

JOINT MAINTENANCE AND INVENTORY OPTIMIZATION AND AN APPLICATION

Musa Alptekin Erbaş*
Canser Bilir†

Abstract

In this study, a joint maintenance and inventory optimization of the maintenance organization of an airline company is proposed. During the analysis, first an ABC study and XYZ study are consecutively are carried out to identify few critical spare parts or components which are high volume and value items with relatively low demand variation. Various maintenance policies for each spare parts or components will be analyzed to identify which policy is best for the system. Then, inventory management policies and optimum order quantities will be defined. For only a few components predictive maintenance policies will be defined to predict the failure times in order to visualize the impact of improved prediction in failure times. Finally, a simulation model is to be built to analyze influences of various policies on key performance indicators such as average inventory level, life duration of the components and the failure rates of the components.

BİR BAKIM ORGANİZASYONUNDA STOK YÖNETİMİ OPTİMİZASYONU VE BAKIM PLANLAMASI İLE ENTEGRE EDİLMESİ ÜZERİNE BİR UYGULAMA

Özet

Bu çalışma ile birlikte bir havayolu firması bakım organizasyonunda kullanılan parça ve bileşenlerin bakım ve envanter optimizasyonu entegre bir şekilde analiz edilerek gerçekleştirilecektir. Çalışması sırasında öncelikle ABC ve XYZ analizleri gerçekleştirilerek envanter maliyetleri içerisinde büyük bölümü oluşturan ve nispeten talebi daha fazla tahmin edilebilir olan az sayıda ürün tespit edilmiştir. Bu belirlenen ürünler için farklı bakım politikaları analiz edilerek her bir bileşen için en uygun bakım politikaları ve buna uygun olarak envanter ve sipariş politikaları tesis edilmektedir. Yine az sayıda kritik ürün için öngörücü bakım çalışmaları ile birlikte parçanın ne zaman hata oluşturma olasılığı olduğu bilgisi de tahmin edilmeye çalışılarak sunulmaya çalışılmıştır. Tüm bu yapılan çalışmalar sonucunda bir benzetim modeli oluşturularak farklı politikaların sonuçlarının incelenmesi hedeflenmektedir. Ayrıca kurulan yeni dinamik modelin son 3 yıllık verilere uygulanarak toplam ortalama envanter düzeyi, hata oluşma oranı, parça kullanım süresi gibi anahtar performans göstergelerinin nasıl değiştiğinin izlenmesi hedeflenmektedir.

Giriş

Bir işletmenin yönetmesi gereken binlerce stok kalemi bulunabilir. Sağlıklı yürüyen bir organizasyon için üretim, bakım, satış gibi süreçlerde bu kalemlerden herhangi birine ihtiyaç olduğu an erişilmelidir. Fakat diğer bir kısıt olarak da gereğinden fazla malzemenin stoklarda tutulması ekonomik olarak doğru bir davranış değildir. Bu iki sınırı da düşünerek tüm malzemeleri yakından takip etmeye çalışmak karmaşıklık ve zorluklara yol açabilir. Bu yüzden önemli ve görece önemsiz kalemler farklı yöntemlerle ve ölçütler ile kategorize edilmektedir. Böylece her bir gruba yönelik ayrı bir politika ile çalışılabilir ve ekonomik olmayan süreçler azaltılabilir. Malzemelerin sınıflandırılmasında en yaygın kullanılan yöntem olan ABC analizi, Pareto ilkesi bir diğer adı ile 80/20 kuralına dayanmaktadır. Bir işletmenin lojistik operasyonlarındaki önemli unsurların belirlenmesinde bu ilke, kullanışlı bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Klasik ABC analizi malzemeleri parasal değerleri ve sayıları üzerinden sınıflandırmaktadır.

Sınıflandırmada yaygın olarak kullanılan bir diğer yöntem olan XYZ analizi, ürün kullanımlarındaki değişkenlikleri temel alır. “X” sınıfı yıllık süreçte görece sabit bir seyir izleyen fazla değişkenlik göstermeyen grubu nitelendirmektedir. “Y” grubunda kullanım değişkenlikleri daha fazla olmakta, “Z” grubu malzemelerde ise tamamen düzensiz bir kullanım söz konusudur.

Sipariş miktarı büyüklüğü belirlenirken belirli ölçütler göz önüne alınmaktadır. Gereğinden

*Sabahattin Zaim Üniversitesi Yüksek Lisans Öğrencisi, İşletme Fakültesi, Halkalı Cd. No:2 Halkalı, K.Çekmece, İstanbul, musa.erbas@std.izu.edu.tr

† Sabahattin Zaim Üniversitesi, Endüstri Müh. Bölümü, Halkalı Cd. No:2 Halkalı, K.Çekmece, İstanbul, canser.bilir@izu.edu.tr

fazla büyüklükte olan sipariş miktarları elde tutma maliyetlerini arttırır iken, gereğinden küçük olan sipariş miktarları sipariş maliyetlerini arttırmaktadır. Bu iki maliyet bileşenin toplamı, toplam maliyeti oluşturmaktadır. Toplam maliyetin en düşük olduğu nokta ekonomik sipariş miktarını vermektedir. Burada yeniden sipariş noktası tanımı ortaya çıkmaktadır. Bir stok çevriminde stok sıfırlanmadan belli bir süre önce tedarik süresi göz önüne alınarak yeni sipariş verilen noktaya yeniden sipariş noktası denir. Bu model tüm değişkenlerin sabit olduğu varsayımına dayanır. Gerçek hayatta ise tedarik süresinde yaşanabilecek sarkmalar ve talepte olabilecek artışlar gibi belirsizlikler nedeniyle güvenli stok miktarı belirlenmesi gerekir.

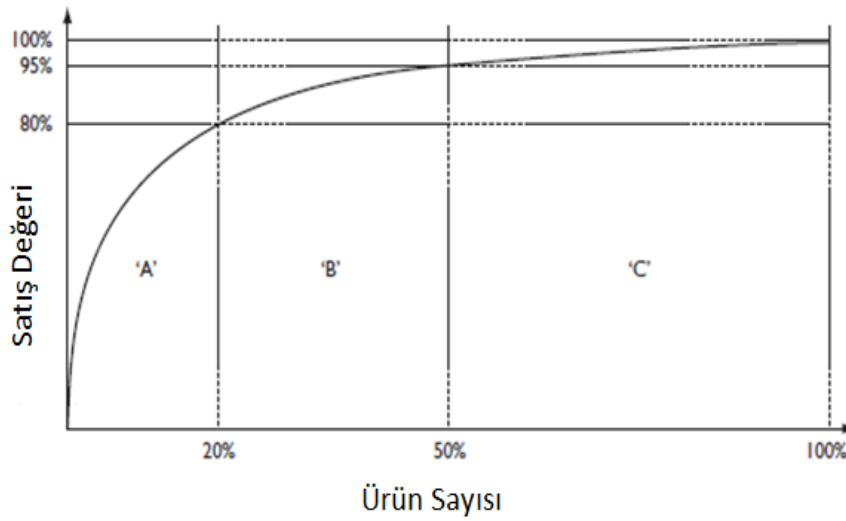
Değiştirilebilir parçalar stok yönetiminde, sipariş miktarı ve dolayısıyla stok miktarlarını etkileyen önemli hususlardan bir tanesi de kullanılan bakım politikalarıdır. Bakım Uygun bakım politikasının seçilmesi ve sipariş yönetimi ile birlikte bakım politikalarının entegre edilmesi ile birlikte envanter düzeylerinde, bakım için gerekli parçaların bulunabilirliğinde bir azalma olmaksızın ciddi azalmalar elde edilebilmektedir.

1. Mevcut Literatür ve Yöntemler

Bu çalışmada öncelikle ABC analizi ve sonrasında XYZ analizleri gerçekleştirilerek bakım planlamasında kullanılan ürünler kategorize edilecektir. Burada en temel amaç, işletmenin ürün stok seviyelerinde öncelikli olarak odaklanması gereken yüksek maliyet ve kullanım değerine sahip ürünler ile değişkenliği nispeten daha az olan ürünlerin belirlenmesidir. Sonrasında ise bakım planlaması ve sipariş verme yöntemleri analiz edilerek entegre bir stok yönetimi, sipariş ve bakım planlaması yöntemi önerilecektir.

1.1. ABC Analizi

Malzemelerin sınıflandırılmasında en yaygın kullanılan olarak kullanılan yöntemdir. Pareto ilkesi bir diğer adı ile 80/20 kuralına dayanmaktadır. Bir işletmenin lojistik operasyonlarındaki önemli unsurların belirlenmesinde bu ilke, kullanışlı bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Klasik ABC analizi malzemeleri parasal değerleri ve sayıları üzerinden sınıflandırmaktadır. Bu değişkenler göz önüne alınarak envanterdeki bir kalemin yıllık parasal değeri hesaplanabilir. Yapılacak analizde her bir kalem kümülatif olarak toplandığında tüm malzeme/ürünlerin içindeki ortalama yüzde 20'lik kısmın yine yaklaşık olarak toplam değer yüzde 80'lik kısmını kapsadığı görülecektir. En değerli bu yüzde 20'lik kısım "A" grubu, sıralamada bir sonraki yüzde 30'luk fakat toplam değer yüzde 15'ini karşılayan kısım "B" grubu, kalan yüzde 50'lik ama yalnızca toplam değer yüzde 5'ini karşılayan kısım ise "C" grubu olarak nitelenir (Rushton, Croucher, & Baker, 2010).



Şekil 1. ABC analizinin şekilsel gösterimi

ABC analizi ile belirlenen envanter içindeki sayıca az ama değer olarak yüksek “A” grubunun yönetiminde yapılacak bir iyileştirme toplamda büyük bir fayda sağlar. “C” grubundaki malzemelerin ise daha az kontrol edilmesi işletme için fazlaca bir kayıp oluşturmazacaktır.

Klasik ABC analizinin yeterli olmadığı durumlarda birden fazla kriter ile yapılan analizler geliştirilmiştir. Teslim süresi, ikame edilebilirlik, malzemenin ömrü, depolama maliyeti, sipariş büyüklüğü gibi ölçütler ile yapılan yeni analiz teknikleri bulunmaktadır (Cohen & Ernst, 1988).

1.2. XYZ Analizi

Sınıflandırmada yaygın olarak kullanılan bir diğer yöntem olan XYZ analizi, ürün kullanımlarındaki değişkenlikleri temel alır. “X” sınıfı yıllık süreçte görece sabit bir seyir izleyen fazla değişkenlik göstermeyen grubu nitelendirmektedir. Bu gruptaki malzemelerin planlaması ve tahmin süreçleri daha kolay yapılabilmektedir. “Y” grubunda kullanım değişkenlikleri daha fazla olmakta, “Z” grubu malzemelerde ise tamamen düzensiz bir kullanım söz konusudur. Bu nedenle “Z” grubundaki malzemelerin planlaması daha zor olup standart tahmin modelleri kullanılamamaktadır (Krajcovic & Plinta, 2012).

XYZ gruplandırması herhangi bir belirlenmiş süreçte (çoğunlukla yıllık) ürün kullanımındaki standart sapmanın ortalama ürün kullanımına oranlanarak bir değişim katsayısı hesaplanır. Kaynaklarda sınıflandırma sınırları konusunda net bir çizgi konmamıştır. Bazı kaynaklarda değişim katsayısı 0,5 ten küçük olan grup “X” grubu, değişim katsayısı 0,5 ile 1 arasında olan grup “Y” grubu ve değişim katsayısı 1 den büyük olan grup ise “Z” grubu olarak sınıflandırılmıştır (Scholz-Reiter, Heger, Meinecke, & Bergmann, 2012). Bazı kaynaklarda ise değişim katsayısı en düşük yüzde 20’lik dilim “X” grubu olarak tanımlanmış, “Y” ve “Z” gruplaması için ise sınıflandırma araştırmacıya bırakılmıştır (İlhan, 2015).

XYZ analizi çoğunlukla ABC analizi ile birlikte kullanılır. ABC ve XYZ analizleri yapıldıktan sonra bu analizler tek bir matriste toplanabilir. Daha sonra her bir grupta toplanan malzemeler için ayrı politika belirlenebilir. Aşağıda örnek bir ABC-XYZ matrisi ve her bir kategorinin kendine ait özellikleri gösterilmektedir.

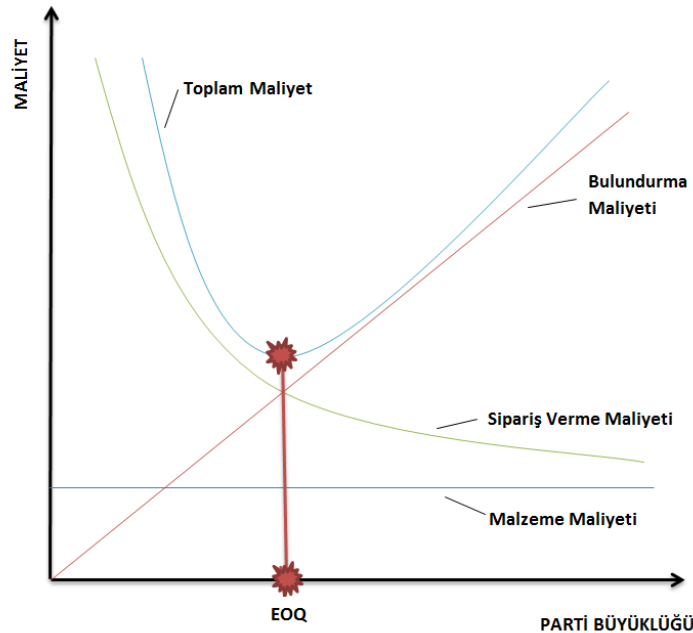
	A	B	C
X	Yüksek değer Yüzdesi Düşük değişkenlik Kolay tahmin	Ortalama Değer Yüzdesi Düşük değişkenlik Kolay tahmin	Düşük Değer Yüzdesi Düşük değişkenlik Kolay tahmin
Y	Yüksek Değer Yüzdesi Orta derece değişkenlik Orta zorlukta tahmin	Ortalama Değer Yüzdesi Orta derece değişkenlik Orta zorlukta tahmin	Düşük Değer Yüzdesi Orta derece değişkenlik Orta zorlukta tahmin
Z	Yüksek Değer Yüzdesi Yüksek değişkenlik Zor tahmin	Ortalama Değer Yüzdesi Yüksek değişkenlik Zor tahmin	Düşük Değer Yüzdesi Yüksek değişkenlik Zor tahmin

Şekil 2. ABC-XYZ matrisi

Yukarıdaki matriste AX, AY ve BX üzerinde daha fazla çalışılması gereken kategorilerdir. Bu alanlarda daha düşük bir stok ve daha iyi bir planlamanın katma değeri yüksek olacaktır. (Noche, 2015).

1.3. Ekonomik Sipariş Miktarı

Sipariş miktarı büyüklüğü belirlenirken belirli ölçütler göz önüne alınmalıdır. Bir envantere fazla miktarda stok bulundurmak; stoka bağlı kalan paranın finansman maliyeti, depolama ve saklama alanının maliyeti, kullanılamaz duruma düşen malzemenin değeri, stok takip harcamaları ve sigorta, zarar gibi diğer masrafları arttırmaktadır. Bu yüzden sipariş miktarlarının gereğinden fazla olmaması gerekmektedir. Diğer yandan gereğinden küçük olan sipariş miktarları da birim malzeme başına sipariş verme maliyetlerini arttırmaktadır. Bu iki maliyetin toplamı toplam maliyeti vermektedir. Ekonomik sipariş miktarı (EOQ) ise toplam maliyetin en düşük olduğu noktadır.



Şekil 3. Ekonomik Sipariş Miktarı (EOQ) (Kaynak: (Chopra & Meindl, 2016))

Ekonomik sipariş miktarı modelinde:

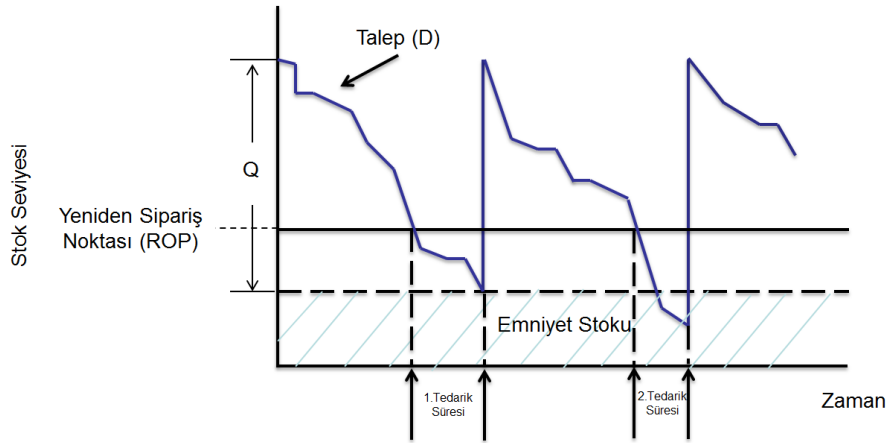
- Talebin (D) sabit olduğu,

- Herhangi bir kısıtlama olmadan tüm talebin stoktan karşılandığı,
- Siparişlerin temin süresinin sabit olduğu kabulleri yapılır.

Şekil 3'te de görüldüğü gibi toplam maliyetin en düşük olduğu nokta bulundurma maliyeti ile sipariş verme maliyetinin eşit olduğu noktadır. Yıllık bulundurma maliyetini yıllık sipariş verme maliyetine eşitleyip parti büyüklüğünü (Q) yü çekersek ve bulundurma maliyetini ($H=hC$) olarak yazarsak ekonomik sipariş miktarı (EOQ) yü buluruz (Chopra & Meindl, 2016).

$$Q = EOQ = \sqrt{\frac{2DS}{hC}}$$

Klasik ekonomik sipariş miktarı modelinde talebin ve tedarik süresinin sabit olduğu varsayımı yapılmıştır. Fakat gerçek hayatta talep ve/veya tedarik süresi değişken olabilir. Bu durum göz önüne alınarak herhangi bir anda stokun sıfır durumuna düşmemesi için bir emniyet stoku belirlenir.



Şekil 4. Emniyet Stoku

Yukarıdaki şekilde hem talep hem de tedarik süresi değişkenlik göstermektedir. Bu durumda;

$$\text{Yeniden Sipariş Noktası (ROP)} = D \cdot L + \text{Emniyet Stoku (SS)}$$

olmaktadır. Ayrıca emniyet stoku belirlenirken istenilen hizmet düzeyi de seçilmelidir. Hizmet düzeyi herhangi bir tedarik süresi aşamasında stokun sıfıra düşme olasılığını göstermektedir. Eğer servis derecesi %95 seçilir ise %95 olasılıkla talep stoktan karşılanacak, %5 olasılıkla stok sıfır ve henüz yeni parti tedarik edilemediğinden talep karşılanamayacaktır.

1.4. Bakım Politikaları

İşletmelerin yedek parça stoku tutmalarının ana sebebi sistemi ayakta tutabilmek için gerekli olan bakımları gerçekleştirerek sistemin asıl fonksiyonunu yerine getirebilmesinin sağlanmasıdır. Bu sebeptendir ki envanter yönetimi bakım politikaları konusu literatürde birlikte ele alınan konulardan ibretanesi olmuştur (Horenbeek, Bure, Cattysse, Pintelon, & Vansteenwegen, 2013).

Literatürde genellikle üç farklı bakım politikası yer almaktadır. Bu politikalardan en basit olanı düzeltici bakımdır. Burada arıza oluşursa bakım gerçekleştirilir ve arıza da bir bileşenin istenen fonksiyonu yerine getirememesi olarak adlandırılır. Parça veya bileşenler kullanıldıkça onların arıza gerçekleştirme olasılıkları % 0'dan % 100'e doğru artış gösterirler. Bu bakım politikasında parça veya bileşenin değiştirilmesi için arızalanması beklenir. Bu yaklaşımın basit olmasının yanında en büyük avantajı parça ve bileşenlerin kullanım ömürleri sonuna kadar değerlendirilmiş olur. Böylece en düşük sayıda parça – bileşen kullanılarak en az bakım

gerçekleştirilir. En büyük dezavantajı ise parça bozulana kadar beklendiği için parçanın elde bulundurulma zorunluluğu olması ile parçanın kullanıldığı ekipmanın ürün tedarik edilerek tamir edilene kadar çalışmıyor olmasıdır. Ayrıca arıza oluşması sırasında oluşabilecek kayıplar da önemli hususlardandır.

Düzeltilici bakımın bu dezavantajlarını engelleyebilmek için periyodik önleyici bakım politikaları geliştirilmiştir. Önleyici bakım politikasında belirlenen belirli bir süre çalışma sonrasında parça veya bileşenin durumuna bakılmaksızın değişiklik gerçekleştirilir. Bakım periyotları bakım maliyetleri, parça maliyetleri ve sistemin çalışmamasından kaynaklanacak maliyetleri minimize edecek şekilde planlanır. Eğer bakım zamanı henüz gelmeden bir hata oluşması durumunda ise artık parça veya bileşen değiştirilir. Bu durumda bakımlar ve parça değişiklikleri önceden planlandığı için ürün tedariki bu planlara olarak gerçekleştirilir dolayısı ile envanter maliyetlerinin çok daha az olması beklenir. Bu yaklaşımın en büyük dezavantajı ise parça veya bileşenlerin tam ömrünü tamamlamadan değiştiriliyor olmasıdır. Bu sebeptendir ki bu politika en fazla ürün kullanımını gerektiren bakım politikadır. İki bakım arasındaki sürenin uzatılması bu etkiyi azaltırken henüz bakım süresi gelmemiş olan parçaların arızalanma oranını artırdığı için bakım süresi bakım maliyetleri, arızalanmadan değiştirilen parça maliyetleri ve arıza durumunda oluşacak maliyetleri minimize edecek şekilde belirlenmelidir. Düzeltilici bakımdan farklı olarak önleyici bakımda değişikliklerin ne zaman gerçekleştirileceği bilindiği için optimum sipariş miktarları da göz önünde bulundurularak tedarik süresi kadar önce siparişler verilebilir.

Üçüncü bir bakım politikası olarak uygulanan durum bazlı bakım politikasında ise bileşenin durumu periyodik olarak incelenerek bileşenin durumuna ve mevcut durumda arıza gerçekleştirme olasılığına göre parçanın değiştirilip değiştirilmeyeceğine karar verilir. Bu durumda bileşenin arıza gerçekleştirme olasılığı belirlenirken bazı sınır değerleri tespit edilir. O sınır değerlerinin ötesinde ise bileşenin değiştirilmesine karar verilir. Sınır değerlerinin düşük belirlenmesi parça kullanım süresini azaltırken arıza gerçekleşme olasılığını ve dolayısıyla arıza maliyetlerini de azaltacaktır. Dolayısıyla belirlenebilecek bir optimum düzeyde sınır değeri mevcuttur. (Poppe, Basten, Boute, & Lambrect, 2017)

2. Çalışmada Kullanılan Yöntem

Bu çalışmada bir havayolu firmasının bakım organizasyonunda kullanılan yedek parça envanteri ele alınmıştır. Havayolu firması bakım organizasyonunda kullanılan yedek parça envanterinin optimize edilmesi ihtiyacından doğan bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada organizasyonun son üç yılına ait verilerden yararlanılmıştır. Çalışma sırasında öncelikli olarak organizasyonun mevcut durumda var olan ortalama stok seviyeleri belirlenmiş, sonrasında ise verilerden yararlanılarak bakım operasyonlarında kullanılan malzemelere ABC ve XYZ sınıflandırması yapılmıştır. Burada temel amaç toplam 1248 adet olan parça ve bileşenlere odaklanmak yerine az sayıda ancak stok maliyetleri içerisinde çok daha fazla yer tutan ve nispeten değişkenliği daha az olan parça ve bileşenlere odaklanmayı sağlamaktır.

Sonrasında ise belirlenen az sayıda parça ve bileşen için farklı bakım politikalarının etkisi incelenerek sonuçları sayısallaştırılacaktır. Sonrasında her bir parça ve bileşen için en optimum bakım politikası belirlenerek bunun hata oluşma olasılığı, toplam parça / bileşen kullanım maliyeti ve hata oluşma olasılığı üzerindeki etkileri sayısallaştırılacaktır. Bu sayısallaştırma sırasında oluşturulacak olan bir simülasyon modeli ile birlikte sistemin incelenmesi gerçekleştirilecektir.

Sonrasında ise belirlenen optimum bakım politikaları ile uyumlu olarak ekonomik sipariş modelleri kullanılarak satınalma ve envanter maliyetleri optimize edilecektir. Burada da yine optimizasyon çalışmaları sırasında belirlenen optimum hizmet düzeylerinden faydalanılacak

ve bakım politikası ile envanter optimizasyonu modellerinin aynı anda kullanılması sağlanacaktır. Özellikle kritik öneme haiz olan bileşenler için öngörücü bakım modellerinden faydalanılarak planlamalarda kullanılması hedeflenmektedir.

Sonuç ve Literatüre Katkısı

Bildiğimiz üzere literatürde öngörücü bakım ile ilgili çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Öngörücü bakım ile birlikte bakıma alınan parça veya bileşenin yenilenmemesi durumunda ne zaman yenileceğini belirlemede kullanılan bir çalışma mevcuttur (Elwany & Gebraeel, 2008). Bunun dışında aynı anda bakım planlaması ile birlikte envanter optimizasyonu gerçekleştiren çalışmalar da oldukça sınırlıdır.

Bu çalışmada da farklı bakım politikaları ile birlikte farklı bileşenler için envanter optimizasyonu gerçekleştirilmeye çalışacaktır. Aynı zamanda aynı bileşenlerde farklı bakım politikalarının da etkilerini gözleme şansı olacaktır. Uygulama bir havayolu firmasının bakım organizasyonunda gerçekleştirilecektir. Halihazırda bakım organizasyonunda kullanılan modellerde bakım planlaması baz alınmamakta parçaların bakım planlamasından bağımsız olarak dönemsel kullanımları dikkate alınmaktadır. Halbuki yedek parça ve bileşenlerin kullanımı bakım çalışmalarına bağlıdır. Bakım çalışmalarının envanter yönetim sistemi ve sipariş yönetimi ile entegre edilmesi bu açıdan büyük önem taşımaktadır. Ayrıca kritik öneme sahip bileşenler için parça kullanım süresini çeşitli parametreler ile tanımlanabildiği durumda bu da firmanın sipariş yönetimi için önemli bir girdi olacaktır. Ayrıca kurulacak olan basit bir simülasyon modeli ile birlikte tüm farklı bakım modellerinin çeşitli performans göstergeleri açısından nasıl sonuçlar doğurduğu da incelenebilecektir.

Kaynaklar

- Chopra, S., & Meindl, P. (2016). *Supply Chain Management Strategy, Planning and Operation*. Essex: Pearson.
- Cohen, M. A., & Ernst, R. M.-i. (1988). Multi-item classification and generic inventory stock control policies. *Production and Inventory Management Journal*.
- Horenbeek, A. V., Bure, J., Cattysse, D., Pintelon, L., & Vansteenwegen, P. (2013). Joint maintenance and inventory optimization systems: A review. *International Journal of Production Economics*, 499 - 508.
- İlhan, İ. (2015). Tedarik Zinciri Yönetiminde Kantitatif Talep Tahmin Yöntemi Seçimi İle Stok Optimizasyonuna Dair Bir Uygulama. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul: Hacettepe Üniversitesi.
- Krajcovic, M., & Plinta, D. (2012, September). Comprehensive Approach to the Inventory Control System Improvement. *Management and Production Engineering Review*, pp. 34-44.
- Noche, B. (2015). Retrieved from Universitat Duisburg Essen: https://www.uni-due.de/imperia/md/content/tul/download/en_ss2015_lm01_le_abc_analysis.pdf
- Poppe, J., Basten, R. J., Boute, R. N., & Lambrect, M. R. (2017). Numerical study of inventory management under various maintenance policies. *Reliability Engineering & System Safety*, 262 - 273.
- Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2010). *The Handbook Of Logistics & Distribution Management*. London: Kogan Page.
- Scholz-Reiter, B., Heger, J., Meinecke, C., & Bergmann, J. (2012). Integration of demand forecasts in ABC-XYZ analysis: practical investigation at an industrial company. *International Journal of Productivity and Performance Management*, pp. 445-451.