Depo Kirası (TL / ay)	0
Depo Efektif Hacmi (m^3)	10
Ürün Depo Kira Maliyeti (TL / m^3 - ay)	**0**
Ürün Sigorta, Isınma ve İşçilik Maliyetleri (TL / ay)	1000
Ürün Sigorta, Isınma ve İşçilik Birim Maliyetleri (TL / m^3 – ay)	**100**
Ürün Depolama Maliyeti (TL / m^3 - ay)	**100**

Ürün depolama maliyetini hesaplamak için ilgili ürünlerin depo efektik hacmine ihtiyaç duyulmaktadır. ABC analizi sonucu bulunan ve maliyet hesaplarında kullanılan kritik 50 yedek parçanın kapladığı ortalama toplam hacim EK - D'de verilen aylık ortalama envanter miktarı ve ürün hacimleri kullanılarak 5,34 m^3 olarak hesaplanmaktadır. Depo efektif hacmi hesaplanırken ise, ABC analizi sonucu bulunan ve maliyet hesaplarında kullanılan her bir kritik yedek parça ürün için aylık ortalama envanter miktarları ve bu ürünlerin depoda raflarda kapladığı toplam hacim düşünülmektedir. Depoda toplam 200 ürün olduğu için, kritik olmayan diğer 150 ürünü de düşününce efektif hacim 10 m^3 olarak hesaplamaya katılmaktadır. Ürün depolama maliyeti ise depo kirası ile sigorta, ısınma ve işçilik maliyetlerinin depo efektif hacmine bölünerek toplanmasıyla elde edilmektedir. XYZ organizasyonu bir devlet kuruluşu olduğu için deponun kira gideri bulunmamaktadır. Ürünlerin sigorta, ısınma ve işçilik maliyetleri için ayda 1000 TL harcandığı için m^3 başına aylık ürün depolama maliyeti 100 TL olarak elde edilmektedir.

Bu hesaplamalar sonucunda oluşan ürün giriş kontrolü ve depolama faaliyetlerine ait maliyetler Tablo - 11'de özetlenmiştir.

Tablo - 11: Depo Faaliyetlerine Ait Birim Maliyetler

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

Yukarıdaki tablolarda açıklanan birim maliyet değerleri kullanılarak depoda tutulan yedek parça j için toplam envanter maliyeti aşağıdaki formül ile bulunmaktadır.

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

Bu formülde yedek parça j için elde bulundurma maliyeti ise aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

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

Her bir malzemeye ait yatırım maliyetini bir başka deyişle, stoğa bağlanan sermayenin maliyetini hesaplamak için bankalardan alınan kredi faizi kullanılmaktadır. %14 olarak alınan yıllık kredi faizi (yıllık sermaye maliyeti) aşağıdaki formül ile aylık kredi faizine dönüştürülmektedir. Bu formülde, yıllık faiz "r_y", aylık faiz ise "r_a" ile gösterilmektedir.

$$1 + r_a = (1 + r_y)^{1/12} \Rightarrow 1 + r_a = (1 + 0{,}14)^{1/12} \Rightarrow r_a = 0{,}01097885$$

%1,097885 olarak hesaplananan aylık faiz ile malzeme alış fiyatı çarpılarak her bir yedek parça için yatırım maliyeti elde edilmektedir. Malzemelerin birim alış fiyatları (Baf) ise stok kayıtlarında tutulmaktadır. Stok kayıtlarından alınan malzemelerin birim alış fiyatları (baf), aylık faiz (0.01097885) ile çarpılarak yatırım maliyeti hesaplanmaktadır.

Yukarıda anlatılan tüm maliyetler dikkate alındığında yedek parça *j* için yatırım, depolama, ürün giriş kontrol ve sipariş maliyetleri ise aşağıdaki formüller ile elde edilmektedir:

$$\text{Depolama Maliyeti}_j = \text{Stok Miktarı}_j \times \text{Ürün hacmi}_j \times \text{Ürün Depolama Maliyeti} + 13{,}6243 \text{ TL/irsaliye}$$

$$\text{Depolama Maliyeti}_j = \text{Stok Miktarı}_j \times \text{Ürün hacmi}_j \times 100 \text{ TL/m}^3 + 13{,}6243 \text{ TL/irsaliye}$$

$$\text{Yatirim Maliyeti}_j = 0{,}01097885 \times \text{Baf}_j \times \text{Stok Miktarı}_j$$

$$\text{Ürün Giriş Kontrol Maliyeti}_j = 61{,}4561 \text{ TL/irsaliye}$$

$$\text{Sipariş Maliyeti}_j = 41{,}8125 \text{ TL/sipariş}$$

Aşağıdaki bölümlerde mevcut durum ile modelin uygulanması sonucunda elde edilen toplam maliyetler hesaplanarak karşılaştırılmaktadır.

3.3.1. Mevcut Envanter Sisteminde Toplam Maliyet

Mevcut envanter sistemindeki toplam maliyeti hesaplamak ve model için önerilen sezgisel yöntem ile bulunan en iyi parametreler ile elde edilen maliyetleri karşılaştırmak için ABC analizi sonucu kritik olarak belirlenen 50 kalem yedek parça seçilmiş ve Ek - D'de bu kritik yedek parçalara ait ürün, depolama ve yatırım maliyetleri verilmiştir. 50 kalem yedek parçanın bir yıllık satın alma miktarı toplamı 1382 olarak belirlenmiştir. Bir siparişte ortalama olarak 2 adet ürün olduğu varsayıldığında mevcut durumda aylık sipariş miktarı 58 olarak hesaplanmaktadır. Mevcut envanter sisteminde hesaplanan toplam maliyetler ise Tablo 12'de verilmektedir.

Tablo -12: Kritik Malzemeler için Mevcut Envanter Sisteminde 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
Toplam Maliyet	**237.871,10 TL /ay**

3.3.2. Model için Önerilen Sezgisel Yöntem ile Bulunan Parametreler ile Elde Edilen Toplam Maliyet

Toplam maliyeti hesaplamak için ABC analizi sonucu kritik olarak belirlenen 50 kalem yedek parçanın envanter maliyeti gerekmektedir. Ek - E'de bu kritik yedek parçalara ait ürün, depolama ve yatırım maliyetleri verilmektedir. Toplam envanter maliyetini bulabilmek için bu yedek parçaların ürün giriş kontrol ve sipariş maliyetlerini hesaplamak gereklidir. Dikkate alınan yedek parçaların yıllık ortalama talep miktarı toplamı 1268 olarak belirlenmiştir. Maliyet analizinde mevcut depo envanteri ile model için 2. bölümde önerilen sezgisel yöntem tarafından belirlenen parametreler ile elde edilen envanter değerlerini kıyaslarken bir siparişte ortalama olarak 2 adet yedek parça olduğu varsayılmaktadır. Modelde varsayılan 50 aylık sipariş miktarı mevcut envanter sistemindeki 58 aylık siparişten farklı olduğu için sipariş ile orantılı olan ürün giriş kontrol ve sipariş maliyetleri değişmektedir.

Önerilen sezgisel yöntem ile elde edilen parametreler ile bulunan toplam maliyetler ise Tablo - 13'te gösterilmektedir.

Tablo - 13: 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**
Toplam Maliyet	**223.729,45 TL /ay**

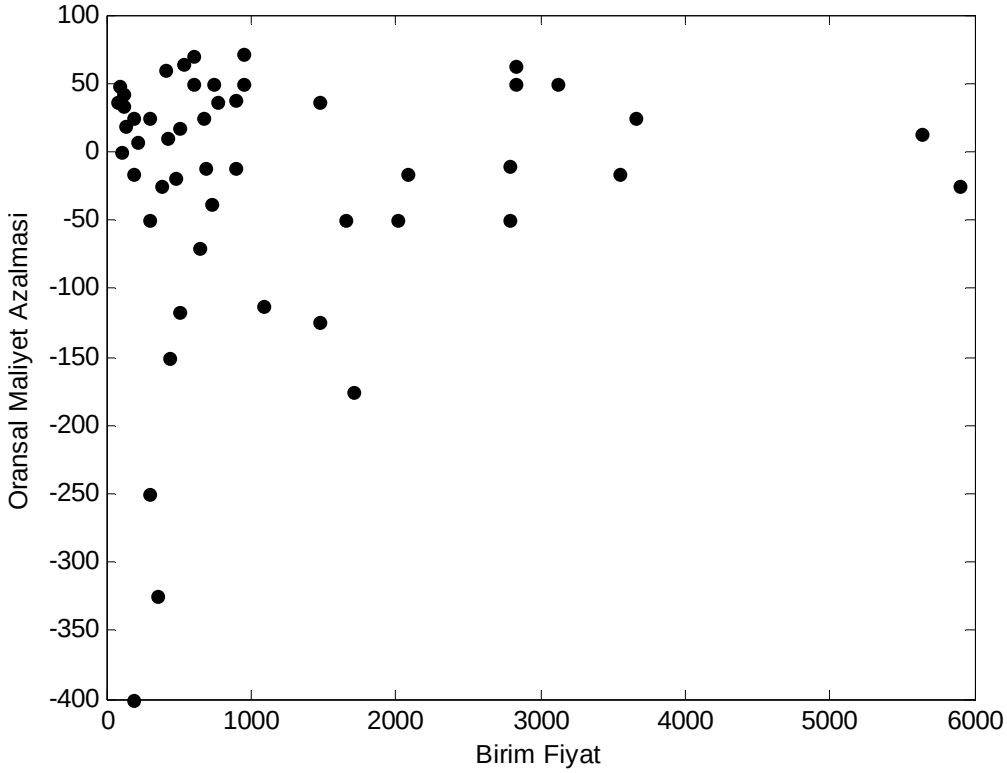
Mevcut envanter sisteminde ve matematiksel model için önerilen sezgisel yöntem ile elde edilen maliyetlerin karşılaştırılması Tablo - 14'te verilmektedir. Sezgisel yöntemin kullanımı toplam maliyette aylık yaklaşık 14000 TL'lik bir kazanç sağlamakla beraber bu azalma oransal olarak % 6'ya yakın bir değere karşılık gelmektedir. Toplam maliyetin yaklaşık %96'sını oluşturan ürün satın alma maliyetinde %5.66'lık bir azalma sağlarken toplam envanter maliyetinde % 12'nin üzerinde bir kazanç sağlanmaktadır.

Tablo - 14: Mevcut Envanter Sistemi ve Önerilen Sezgisel Yöntem ile Elde Edilen Maliyetlerin Karşılaştırılması

	Mevcut Envanter Sistemi Maliyetleri	**Sezgisel Yöntem ile Elde Edilen Maliyetler**	**% 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

Matematiksel model ile bu model için önerilen sezgisel yöntem maliyetlerde bir kazanç sağlarken servis seviyelerinde iyileştirmeler sağlamaktadır. Sezgisel yöntemin önerdiği parametreler kullanıldığı takdirde daha yüksek servis seviyeleri elde edilmektedir. Kritik olan 50 yedek parçanın tamamı istenen en düşük servis seviyelerini sağlarken mevcut envanter sisteminde bu yedek parçalardan 23 tanesinin servis düzeyi istenen minimum seviyenin altında kalmaktadır. 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 belirlenir. Genellikle envanterdeki malzemelere önemlerine göre servis seviyeleri verilir. Böylece çok önemli parçalar %97.5 seviyelerindeyken, daha az önemli malzemelerin istenen servis düzeyleri %92.5 seviyesinde olabilir.

Matematiksel model ve sezgisel yöntem ile elde edilen kazançlara sistem düzeyinin yanında yedek parça düzeyinde incelemek önemli olmaktadır. EK – D ve EK - E'de gösterilen toplam maliyetler için kritik 50 yedek parça için elde edilen en büyük oransal kazanç EK – F'de gösterildiği şekilde %70 düzeyindedir. EK F'de gösterilen oransal azalmalar pozitif ise tanım gereği maliyet azalmasını, negative ise maliyet artışını göstermektedir. Bir yedek parça için toplam maliyette %400 oranında artış gözlenirken bu yedek parçanın birim fiyatı diğer parçalara göre oldukça düşük olduğundan dolayı bu artışın toplam maliyete kayda değer bir etkisi bulunmamaktadır. Şekil - 1'de dikkate alınan tüm yedek parçaların birim maliyeti ile oransal toplam maliyet azalması ilişkisi gösterilmektedir. 27 yedek parça kaleminde maliyetlerde azalma sağlanırken geri kalan 23 kalemde ortalama stok seviyesinin artışından dolayı maliyetlerde artma gözlemlenmektedir. Ancak bu kalemler için, yukarıda bahsedildiği üzere mevcut envanter sisteminde istenen servis seviyeleri sağlanamamaktadır.



Şekil – 1: Sezgisel Yöntem ile elde edilen Oransal Maliyet Azalması ve Ürün Maliyeti Arasındaki İlişki

4. Sonuçlar

A, B, C grubu parçalar, toplam değer içinde, nispi önemlerine ve kritiklik düzeylerine göre yüksek değerli, orta değerli, düşük değerli stok kalemlerini temsil etmektedir. Bu ayırım, stokların kontrol faaliyetlerinin farklılaştırılmasını sağlamaktadır. Buna göre XYZ organizasyonundaki A grubu stok kalemleri, çok sıkı bir kontrole tabi tutulmalıdır. Bu organizasyonda, A grubu stok kalemlerinin kontrol edilmesiyle toplam envanter değerinin %73.47'si kontrol edilmiş olmaktadır. Bu nedenle, bu envanter yönetim sisteminde miktar ve zaman kararlarıyla ilgili olarak, sipariş miktarı, emniyet stoku, tedarik süresi, fiili stoklar gibi sistemin temel faktörleri titizlikle belirlenmelidir. Bütün faktörlerin sık sık

kontrol edilmesi ile daha az kabul yapılmasını mümkün olacağından, kontrol fonksiyonunun hassasiyeti artırılmaktadır. Siparişlerin sık sık verilmesindeki amaç, fiili stokların, talebe mümkün olduğu kadar yakın bulunmasını sağlamaktadır. Bu şekilde emniyet stoklarının, mümkün olabilecek en düşük seviyede tutulması sağlanmaktadır. Verilen sık siparişlerle, stokların işletmede bekleme sürelerinin azalması sağlanırken elde stok bulundurma masraflarında kazanç elde edilmektedir. Aynı zamanda, sık siparişler ile talebin karşılanamama olasılığının azalması nedeniyle stok bulundurmama ve kayıp satış maliyetlerinin azalması sağlanırken, emniyet stok seviyesinin düşük düzeylerde tutulabilmesi nedeniyle bu stoklarla ilgili elde bulundurma masraflarının azalması mümkün olmaktadır.

C grubu stok kalemlerinin kontrolünde, A grubu stok kalemlerinin kontrolünde uyulması gereken yöntem ve politikaların tam aksi yönde bir yön çizilmesi gerekmektedir. Büyük miktarda ve uzun aralıklarla sipariş verilirken, 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. C grubu kalemlerin genellikle standart mallar olması nedeniyle eskime ve yıpranma riski azdır. Belirlenen bir politika ile, tüm C grubu kalemleri için emniyet stoğu tayin edilebilir. Her kalem için, ayrı emniyet stoku seviyesi tayin edilmesine gerek bulunmamaktadır. C grubu stok kalemleri için, siparişlerin daha seyrek ancak büyük miktarlarda verilmesi nedeniyle ortalama stok miktarları yükselmektedir. Bu nedenle, elde stok bulundurma masrafları artmaktadır. Ancak, elde bulundurma masrafı, aynı zamanda birim maliyetlere bağlı bulunduğundan ve C grubu stok kalemlerinin birim maliyetinin genel olarak düşük olması nedeniyle, bu artışın çok büyük miktarlarda olması beklenmemektedir.

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 den 8.671,19 TL ye düştüğü yani % 12,48 lık kayda değer bir iyileştirme sağladığı bulunmuştur. Toplam maliyetlerde ise maliyet 237.871,10 TL den 223.729,45 TL ye düşerek yaklaşık olarak % 5,95 lık bir iyileştirme sağladığı görülmüştür.

Matematiksel model ve önerilen sezgisel yöntemin kullanılması servis seviyeleri açısından da fayda sağlamaktadır. Yöntemin verdiği parametreler kullanıldığı zaman daha iyi bir servis seviyesi sağlanmaktadır. Kritik olan 50 malzemenin tamamı istenen en düşük servis seviyesini sağlarken mevcut envanter sisteminde bu yedek parçalardan 23 tanesi istenen 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, Z. Drezner, J. K. Ryan, 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, M. Tzur, E. Yücesan, 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, A. Banerjee, J. Burton, W. Bistline, 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, N. K. H. Tang, H. C. W. Lau, A simulation approach in supply chain management, *Integrated Manufacturing Systems*, 13, 117-122, (2002).

[11] R. Ganeshan, T. Boone, A. Stenger, 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, J. W. Patterson, L. D. Fredendall, 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, M. J. Kleijn, P. J. De Rooij, A spare part stocking policy based on equipment criticality, *International Journal of Production Economics*, 56, 69-77, (1998).

[18] T. S. Dhakar, C. P. Schmidt, D. M. Miller, 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, W. J. Hopp, C. Supatgiat, 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 Q_i Hesaplamaları

Sıra No	Stok Numarası	N	D_i	c_i	F	1/(NF)	√(Di*ci)	√(Di/ci)	Q_i
1	3020-01-513-5023	50	80	100,63	26	0,000769	89,7240	0,8916	**3,5026**
2	2530-00-852-1220	50	79	290,90	26	0,000769	151,5952	0,5211	**2,0472**
3	3130-27-039-0020	50	10	3.540,00	26	0,000769	188,1489	0,0531	**0,2088**
4	4810-27-039-0048	50	68	212,40	26	0,000769	120,1799	0,5658	**2,2227**
5	2915-01-438-7308	50	23	501,50	26	0,000769	107,3988	0,2142	**0,8413**
6	4810-27-039-0583	50	13	5.900,00	26	0,000769	276,9476	0,0469	**0,1844**
7	2930-01-043-5097	50	8	5.640,40	26	0,000769	212,4222	0,0377	**0,1479**
8	4320-27-039-0074	50	17	2.789,52	26	0,000769	217,7656	0,0781	**0,3067**
9	2930-00-076-1833	50	13	2.784,80	26	0,000769	190,2693	0,0683	**0,2684**
10	4320-27-038-9988	50	103	118,00	26	0,000769	110,2452	0,9343	**3,6702**
11	2910-00-152-9875	50	31	295,61	26	0,000769	95,7283	0,3238	**1,2721**
12	3805-27-039-0545	50	9	472,00	26	0,000769	65,1767	0,1381	**0,5425**
13	3805-01-438-1952	50	22	1.475,00	26	0,000769	180,1388	0,1221	**0,4798**
14	3805-01-119-1725	50	1	3.658,00	26	0,000769	60,4814	0,0165	**0,0650**
15	2520-00-916-4667	50	26	890,90	26	0,000769	152,1953	0,1708	**0,6711**
16	2950-01-380-4831	50	2	3.115,20	26	0,000769	78,9329	0,0253	**0,0995**
17	4320-27-038-9976	50	8	2.832,00	26	0,000769	150,5191	0,0531	**0,2088**
18	4320-27-038-9980	50	2	2.832,00	26	0,000769	75,2596	0,0266	**0,1044**
19	2530-01-461-1253	50	15	531,00	26	0,000769	89,2468	0,1681	**0,6603**
20	2930-01-292-6895	50	4	2.083,88	26	0,000769	91,2991	0,0438	**0,1721**
21	2950-27-024-2400	50	2	2.006,00	26	0,000769	63,3404	0,0316	**0,1240**
22	2910-01-382-0163	50	140	77,88	26	0,000769	104,4184	1,3408	**5,2670**
23	4820-27-039-0057	50	15	601,80	26	0,000769	95,0105	0,1579	**0,6202**
24	4320-27-018-0615	50	7	1.711,00	26	0,000769	109,4395	0,0640	**0,2513**
25	2950-01-437-9070	50	8	1.652,00	26	0,000769	114,9609	0,0696	**0,2734**
26	4320-01-219-3966	50	14	737,50	26	0,000769	101,6120	0,1378	**0,5412**
27	2930-27-013-3068	50	12	601,80	26	0,000769	84,9800	0,1412	**0,5547**
28	3815-27-010-0869	50	102	131,27	26	0,000769	115,7132	0,8815	**3,4628**
29	2815-01-199-6561	50	30	190,79	26	0,000769	75,6551	0,3965	**1,5577**
30	4810-27-017-7721	50	32	184,08	26	0,000769	76,7500	0,4169	**1,6379**
31	2920-00-231-7270	50	10	1.080,88	26	0,000769	103,9654	0,0962	**0,3779**
32	3120-01-514-2154	50	13	501,50	26	0,000769	80,7434	0,1610	**0,6325**
33	5930-99-315-0081	50	11	483,80	26	0,000769	72,9507	0,1508	**0,5923**
34	3040-27-039-0067	50	11	952,26	26	0,000769	102,3468	0,1075	**0,4222**
35	2920-00-167-6782	50	8	950,49	26	0,000769	87,2005	0,0917	**0,3604**
36	3020-27-019-0208	50	74	94,40	26	0,000769	83,5799	0,8854	**3,4781**
37	3120-01-377-1515	50	11	890,90	26	0,000769	98,9944	0,1111	**0,4365**
38	2530-01-438-9792	50	3	295,00	26	0,000769	29,7489	0,1008	**0,3962**
39	2815-01-419-0334	50	1	434,74	26	0,000769	20,8504	0,0480	**0,1884**
40	3020-99-212-2800	50	5	424,80	26	0,000769	46,0869	0,1085	**0,4262**

41	3120-27-021-6922	50	2	413,00	26	0,000769	28,7402	0,0696	**0,2734**
42	2940-99-204-7381	50	86	123,60	26	0,000769	103,1000	0,8341	**3,2768**
43	3130-00-131-1832	50	3	767,00	26	0,000769	47,9687	0,0625	**0,2457**
44	2530-01-438-1963	50	4	383,08	26	0,000769	39,1449	0,1022	**0,4014**
45	2530-01-103-3814	50	28	188,80	26	0,000769	72,7076	0,3851	**1,5128**
46	2530-01-461-0272	50	7	731,60	26	0,000769	71,5626	0,0978	**0,3843**
47	2540-27-021-0828	50	12	354,00	26	0,000769	65,1767	0,1841	**0,7233**
48	3040-27-039-0069	50	4	680,86	26	0,000769	52,1866	0,0766	**0,3011**
49	5998-27-021-9415	50	11	672,60	26	0,000769	86,0151	0,1279	**0,5024**
50	3020-01-273-3734	50	12	649,00	26	0,000769	88,2496	0,1360	**0,5342**

EK- B : ABC Analizi Sonucu Belirlenen Kritik Malzemelerin r_i Hesaplamaları

($A = \sqrt{2\pi}(1 - S_i)(Q_i + z_{S_i}\sigma_i)/\sigma_i$ **)**

Sıra No	Stok Numarası	θ_i	σ_i	$(1-S_i)$	Q_i	z_{si}	A	√(-2ln(A))	r_i
1	3020-01-513-5023	1,5385	10,21	0,075	3,5026	2,245	0,4865	1,2004	13,79
2	2530-00-852-1220	1,5192	9,98	0,075	2,0472	2,245	0,4606	1,2451	13,94
3	3130-27-039-0020	0,1923	1,71	0,075	0,2088	2,245	0,4450	1,2725	2,37
4	4810-27-039-0048	1,3077	6,02	0,075	2,2227	2,245	0,4915	1,1920	8,48
5	2915-01-438-7308	0,4423	3,69	0,075	0,8413	2,245	0,4650	1,2376	5,00
6	4810-27-039-0583	0,2500	0,96	0,075	0,1844	2,245	0,4582	1,2493	1,45
7	2930-01-043-5097	0,1539	1,73	0,075	0,1479	2,245	0,4381	1,2847	2,38
8	4320-27-039-0074	0,3269	3,30	0,075	0,3067	2,245	0,4395	1,2823	4,56
9	2930-00-076-1833	0,2500	6,24	0,075	0,2684	2,245	0,4301	1,2990	8,35
10	4320-27-038-9988	1,9808	6,18	0,075	3,6702	2,245	0,5336	1,1208	8,91
11	2910-00-152-9875	0,5962	3,20	0,075	1,2721	2,245	0,4968	1,1829	4,38
12	3805-27-039-0545	0,1731	2,99	0,075	0,5425	2,245	0,4562	1,2528	3,91
13	3805-01-438-1952	0,4231	5,48	0,075	0,4798	2,245	0,4385	1,2840	7,46
14	3805-01-119-1725	0,0192	0,50	0,075	0,0650	2,245	0,4465	1,2699	0,65
15	2520-00-916-4667	0,5000	1,26	0,075	0,6711	2,245	0,5223	1,1397	1,93
16	2950-01-380-4831	0,0385	0,58	0,075	0,0995	2,245	0,4545	1,2559	0,76
17	4320-27-038-9976	0,1539	0,50	0,075	0,2088	2,245	0,5006	1,1765	0,74
18	4320-27-038-9980	0,0385	0,50	0,075	0,1044	2,245	0,4613	1,2439	0,66
19	2530-01-461-1253	0,2885	1,26	0,075	0,6603	2,245	0,5207	1,1424	1,73
20	2930-01-292-6895	0,0769	1,71	0,075	0,1721	2,245	0,4410	1,2796	2,26
21	2950-27-024-2400	0,0385	0,58	0,075	0,1240	2,245	0,4624	1,2420	0,76
22	2910-01-382-0163	2,6923	13,96	0,075	5,2670	2,245	0,4930	1,1894	19,30
23	4820-27-039-0057	0,2885	1,29	0,075	0,6202	2,245	0,5124	1,1565	1,78
24	4320-27-018-0615	0,1346	3,30	0,075	0,2513	2,245	0,4364	1,2879	4,39
25	2950-01-437-9070	0,1539	0,58	0,075	0,2734	2,245	0,5111	1,1587	0,82
26	4320-01-219-3966	0,2692	2,22	0,075	0,5412	2,245	0,4679	1,2324	3,00
27	2930-27-013-3068	0,2308	0,50	0,075	0,5547	2,245	0,6306	0,9603	0,71
28	3815-27-010-0869	1,9615	4,57	0,075	3,4628	2,245	0,5644	1,0696	6,85
29	2815-01-199-6561	0,5769	6,98	0,075	1,5577	2,245	0,4640	1,2392	9,22
30	4810-27-017-7721	0,6154	5,68	0,075	1,6379	2,245	0,4763	1,2180	7,53
31	2920-00-231-7270	0,1923	5,45	0,075	0,3779	2,245	0,4351	1,2901	7,22
32	3120-01-514-2154	0,2500	1,41	0,075	0,6325	2,245	0,5061	1,1670	1,90
33	5930-99-315-0081	0,2115	5,12	0,050	0,5923	1,960	0,2601	1,6411	8,62
34	3040-27-039-0067	0,2115	1,00	0,050	0,4222	1,960	0,2986	1,5548	1,77
35	2920-00-167-6782	0,1539	0,58	0,050	0,3604	1,960	0,3239	1,5016	1,02
36	3020-27-019-0208	1,4231	5,91	0,050	3,4781	1,960	0,3194	1,5108	10,35
37	3120-01-377-1515	0,2115	2,22	0,050	0,4365	1,960	0,2703	1,6175	3,80
38	2530-01-438-9792	0,0577	1,29	0,050	0,3962	1,960	0,2841	1,5864	2,11
39	2815-01-419-0334	0,0192	0,50	0,050	0,1884	1,960	0,2929	1,5672	0,80
40	3020-99-212-2800	0,0962	2,16	0,050	0,4262	1,960	0,2704	1,6174	3,59
41	3120-27-021-6922	0,0385	0,50	0,050	0,2734	1,960	0,3142	1,5217	0,80

42	2940-99-204-7381	1,6539	8,54	0,050	3,2768	1,960	0,2937	1,5653	15,02
43	3130-00-131-1832	0,0577	2,06	0,050	0,2457	1,960	0,2606	1,6400	3,44
44	2530-01-438-1963	0,0769	0,50	0,050	0,4014	1,960	0,3463	1,4564	0,81
45	2530-01-103-3814	0,5385	5,25	0,050	1,5128	1,960	0,2818	1,5917	8,90
46	2530-01-461-0272	0,1346	2,45	0,050	0,3843	1,960	0,2653	1,6290	4,12
47	2540-27-021-0828	0,2308	4,32	0,050	0,7232	1,960	0,2666	1,6260	7,26
48	3040-27-039-0069	0,0769	1,29	0,050	0,3011	1,960	0,2749	1,6071	2,15
49	5998-27-021-9415	0,2115	2,22	0,050	0,5024	1,960	0,2740	1,6090	3,78
50	3020-01-273-3734	0,2308	4,50	0,050	0,5342	1,960	0,2605	1,6402	7,61

EK- C : ABC Analizi Sonucu Belirlenen Kritik Malzemelerin Özet Tablosu

Sıra No	Stok Numarası	Hesaplanan Değerler		Tam Sayı Değerleri		Min.	Max.
		Q_i	r_i	Q_i	r_i		
1	3020-01-513-5023	3,5026	13,79	4	14	**14**	**18**
2	2530-00-852-1220	2,0472	13,94	3	14	**14**	**17**
3	3130-27-039-0020	0,2088	2,37	1	3	**3**	**4**
4	4810-27-039-0048	2,2227	8,48	3	9	**9**	**12**
5	2915-01-438-7308	0,8413	5,00	1	6	**6**	**7**
6	4810-27-039-0583	0,1844	1,45	1	2	**2**	**3**
7	2930-01-043-5097	0,1479	2,38	1	3	**3**	**4**
8	4320-27-039-0074	0,3067	4,56	1	5	**5**	**6**
9	2930-00-076-1833	0,2684	8,35	1	9	**9**	**10**
10	4320-27-038-9988	3,6702	8,91	4	9	**9**	**13**
11	2910-00-152-9875	1,2721	4,38	2	5	**5**	**7**
12	3805-27-039-0545	0,5425	3,91	1	4	**4**	**5**
13	3805-01-438-1952	0,4798	7,46	1	8	**8**	**9**
14	3805-01-119-1725	0,0650	0,65	1	1	**1**	**2**
15	2520-00-916-4667	0,6711	1,93	1	2	**2**	**3**
16	2950-01-380-4831	0,0995	0,76	1	1	**1**	**2**
17	4320-27-038-9976	0,2088	0,74	1	1	**1**	**2**
18	4320-27-038-9980	0,1044	0,66	1	1	**1**	**2**
19	2530-01-461-1253	0,6603	1,73	1	2	**2**	**3**
20	2930-01-292-6895	0,1721	2,26	1	3	**3**	**4**
21	2950-27-024-2400	0,1240	0,76	1	1	**1**	**2**
22	2910-01-382-0163	5,2670	19,30	6	20	**20**	**26**
23	4820-27-039-0057	0,6202	1,78	1	2	**2**	**3**
24	4320-27-018-0615	0,2513	4,39	1	5	**5**	**6**
25	2950-01-437-9070	0,2734	0,82	1	1	**1**	**2**
26	4320-01-219-3966	0,5412	3,00	1	4	**4**	**5**
27	2930-27-013-3068	0,5547	0,71	1	1	**1**	**2**
28	3815-27-010-0869	3,4628	6,85	4	7	**7**	**11**
29	2815-01-199-6561	1,5577	9,22	2	10	**10**	**12**
30	4810-27-017-7721	1,6379	7,53	2	8	**8**	**10**
31	2920-00-231-7270	0,3779	7,22	1	8	**8**	**9**
32	3120-01-514-2154	0,6325	1,90	1	2	**2**	**3**
33	5930-99-315-0081	0,5923	8,62	1	9	**9**	**10**
34	3040-27-039-0067	0,4222	1,77	1	2	**2**	**3**
35	2920-00-167-6782	0,3604	1,02	1	2	**2**	**3**
36	3020-27-019-0208	3,4781	10,35	4	11	**11**	**15**
37	3120-01-377-1515	0,4365	3,80	1	4	**4**	**5**
38	2530-01-438-9792	0,3962	2,11	1	3	**3**	**4**
39	2815-01-419-0334	0,1884	0,80	1	1	**1**	**2**
40	3020-99-212-2800	0,4262	3,59	1	4	**4**	**5**
41	3120-27-021-6922	0,2734	0,80	1	1	**1**	**2**

42	2940-99-204-7381	3,2768	15,02	4	16	**16**	**20**
43	3130-00-131-1832	0,2457	3,44	1	4	**4**	**5**
44	2530-01-438-1963	0,4014	0,81	1	1	**1**	**2**
45	2530-01-103-3814	1,5128	8,90	2	9	**9**	**11**
46	2530-01-461-0272	0,3843	4,12	1	5	**5**	**6**
47	2540-27-021-0828	0,7232	7,26	1	8	**8**	**9**
48	3040-27-039-0069	0,3011	2,15	1	3	**3**	**4**
49	5998-27-021-9415	0,5024	3,78	1	4	**4**	**5**
50	3020-01-273-3734	0,5342	7,61	1	8	**8**	**9**

EK - D : Kritik Malzemelerin Mevcut Envanter Sistemindeki Maliyetler

Sıra No	Stok Numarası	Birim Fiyat (TL)	Mevcut Envanter Miktarı	Hacim (m^3)	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
			TOPLAM		**227963,34**	**625,19**	**2502,78**	**231091,30**

EK - E : Kritik Malzemelerin Model için Önerilen Sezgisel Yöntem ile Bulunan Parametreleri ile Elde Edilen Maliyetler

Sıra No	Stok Numarası	Birim Fiyat (TL)	Aylık Ortalama Envanter Miktarı	Hacim (m^3)	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
				TOPLAM	**215058,26**	**465,45**	**2361,09**	**217884,80**

EK - F : Kritik Malzemelerin Sezgisel Yöntem ile Belirlenen Parametrelerde Mevcut Durum ile Toplam Maliyet Azalma Oranları

Sıra No	Stok Numarası	Oransal Toplam Maliyet Azalması	Sıra No	Stok Numarası	Oransal Toplam Maliyet Azalması
1	4810-27-039-0583	-25.00	**26**	2930-01-292-6895	-16.67
2	4320-27-039-0074	-10.00	**27**	3020-01-513-5023	0.00
3	2930-01-043-5097	12.50	**28**	2530-01-461-1253	64.29
4	2930-00-076-1833	-50.00	**29**	3020-01-273-3734	-70.00
5	3130-27-039-0020	-16.67	**30**	2920-00-167-6782	50.00
6	3805-01-438-1952	-125.00	**31**	5998-27-021-9415	25.00
7	2520-00-916-4667	37.50	**32**	2930-27-013-3068	70.00
8	2530-00-852-1220	-50.00	**33**	3020-27-019-0208	48.00
9	4320-27-038-9976	62.50	**34**	3120-01-514-2154	16.67
10	4810-27-039-0048	7.14	**35**	2950-01-380-4831	50.00
11	3815-27-010-0869	18.18	**36**	3130-00-131-1832	35.71
12	3805-27-039-0545	35.71	**37**	4810-27-017-7721	25.00
13	2950-01-437-9070	-50.00	**38**	2815-01-199-6561	-16.67
14	4320-27-038-9988	33.33	**39**	4320-27-038-9980	50.00
15	4320-27-018-0615	-175.00	**40**	5930-99-315-0081	-18.75
16	2915-01-438-7308	-116.67	**41**	2530-01-103-3814	-400.00
17	2910-01-382-0163	35.71	**42**	2530-01-461-0272	-37.50
18	2920-00-231-7270	-112.50	**43**	2540-27-021-0828	-325.00
19	2940-99-204-7381	42.11	**44**	2950-27-024-2400	-50.00
20	3040-27-039-0067	72.22	**45**	2815-01-419-0334	-150.00
21	4320-01-219-3966	50.00	**46**	2530-01-438-9792	-250.00
22	3120-27-021-6922	59.38	**47**	2530-01-438-1963	-25.00
23	3120-01-377-1515	-12.50	**48**	3805-01-119-1725	25.00
24	2910-00-152-9875	25.00	**49**	3040-27-039-0069	-12.50
25	4820-27-039-0057	50.00	**50**	3020-99-212-2800	10.00