

Citation: Bilir, C. & Erbaş, M. A. (2019), Bir Bakım Onarım Organizasyonunda Entegre Stok Yönetimi Ve Bakım Planlaması – Havayolu Firması Uygulaması, BMIJ, (2019), 7(2): 814-836 doi: <http://dx.doi.org/10.15295/bmij.v7i2.1109>

BİR BAKIM ONARIM ORGANİZASYONUNDA ENTEGRE STOK YÖNETİMİ VE BAKIM PLANLAMASI – HAVAYOLU FİRMASI UYGULAMASI[†]

Canser BİLİR^{1*}

Musa Alptekin ERBAŞ²

Received (Submission Date): 15/04/2019

Accepted (Acceptation Date): 13/05/2019

Published Date (Yayın Tarihi): 26/06/2019

ÖZ

Sağlıklı yürüyen bir bakım organizasyonunda parçaların ihtiyaç halinde elde bulundurulma oranının yüksek olması beklenir. Bununla birlikte malzeme stok seviyelerinin de gereksiz maliyetlere sebep olacak seviyede yüksek olmaması gerekir. Tüm malzemeleri yakından takip etmeye çalışmak karmaşıklık ve zorluklara yol açabilir. Bu yüzden önemli ve görece önemsiz kalemler ABC analizi yardımı sınıflandırılarak yönetilmelidir. Bu çalışmada bir havayolu firmasının bakım organizasyonu ele alınmıştır. Firmanın son iki yılına ait verilerden yararlanılarak bakım operasyonunda kullanılan malzemelere ABC ve XYZ sınıflandırması yapılmıştır. A sınıfına giren malzemeler daha detaylı incelenerek sonraki yıllardaki bakım planları ile entegre edilmiştir. Bu şekilde yeniden sipariş miktarları ve dolayısıyla envanter düzeyleri optimize edilmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki, firmanın zaten yıllık olarak planlanan bakım çalışmalarını ve bu çalışmalarda var olan parça değişim oranlarını baz alarak envanter yeniden sipariş miktarlarının belirlenmesi, firmanın acil sipariş verme gereksinimini azaltırken envanter düzeylerinde de ciddi azalmalar sağlayabilmektedir. Yapılan çalışma, bildiğimiz kadarı ile entegre bakım organizasyonu ve stok yönetiminin ABC analizi yardımı ile havayolu firmasına uygulandığı ilk çalışma olma özelliğini de taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Envanter Yönetimi, ABC Analizi, Bakım ve Envanter Yönetimi Entegrasyonu*

JEL Kodları: *M11, L93*

JOINT MAINTENANCE AND INVENTORY OPTIMIZATION: AN APPLICATION IN AN AIRLINE COMPANY

ABSTRACT

For an effectively running maintenance organization, it is essential to retain any spare parts in the event that they are needed. However, it is not economical to keep more inventory than required. Considering those two contrasting requirements, trying to monitor all of stock items closely can lead to complexity and difficulty. Therefore, significant and relatively insignificant items are to be categorized by ABC Analysis. In this study, a maintenance organization of a major airline company is analyzed. ABC and XYZ classifications have been made to the materials and components used in maintenance operations by using annual data of the last two years. Class A materials have been examined in details and integrated with the maintenance plans in order to optimize order quantities and inventory levels. Results showed that joint optimization of order quantities with maintenance plans helps organization concurrently lower inventory levels and decrease the ratio of urgent orders. As being

[†] Bu çalışma İ. Sabahattin Zaim Üniversitesi SBE tarafından 2018 yılında kabul edilen yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

¹ Dr. Öğr. Üyesi, İ. Sabahattin Zaim Üniversitesi, canserbilir@gmail.com * Sorumlu Yazar

<http://orcid.org/0000-0002-3615-5819>

² YL Öğrencisi, İ. Sabahattin Zaim Üniversitesi, musaerbas@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-1366-7248>

the first joint maintenance and inventory management study applied to an airline company with the help of ABC Analysis, this study contributes to the current literature.

Keywords: *Inventory Management, ABC Analysis, Joint Maintenance and Inventory Optimization*

JEL Codes: *M11, L93*

1. GİRİŞ

Bakım veya üretim organizasyonlarında, özellikle orta veya büyük ölçekli ise yönetilmesi gereken binlerce kalem malzeme bulunabilir. İş akışının zamanında sağlanması ve müşteri isteklerinin yerine getirilebilmesi için bu malzemelerin belirli bir kısmının stokta tutulması kaçınılmazdır. Bununla birlikte, stok miktarının gereğinden fazla olması da ek maliyetler getirecektir. Bu yüzden hem müşteri memnuniyetini tehdit edecek aksamalara yol açmayacak bir miktarın elde tutulmasını, hem de maliyetlerin şirketin ekonomik dengelerini bozacak seviyelerde olmamasını sağlayacak bir stok yönetim modeli geliştirilmelidir.

Stok tutma maliyetlerini en aza indirebilmek için işletmeler çeşitli yöntemler kullanmaktadır. Eğer tek tek takip edilemeyecek çoklukta malzeme kalemi var ise bunlar belli ölçütler kullanılarak önemli ve görece önemsiz kalemler olarak kategorize edilmelidir. Böylece her bir gruba yönelik ayrı bir politika ile çalışılabilir ve ekonomik olmayan süreçler azaltılabilir. Malzemelerin sınıflandırılmasında en yaygın olarak kullanılan yöntem olan ABC analizi, Pareto ilkesi bir diğer adı ile 80/20 kuralına dayanmaktadır. ABC analizi, 1950’li yıllarda General Electric şirketinin kullanımı için geliştirilmiştir (Yu, 2010). Bir işletmenin lojistik operasyonlarındaki önemli unsurların belirlenmesinde bu ilke, kullanışlı bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Klasik ABC analizinde malzemeler, parasal değerleri ve kullanım miktarları üzerinden sınıflandırılmaktadır. Yapılacak analizde her bir kalem kümülatif olarak toplandığında tüm malzeme / ürünlerin içindeki ortalama yüzde 20’lik kısmın yine yaklaşık olarak toplam değerinin yüzde 80’lik kısmını kapsadığı görülecektir. En değerli bu yüzde 20’lik kısım “A” grubu, sıralamada bir sonraki yüzde 30’luk fakat toplam değerinin yüzde 15’ini karşılayan kısım “B” grubu, kalan yüzde 50’lik ama yalnızca toplam değerinin yüzde 5’ini karşılayan kısım ise “C” grubu olarak nitelenir (Rushton vd., 2010).

Bakım onarım organizasyonlarının, yedek parça stoku tutmalarının ana sebebi sistemi ayakta tutabilmek için gerekli olan bakımları gerçekleştirerek sistemin fonksiyonunu yerine getirebilmesinin sağlanmasıdır. Bu sebeptendir ki envanter yönetimi ile bakım politikaları konusu literatürde birlikte ele alınan konulardan bir tanesi olmuştur (Horenbeek vd., 2013). Bakım yönetimi literatürde genel olarak üçe ayrılır (Köksal, 2007). Bunlar tamir bakım,

önleyici bakım ve kestirimci bakımdır. Tamir bakım tamamen plansız olabilir (CIBSE, 2008). Buna acil durum bakımı da denir. Acil durum bakımında bir bileşenin iş göremez hale gelmesi beklenir bu duruma gelince bakım gerçekleştirilir. Tamir bakımda bir bileşende ilk bir hata, performans düşüklüğü gibi bir durum gözleendiği anda işlerin durdurulup bakım planlaması yapılmasına ise düzeltici bakım adı verilir. Önleyici bakımda bileşenlerin durumu durum bazlı veya periyodik olarak incelenir, arızalı veya belirlenen sınır değerini aşamayan bileşenler değiştirilir.

Kestirimci bakım politikası ise direk bileşenler üzerine takılmış sensörler ve diğer sistem çıktılarını izleyerek bu bilgilere göre bakım planlaması yapma ve mümkünse bakımı öteleme imkânını sağlayacak düzeltmelerin yapılması anlamına gelir. Her bir bakım politikasının kendine özgü bir bakım planlaması bulunmaktadır. Envanter yönetimi yapılırken uygulanan bakım politikası gözden geçirilmesi ve bu politikaya göre planlama yapılması organizasyonlara envanter yönetimi optimizasyonu açısından önemli fırsatlar sunmaktadır.

Bu çalışmada ile birlikte, bir havayolu firmasının bakım organizasyonu ele alınmış, son iki yılına ait verilerden yararlanılarak bakım operasyonlarında kullanılan malzemelere ABC ve XYZ sınıflandırması yapılmıştır. A sınıfına giren malzemeler daha detaylı incelenerek bu malzemeler için yeniden sipariş noktası ve emniyet stoku hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar sonraki yıllardaki bakım planları ile entegre edilerek yeniden sipariş noktaları ve dolayısıyla envanter düzeyleri optimize edilmiştir. Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki, firmanın zaten yıllık olarak planlanan bakım çalışmalarını ve bu çalışmalarda var olan parça değişim oranlarını baz alarak envanter yeniden sipariş noktalarını belirlemesi, firmanın acil sipariş verme gereksinimini azaltırken envanter düzeylerinde de ciddi azalmalar sağlayabilmektedir.

Çalışmanın bir sonraki bölümünde benzer çalışmaları içeren bir literatür taraması sunulmuştur. Üçüncü bölümde ise uygulama, sonuçları ile birlikte detaylı olarak sunulmuştur. Sonuç bölümünde ise elde edilen sonuçların kısa bir özeti sunulurken, çalışmanın kısıtları ile birlikte daha sonraki araştırmalar için öneriler belirlenmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde, ABC Analizi ve çok kriterli ABC analizi üzerinde yapılmış birçok çalışma mevcuttur. XYZ analizi yapılan çalışma sayısının ise ABC analizine göre oranla daha az olduğu görülmüştür. Ekonomik sipariş miktarı, emniyet stoku konularında ise yine literatürde birçok çalışma mevcuttur. Bakım politikaları ve bakım politikalarının envanter yönetimi ile entegre

edilmesi ile ilgili de farklı yöntemlerin önerildiği çalışmalar bulunmaktadır.

ABC analizi ilk defa bir İtalyan economist olan Pareto tarafından yaklaşık 100 yıl kadar önce geliştirilmiştir. Pareto incelenen grup içerisindeki küçük bir grubun her zaman çok daha fazla etkisi olduğunu keşfetmiştir. Kullanımındaki kolaylık ve birçok envanter yönetim sistemindeki etkisi sayesinde çok yaygın bir kullanım alanına sahip olmuştur (Chen vd., 2008). ABC analizinin malzemelerinin sınıflandırılmasında kullanıldığı ilk çalışmalardan biri, 1965 yılında Schomer tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada malzemeler yıllık kullanım sayıları ve dolar değeri çarpılarak elde edilen tek bir ölçüt üzerinden sınıflandırılmıştır (Schomer, 1965). Bu kriter klasik ABC analizinin temelini oluşturmaktadır.

Cohen ve Ernst, envanter öğelerini niteliklerine göre tanımlayarak belirli kümelere ayırmıştır. ORG yöntemi adını verdikleri bu yöntem ile ilgili operasyonları kendi içlerinde gruplandırılmış, daha sonra istatistiksel analizler ile sınıflandırmalar yapmışlardır (Cohen & Ernst, 1988). Bu analizin zorluğu envantere her bir öğe eklendiğinde istatistiksel analizlerin yeniden yapılıp çözülmesi gerekliliğidir.

Bir ilaç firmasında çalışma yapan Partovi ve Burton, envanter sınıflandırması yaparken hem nitel hem de nicel özellikleri göz önüne alarak çok kriterli bir model oluşturmuştur. Ayrıca bu kriterler üzerinde Analitik Hiyerarşi Sürecini uygulayarak bir dizi simülasyon da gerçekleştirmiştir (Partovi & Burton, 1993).

Tek kritere dayalı sınıflandırma yönteminin kısıtlarını aşmak isteyen birçok araştırmacı ise çok kriterli sınıflandırma içeren çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Flores & Whybark (1986) klasik ABC analizi yöntemine ikinci bir kriter ekleyerek, çok kriterli ABC analizi yöntemini uygulamış ve tedarik süresi, yaygınlık, eskime süresi ve ikame edilebilirlik gibi birden fazla kriterin sınıflandırma amacı ile kullanılmasını önermişlerdir.

Bir diğer çok kriterli ABC analizi üzerinde çalışan Ramanathan, kriter seçiminde öznellik etkisi probleminin çözümü için veri zarflama yöntemine (VZA) benzer bir yöntem olan ağırlıklı doğrusal optimizasyon modeli geliştirmiştir. Bu yöntem, her bir envanter öğesini sınıflandırmak için kullanılan yapay envanter puanını en üst düzeye çıkarır. Sınıflandırılmış kriterlere verilen ağırlıklar, VZA modeli optimize edildiğinde otomatik olarak çözülür (Ramanathan, 2006). Ng ise aynı problem için farklı bir matematiksel formül önermiştir. Bu modele göre ağırlıksız çözümler ile daha kolay bir formülasyon sağlanmıştır (Ng, 2007).

Yukarıdaki çalışmalardan yararlanılarak gerçekleştirilen, birçok gerçek hayat

uygulaması da literatürde mevcuttur. Simunovic ve ark. (2008) bir tarım makinaları firmasında montaj için gerekli parçalar üzerinde benzer bir çalışma gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışmada parçalar üzerinde klasik ABC analizi ve çok kriterli Analitik Hiyerarşi Süreci uygulanmış ve iki sonuç karşılaştırılmıştır (Simunovic vd., 2008).

Bir yatak üretim fabrikasının hammadde deposunda yapılan çalışmada stok kalemleri için birim maliyet, yıllık kullanım oranı ve tedarik süreleri kriter olarak atanmıştır. Bu kriterler veri haline getirilmiş daha sonra bu değerler veri zarflama temelli R değeri ile çözümlenmiş ve ABC sınıflandırması yapılmıştır (Akyol, 2011).

Jumabaeva ise bir raylı sistem yedek parçası firmasında 60 adet parça üzerinde çok kriterli ABC analizi yaparken yapay sinir ağı modeli oluşturmuştur. Geliştirilen yapay sinir ağı modeli 11 adet parça üzerinde test edilmiştir (Jumabaeva, 2011).

Literatürde, malzemelerin sınıflandırılmasında XYZ analizinin kullanıldığı çalışmalar da bulunmaktadır. 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).

Scholz-Reiter ve ark. (2012) bir endüstri şirketinde yaptıkları çalışmada, tahmin modeli kurmak için ABC-XYZ analizi yapmıştır. Yıllık bazda yapılan klasik analiz yüzde 75 oranında doğruluk sağlarken, altı aylık süreleri baz alan geliştirilmiş analiz yüzde 92 oranında doğruluk sağlamıştır (Scholz-Reiter vd., 2012).

Krajcovic ve Plinta (2012), stok kontrolü için kapsamlı bir metodoloji oluşturmaya çalışmıştır. Bu metodolojide süreç haritalandırılmış, XYZ analizi bu süreç haritasında stok kalemlerinin hangi süreç adımlarından geçeceği konusunda belirleyici olarak kullanılmıştır. XY grubu için yeterli doğruluğa sahip tahminleme metodlarının kullanılması önerilirken, Z grubu için daha özel tekniklerinin kullanılması önerilmiştir (Krajcovic & Plinta, 2012).

Bir havacılık şirketinin bakım onarım biriminde yapılan çalışmada, yedek parçalar üzerinde ABC analizi yapmış ve her bir parça için ekonomik sipariş miktarı, yeniden sipariş noktası ve emniyet stok miktarını belirlemeye çalışmıştır. Çalışma yapılan alandaki zorluk

bakımların düzensiz ve herhangi bir takvime bağlı olmayışıdır (Nel, 2010).

Bakım politikalarının ve envanter optimizasyonunun birlikte çalışılmış olduğu çalışmalar da literatürde bulunmaktadır. (Horenbeek vd., 2013) yazdıkları makalede daha önce bu alanda yapılmış çalışmaların bir özet tablosunu ortaya sunmuştur. Bu çalışmada yazarlar bakım planları ile envanter yönetimini birleştiren tüm çalışmaları ortak ve farklı tüm yönleri ile birlikte değerlendirirken bu konuda yapılan çalışmaların sağladıkları faydaları da tespit etmişlerdir (Horenbeek vd., 2013).

Aisyati ve ark. (2013) ise yine bir havacılık şirketinde sarf malzemelerin stok optimizasyonu üzerinde çalışmıştır. Burada farklı olarak ABC analizi, sipariş miktarı ve yeniden sipariş noktasının hesaplanması MATLAB yazılımı yardımı ile sürekli gözden geçirme modeli kullanılarak yapılmıştır (Aisyati vd., 2013).

Bir otomobil fabrikasında Ilgın'ın yapmış olduğu çalışmada ise bakım planlaması ile envanter yönetiminin entegre edilmesine yönelik bir yaklaşım geliştirilmiştir. Hibrid genetik algoritması ile yedek parçaların yeniden sipariş noktaları ve maksimum stok seviyeleri hesaplanmış ve sonuçlar fabrikanın o andaki envanter seviyesi ile karşılaştırılmıştır (Ilgın, 2006).

Havacılık alanında ise bakım politikalarının envanter yönetimi ile entegre edilmesi büyük önem kazanmaktadır. Kullanılan yedek parçaların pahalı olması stokta fazla miktarlarda tutulmasının önündeki en büyük engeldir. Altuntaş ve ark. havacılık sektöründe bakım politikalarının iyileştirilmesini araştırmak amacıyla, savunma sanayinde kullanılan uçakların bakımının yapıldığı bir organizasyonda çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmada bakımların daha hızlı ve daha az maliyetli yapılabilmesi için Yaratıcı Problem Çözme Teorisi (TRIZ) aracından faydalanılmıştır. Yapılan uygulamalarda gözlenen problemler, TRIZ yöntemi ile analiz edilmiş ve yenilikçi çözümler ortaya çıkarılmıştır (Altuntaş vd., 2017).

Bu çalışma ile de hedeflenen, bakım planlaması ile envanter yönetimi entegre edilerek dinamik bir envanter yönetim modeli ortaya çıkarmaktır. Sık kullanılan parçaların emniyet stoklarını yeterli derecede tutup bakım planını aksatmamasını sağlamak diğer yandan artık kullanılma sıklığı düşen veya kullanılmayacak olan parçaların tespit edilip bunlara ayrılacak stok maliyetlerinden kaçınmak hedeflenmektedir. Yine çalışma ile birlikte envanter kararlarının bakım planlaması ile entegre edilmesi veya edilmemesinin envanter yönetimi performansı açısından farkının ortaya konulması hedeflenmiştir. Literatürde havacılık alanında

faaliyet gösteren bakım onarım organizasyonlarında geçmiş istatistiklerden yararlanılarak yapılmış olan çalışmalar mevcuttur, fakat bu verilerin bakım planlaması ile entegre edilmesine yönelik bir çalışma tespit edilememiştir. Bu özelliği ile de bu çalışma literatüre katkı yapmayı hedeflemiştir.

3. UYGULAMA

Bu çalışmada bir havayolu bakım ve onarım organizasyonu bünyesinde, bir komponentin bakım organizasyonu ve onun envanter yönetim yapısı ele alınmıştır. Çalışma yapılan birimin envanteri şirketin toplam envanteri içinde %8-9 oranında büyüklüğe sahiptir.

Uluslararası geçerliliği olan bir seri numarasına sahip, tamir edilebilir veya değiştirilebilir uçak parçalarına komponent adı verilmektedir. Uçak motoru, kokpit camı, kara kutu, hatta oyun konsolları bile bir komponent olarak kabul edilir. Belli bir uçuş süresi veya çevrimini doldurmuş bir komponentin tüm alt parçalarına kadar sökülmesi, her bir alt parçanın tamir edilerek veya değiştirilerek tekrar birleştirilmesi ve uçağa geri takılmaya hazır hale getirilmesine overhaul (sürekli büyük bakım) adı verilir. Tüm bu operasyonların etkinliği, bakımı yapılacak olan komponentin envanterinin gerekli zaman ve yerde hazır bulunmasına bağlıdır.

Bu çalışmanın temel amacı, çalışma yapılan birimde envanter yönetimi ile bakım planlamasını entegre ederek envanter düzeyini, malzeme bulunabilirliğini yani hizmet düzeyini azaltmadan düşürmektir. Bu amaçla öncelikle mevcut bakım politikası ve envanter yönetimi incelenmiş, daha sonra son iki yıla ait parça kullanım verileri analiz edilmiştir. Fakat kullanılan parça sayısının çok olması nedeni ile her parça için çalışmak karmaşıklığı arttıracığından, ABC analizi yapılarak, görece en önemli malzemeler tespit edilmiştir. ABC analizi gerçekleştirilirken klasik ABC analizi yöntemi kullanılmış, malzemeler parasal değerleri ve kullanım miktarları üzerinden sınıflandırılmıştır. Kullanılan her bir kalem kümülatif olarak toplandığında toplam değer yüzde 80'lik kısmını kapsayan az sayıda ürün buna uygun olarak "A" grubu olarak sınıflandırılmıştır (Rushton vd., 2010).

Çalışmanın daha sonraki aşamalarında "A" grubu parçalar üzerinde çalışılmıştır. Çalışma yapılan birimde bakımı yapılan komponentin altı farklı alt modeli bulunmaktadır. "A" grubu olan parçaların hangi alt modele ait olduğu tespit edilmiştir. Son iki yılda hangi farklı alt modelden kaç adet ve hangi tarihlerde bakıma girdiği belirlenmiş, bu bilgiden yararlanılarak "A" grubundaki parçaların çeyrek bazda bakım sırasında değişim oranları dağılımları tespit edilmiştir. Değişim oranlarının çeyreklik bazda alınmasının nedeni bakımların sürelerinin uzun

olması bu nedenle aylık istatistiklerde sapmaların yüksek olmasıdır.

Bir sonraki aşamada ise değişim oranları verilerinden yararlanılarak XYZ gruplandırması yapılmıştır. XYZ analizinde, ürün kullanımlarındaki değişkenlikler temel alınır. “X” sınıfı yıllık süreçte görece sabit bir seyir izleyen fazla değişkenlik göstermeyen grubu nitelendirmektedir. Bu gruptaki malzemelerin planlaması ve tahmin süreçleri daha kolaydır. “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 gruplandırmasında, çoğunlukla yıllık ürün kullanımındaki standart sapma, ortalama ürün kullanımına oranlanarak bir değişim katsayısı hesaplanır. Kaynaklarda sınıflandırma sınırları konusunda net bir çizgi konmamakla birlikte 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 vd., 2012). Bu çalışmada da bu yöntem takip edilmiştir. Burada belirlenen ‘X’, ‘Y’ ve ‘Z’ sınıflandırmaları, sipariş miktarı hesaplamalarında dikkate alınmamış, sadece taleplerin değişkenliğinin sonuçlar üzerindeki etkisini kontrol etmek amacıyla kullanılmıştır.

Çalışılan atölyede bakım planlamaları en az bir yıl önceden belirli durumdadır. Bu plandan faydalanılarak 2018 yılında hangi alt model komponentten kaç adet bakıma gireceği tespit edilmiştir. Her bir parça için önceki iki yıla ait verilerden yararlanılarak elde edilmiş değişim oranı 2018 yılı planına uygulanmış ve her bir parça için sapmalar dışındaki 2018 yılı kullanım miktarı belirlenmiştir. Bu miktarlardan ve çeyreklik bazdaki değişim oranlarından faydalanılarak her bir malzeme için emniyet stokları ve yeniden sipariş noktaları (ROP) hesaplanmıştır. Daha sonra şirketin mevcut sipariş planlama yöntemine uygun olarak toplam miktar 4’e bölünerek her bir çeyrek için sipariş miktarları hesaplanmıştır.

Çalışmanın son bölümünde ise çalışılan birimde mevcutta her bir parça için sistemselsel olarak tanımlı yeniden sipariş noktaları ile analiz sonucu ortaya çıkan yeniden sipariş noktalarının karşılaştırılması yapılmıştır. Böylece fark maliyetleri hesaplanarak, envanter düzeylerinde elde edilebilecek azalmanın boyutu ölçülmüştür. Bu çalışmada hizmet düzeyinin %99 olması hedeflenmiş ve hesaplamalar buna göre gerçekleştirilmiştir. Ancak mevcut durumda hizmet düzeyi istatistikleri ve acil sipariş maliyeti kayıtları bulunmadığı için bu konularda bir karşılaştırma yapma şansı olmamıştır. Aşağıdaki başlıklarda her bir işlem adımı detaylı olarak açıklanmış ve sonuçlar tablolar yardımı ile gösterilmiştir.

3.1. Mevcut Bakım Politikası Ve Envanter Yönetimi Yaklaşımı - Problem Tanımı

Çalışma yapılan organizasyonda uluslararası havacılık kurallarından dolayı periyodik önleyici bakım yapılmaktadır. Bu kurallara göre uçağa takılmış olan komponentler, onlar için belirlenmiş uçuş sayısı ve süreler dolmadan uçaktan sökülerek bakıma alınması zorunludur. Verilen uçuş sayıları ve süreler bağlayıcı olduğundan bakım politikalarında değişiklik de yapılamamaktadır. Komponentler bakıma alındığında tüm alt parçalarına kadar sökülür, korozyon, hasar gibi nedenler dolayısı ile bu parçalardan tekrar kullanılamayacak olanlar değiştirilir. Tekrar kullanılabilir olan parçaların ise tamiri yapılarak yeniden komponentin montajında kullanılır ve komponent faal edilerek tekrar uçağa takılmak üzere hazır hale getirilir. Bakımı yapılacak komponentlerin atölyeye giriş ve çıkış tarihleri ise en az bir yıl öncesinden planlanmıştır. Bu nedenle, bir yıl sonraki malzemelerin parça değişim oranları dikkate alınarak planlanması olanağı mevcuttur.

Mevcut durumda atölye tecrübelerine ve geçmiş yıl malzeme kullanım istatistiklerine dayanılarak malzeme planlaması yapılmış ve yeniden sipariş noktaları ile sipariş miktarları her bir malzeme için belirlenmiştir. Ancak yeniden sipariş noktaları ve sipariş miktarları belirlenirken bakım planlamalarından faydalanılmamış, malzeme ihtiyaçlarının bakım planlamalarından bağımsız olarak, belirli bir dönem içerisinde istatistiksel olarak belirlenen ortalama ve standart sapma değerleri kullanılarak tespit edilmiştir.

Bir parçanın miktarı üçer aylık sipariş zamanlarında değerlendirilmekte ve eğer stok miktarı yeniden sipariş noktası sayısına düşmüşse satın alma talebi daha önce belirlenen sipariş miktarı kadar satın alma birimine iletilmektedir. Burada dönemsel gözden geçirme politikası uygulanmakla birlikte, dönemsel gözden geçirme politikasında olduğu gibi temin süresi ve bir sonraki sipariş zamanı göz önünde bulundurularak hesaplanan stok üst seviyesi düzeyine göre sipariş verilmemektedir. Genellikle, atölye, bakımların aksamaması için yeniden sipariş noktasında gereğin üzerinde bir talepte bulunma eğilimindedir. Bu durum önemli bir dezavantaj oluşturmakta ve envanter düzeylerinin kontrolsüz artmasına sebep olmaktadır.

Diğer bir önemli dezavantaj ise, sadece geçmiş istatistiklerden yararlanılmasıdır. Her yıl atölyeye bakım için gelen komponent sayısı artmaktadır. Ayrıca tek bir model değil altı farklı model komponent gelmektedir. Farklı model komponentler için farklı parçalara ihtiyaç duyulabilir. Bakım için gelen modellerin sayılarının değişmesi de mevcut durumda bakım planları göz önünde bulundurulmadığı için değerlendirilememektedir.

Çalışmanın gerçekleştirildiği bakım organizasyonunda yeniden sipariş noktaları ve sipariş miktarlarının değişen kullanım oranları sebebi ile yeniden hesaplanması ihtiyacı vardır. Bu oranlar yeniden hesaplanarak, periyodik gözden geçirme politikasına sadık kalınarak siparişlerin iletilmesinin envanter düzeylerinde göreceli bir iyileştirme sağlayacağı aşikardır. Ancak bununla birlikte envanter optimizasyonu için firmanın önünde önemli bir fırsat vardır. Bu fırsat, bakım planları ile envanter yönetiminin entegre edilmesidir. Literatür kısmında sunulduğu üzere firmalar, bakım planları ile envanter yönetimlerini birleştirerek çok ciddi envanter tasarruflar sağlayabilmektedirler. Firmada ise, tüm envanter kullanımları bakım sırasında oluşmasına rağmen, sanki bakım planlarından bağımsız ürün / parça kullanımı gerçekleşiyormuş gibi talep tahminlemesi ve buna bağlı olarak satınalma kararları verilmektedir. Bu çalışma ile birlikte, geçmiş yıllar parça değişim oran istatistikleri ile önümüzdeki yılın bakım planlamalarından faydalanılarak, envanter gereksinimleri optimize edilmeye çalışılmıştır.

3.2. ABC Analizi

Yapılan ABC çalışmasında son 2 yıla ait veriler incelenmiş ve toplam 1235 adet parça üzerinde analiz yapılmıştır. Parçaların kullanım miktarları ve birim fiyatları üzerinden toplam stok içerisinde ne kadarlık bir değere sahip oldukları hesaplanmıştır. Analiz sonucu toplam 1235 parça içerisinde 129 (yaklaşık %10) adet parça, toplam değer yüzde 80'ini kapsamış ve "A" grubu olarak sınıflandırılmıştır. Sadece bu ürünlerde yapılacak %10'luk bir iyileştirme, çalışma yapılan atölyenin stok seviyelerinde %8'lik bir iyileştirmeye karşılık geldiği için oldukça önemlidir.

"B" grubu parçalar (280 adet) toplam parça sayısının %23'sini, "C" grubu parçalar ise (826 adet) toplam parça sayısının %67'sini kapsamaktadır.

Tablo 1.'de en yüksek toplam değere sahip ilk on parça gösterilmiştir. Tabloda sırasıyla parçaların parça numaraları, yıllara göre kullanım sayıları, toplam kullanım sayıları, parçaların birim maliyetleri, parçaların toplam maliyetleri ve bu maliyetlerin toplam değer içerisindeki yüzdeleri bulunmaktadır. Bu yüzdeler birikimli olarak toplanmış ve buna göre parçalar son sütunda ABC olarak sınıflandırılmıştır.

Tablo 1'de görüleceği üzere AD1 parçası, 1235 adet parça içerisinde bu iki yılda değer olarak en fazla değeri kapsayan parçadır. Bu parça 2016 yılında 34 adet, 2017 yılında 46 adet, olmak üzere toplam 80 adet kullanılmıştır. Parçanın birim maliyeti \$13,815.6 olup, bu birim

maliyet toplam kullanım adedi ile çarpıldığında, parçanın toplam maliyeti \$1,105,248 olmuştur. Bu maliyet tüm parçaların toplam maliyetinin %8.89'unu oluşturmaktadır. Tabloda yer alan ilk üç parçanın birikimli yüzdesi %23.14 olmuştur. Bunun anlamı 2016 ve 2017 yılında sadece bu üç parça için harcanan toplam tutar, toplam harcanan toplam tutarın yaklaşık dörtte biridir.

Tablo 1. ABC Analizi

No	PN	2016 (Adet)	2017 (Adet)	Toplam (Adet)	Birim Maliyet (\$)	Toplam Maliyet (\$)	Yüzde (%)	Birikimli Yüzde (%)	Sınıf
1	AD1	34	46	80	13,815.60	1,105,248	8.89	8.89	A
2	AD2	34	46	80	12,920.90	1,033,672	8.32	17.21	A
3	AC1	17	24	41	17,979.90	737,176	5.93	23.14	A
4	AC2	17	24	41	15,130.22	620,339	4.99	28.13	A
5	AB1	72	54	126	3,430.50	432,243	3.48	31.61	A
6	AD3	5	9	14	16,462.80	230,479	1.85	33.46	A
7	AB2	84	58	142	1,510.60	214,505	1.73	35.19	A
8	AB3	96	66	162	1,243.20	201,398	1.62	36.81	A
9	AB25	10	33	43	4,545.92	195,474	1.57	38.38	A
10	AA1	9	14	23	6,304.30	144,998	1.17	39.55	A
.
.
129	AD23	29	36	65	241.2	15,678	0.13	79.89	A
130	BB1	24	9	33	474	15,642	0.13	80.02	B
.
.
309	BB280	62	7	69	45	3,105	0.02	94.78	B
310	CC1	10	10	20	155	3,100	0.02	94.81	C

3.3. Parça Bazında Değişim Oranları

ABC analizinde “A” grubu olarak belirlenen 129 adet parçanın bakım esnasında değişim oranı ve değişim oranı değişkenliği, son iki yılda bakımı yapılan komponentler incelenerek belirlenmiştir. Çalışma yapılan atölyede altı farklı alt modelin bakımı yapılmaktadır. “A” grubu altındaki 129 adet parçanın hangi alt modele ait olduğu ve ilgili modelde komponent başına kaç adet kullanılması gerektiği tespit edilmiştir. Bu altı farklı alt modelin son iki yılda kaç tane ve hangi tarihlerde bakıma girdiği geçmişe yönelik araştırma ile belirlenmiştir. Parça başı toplam kullanım miktarları ile bu verilerden yararlanılarak her bir parça için ortalama değişim oranları bulunmuştur. Değişim oranı ortalamaları ile standart sapmalarının istatistiksel olarak

hesaplanması, ileriye yönelik tahminleme yapılması konusunda önemli bir veri sağlamaktadır.

Değişim oranı hesaplanırken çeyrek yıl bazında oranlar kullanılmıştır. Çeyrek yılın baz olarak kullanılmasının nedeni komponentlerin bakım sürelerinin 45 gün ile 90 gün arasında değişmesidir. Eğer aylık bazda değişim oranları hesaplanacak olursa aylar arası sapmalar çok yüksek olacaktır. Tablo 2.'de ABC analizinde en yüksek değeri kapsayan ilk yedi parçanın 2016 - 2017 yılları içerisindeki değişim oranları hesaplanması bulunmaktadır.

Tabloda birinci sütunda parça numarası, ikinci sütunda ise ilgili parçanın o komponentte alt model başına kaç adet kullanıldığı bilgisi vardır. Üçüncü sütunda ise ilgili çeyrekte parçadan kaç adet kullanıldığı bilgisi yer almaktadır. Bir sonraki sütunda ise, ilgili çeyrekte parçanın kullanılacağı ilgili modelden kaç tane bakıma gelmiş olduğu yazılmıştır. Beşinci sütunda komponent başı adet ile, çeyrek toplam komponent sütunu çarpılarak, tüm parçaların yenilenmesi durumunda kaç adet parçanın kullanılmış olacağı hesaplanmıştır. Böylece toplam kullanım, toplam adet sayısına bölünerek her çeyrek için ayrı ayrı değişim oranları hesaplanmıştır. Tabloda, 2016 yılı 3. çeyreği ile 4. çeyreği ve 2017 yılının 1. ve 2. çeyrekleri alan tasarrufu sebebi ile yer almamaktadır. Ancak genel değişim oranı ortalaması ve sapması hesaplamasında bu bilgiler de dikkate alınmıştır.

Tablo 2'de dikkat edilirse bazı parçalarda değişim oranı %100'dür. Bu, ilgili parçaların her bakımda atılıp yenisinin kullanıldığı anlamına gelmektedir. Diğer parçalarda ise parçanın durumuna göre tamir edilip veya sadece bakımı yapıp yeniden kullanılma olasılığı bulunmaktadır.

Tablo 2. Parça Bazında Değişim Oranları

P/N	2016 1. Çeyrek					2016 2. Çeyrek				2017 3. Çeyrek				2017 4. Çeyrek			
	Kmp B.Ad	Kull-anm	Bk. Ad	Topl Bkm Adt	Değş. Or.	Kull-anm	Bk. Ad	Topl Bkm Adt	Değş. Or.	Kull-anm	Bk. Ad	Topl Bkm Adt	Değş. Or.	Kull-anm	Bk. Ad	Topl Bkm Adt	Değş. Or.
AD1	1	6	6	6	100%	12	12	12	100%	8	8	8	100%	14	14	14	100%
AD2	1	6	6	6	100%	12	12	12	100%	8	8	8	100%	14	14	14	100%
AC1	1	3	3	3	100%	5	5	5	100%	4	4	4	100%	8	8	8	100%
AC2	1	3	3	3	100%	5	5	5	100%	4	4	4	100%	8	8	8	100%
AB1	2	14	16	32	44%	18	12	24	75%	18	10	20	90%	8	7	14	57%
AD3	1	1	6	6	17%	2	12	12	17%	3	8	8	38%	3	14	14	21%
AB2	2	27	16	32	84%	17	12	24	71%	17	10	20	85%	11	7	14	79%
AB3	2	32	16	32	100%	24	12	24	100%	20	10	20	100%	14	7	14	100%

3.4. XYZ Analizi

ABC analizinde “A” grubu olarak belirlenen 129 parça üzerinde XYZ analizi de yapılmıştır. Bu analizde daha önceki aşamada hesaplanan 3 aylık periyotlardaki parça değişim oranları ve değişim oranları standart sapmalarından faydalanılmıştır. Standart sapmanın değişim oranına bölünmesi ile bir varyasyon hesaplamıştır. Varyasyonu 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.

Bu sınıflandırmaya göre 93 parça “X” grubu, 27 parça “Y” grubu ve 9 parça “Z” grubu olarak sınıflandırılmıştır. “X” grubu parçaların yüksek oranda olması bu parçalarda varyasyonun düşük olması dolayısı ile önceden planlama yapılabileceğini göstermektedir.

Tablo 3.’te ABC analizinde en yüksek değeri kapsayan ilk yedi parçanın XYZ analizi bulunmaktadır. Tabloda sırasıyla parçaların parça numaraları, parçaların son iki yıla ait çeyreklere göre değişim oranı, son iki yıla ait toplam değişim oranı, değişim oranlarının standart sapması, varyasyon ve XYZ gruplandırması bulunmaktadır.

Tablo 3. XYZ Analizi

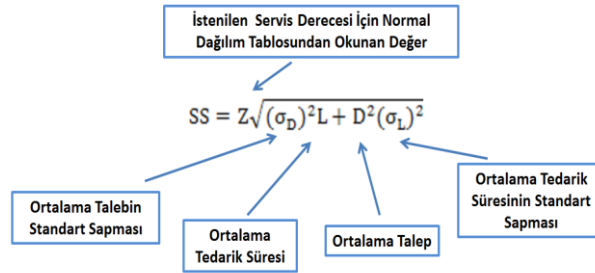
P/N	Değişim Oranları								Standart Sapma	Varyans	XYZ
	2016-1Ç	2016-2Ç	2016-3Ç	2016-4Ç	2017-1Ç	2017-2Ç	2017-3Ç	2017-4Ç			
AD1	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	X
AD2	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	X
AC1	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	X
AC2	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	X
AB1	44%	75%	100%	100%	80%	100%	90%	57%	21%	27%	X
AD3	17%	17%	33%	0%	17%	8%	38%	21%	12%	70%	Y
AB2	84%	71%	100%	100%	100%	83%	85%	79%	11%	13%	X

Tablo 3’te AD1 parçasının tüm çeyreklerdeki değişim oranı, dolayısı ile toplam değişim oranı %0’dır. Bu durumda standart sapma ve varyasyon %0 olmaktadır. Varyasyon değeri 0.5’in altında olduğu için parça “X” grubu olarak sınıflandırılmıştır. AD3 parçasının ise değişim oranları değişkenlik göstermektedir. Parçanın 2016 1. Çeyrek değişim oranı %17 iken, 2017 2. Çeyrek değişim oranı %8’dir. Bu durumda standart sapma %12 olarak hesaplanmıştır. Standart sapmanın, toplam değişim oranına bölümünden ise varyasyon %70 olarak hesaplanmıştır. Bu değer 0.5 ile 1 arasında olduğu için parça “Y” grubu olarak

sınıflandırılmıştır. Bu analizin %100 değişen parçalar dışındaki parçalarda daha sağlıklı sonuçlar vermesi için daha çok veri üzerinde çalışma yapılmalıdır. Daha önceki verilerle ulaşamadığı için yalnızca bir önceki iki yıl, yani sekiz çeyrek üzerinde çalışma yapılabilmektedir. Parçalar için gerçekleştirilen XYZ sınıflandırmaları, sipariş miktarları belirlenirken kullanılmamış, sadece parça değişim değişkenliğinin yorumlanması için kullanılmıştır.

3.5. Emniyet Stok Miktarı Ve Yeniden Sipariş Noktasının Hesaplanması

Emniyet stok miktarı hesaplanırken aşağıdaki Şekil 1’de gösterilen değişkenlerin belirlenmesi ve formülün kullanılması gerekir. Burada ortalama talep hesaplanır iken 2018 yılı bakım planından faydalanılmıştır. Bu planda sarkmalar büyük maliyetlere yol açacağından yapılmamakta, plana sadık kalınmaktadır. Ayrıca plan yapılır iken iş yükleri yıl içinde eşit dağıtılmıştır. Bu nedenle yıllık parça ihtiyaçları 4’e bölünerek ve belirlenen değişim oranları da kullanılarak her çeyrekte emniyet stoksuz parça ihtiyacı ortalaması da belirlenebilir durumdadır. Ortalama talebin standart sapması değeri, XYZ analizinde hesaplanmış olan değişim oranlarının standart sapmasıdır.



Şekil 1. Emniyet Stoku Hesaplanması

Daha önce belirtildiği gibi bazı parçalarda değişim oranları %100 dür. Bu parçalar için bir değişkenlik hesaplamaya gerek yoktur. Bakıma girecek bileşenden dolayı tamamı değişeceği gerçeği göz önünde bulundurularak planlama yapılması yeterli olacaktır. Diğer parçalar için ise ortalama ürün kullanım miktarının kullanılması yeterli değildir. Çünkü bir komponentin bakımının ürün / parça bulunamaması sebebiyle sarkması o komponentin takılacağı uçağın da çıkışını etkileyeceğinden böyle bir sarkma büyük maliyet ortaya çıkaracaktır. Bu sebeple de yüzde 99 gibi yüksek hizmet düzeyi kullanılarak emniyet stokları hesaplanmıştır.

Tedarik sürelerindeki sapmalar ihmal edilebilir düzeydedir. Dolayısıyla şekil 1’de yer alan formülde ‘ σ_L ’ değeri, ‘0’ olarak kabul edilmektedir. Bu yüzden emniyet stoku belirlenir

iken yalnız parça değişim oranlarındaki sapmalar σ_D olarak hesaba katılacaktır. Ayrıca tedarik süreleri 3 aylık dönem baz alınarak yazılmıştır. Yani tedarik süresi 45 gün olan bir parçanın tedarik süresi 0.5 olarak hesaba katılmıştır.

Bununla birlikte bu çalışmada standart sapmanın kaç katı emniyet stoğu bulundurulması gerektiğini belirleyecek katsayısının belirlenmesinde z-tablosu kullanılmaz. Çünkü elimizde 8 adet veri bulunmaktadır. Burada t dağılım tablosuna başvurmamız gerekir. Yine yüzde 99 hizmet düzeyi, tek yönlü hipotez, ve $8-1=7$ serbestlik derecesi için tablodan okunan değer 2.998'dir. Bu değer formülde z-tablosu değeri yerine kullanılacaktır. Eğer elimizdeki verilerin artması durumunda t dağılım tablosu z-dağılım tablosuna yaklaşacak ve z-tablosundaki değer olan 2.58 değeri kullanılabilir.

Yukarıda verilen bilgiler ile her bir parça için emniyet stok miktarı ve Denklem (1) ile de yeniden sipariş noktaları hesaplanmıştır.

$$\text{Yeniden Sipariş Noktası(ROP)} = D*L + \text{Emniyet Stoku(SS)} \quad (1)$$

Tablo 4.'te gösterildiği gibi öncelikle %100 değişen beş adet parça için yeniden sipariş noktaları hesaplanmıştır. Bu parçalarda hem tedarik süresindeki standart sapma ihmal edildiğinden hem de değişkenlik oranında sapma olmadığından emniyet stoku hesaplanmamıştır. Tablonun son sütununda, çeyreklik ortalama kullanım ile tedarik sipariş noktaları birbiri ile çarpılmış ve yeniden sipariş noktaları her bir parça için hesaplanmıştır. Yeniden sipariş noktaları ayrıca bir yukarı tamsayıya yuvarlanmıştır.

Tablo 4. % 100 Değişen Parçalar İçin Yeniden Sipariş Noktaları

P/N	Komponent Başı Adet	2018 Komponent	Değişim Oranı	2018 Kullanım	2018 Çeyreklik Ortalama Kullanım	Tedarik Süresi (3 AY)	Yeniden Sipariş Noktası
AA6	3	35	100%	105	26.25	0.667	18
AA8	4	35	100%	140	35	0.667	24
AA10	1	35	100%	35	8.75	0.333	3
AA11	1	35	100%	35	8.75	0.333	3
AB3	2	60	100%	120	30	0.667	20

Tablo 4'te görüldüğü gibi AA6 parçasından, kullanıldığı komponent alt modelinde üç adet bulunmaktadır. 2018 yılında bu alt modelden atölyeye 35 adet bakıma gelecektir. Değişim oranı bu parçalar için %100'dür. Bu üç sayı çarpıldığında bu parçadan 2018 yılında 105 adet kullanılacağı hesaplanmıştır. Bu parça için tedarik süresi iki ay olup üç ay bazlı yazıldığında

0.667 değeri ortaya çıkmaktadır. Bu parçadan 2018 yılında 105 adet kullanılacağı belirtilmiştir. Bu değer dörde bölüldüğünde çeyrek başına ortalama kullanım 26.25 olmuştur. Tekrar hatırlatmak gerekirse bakımlar yıl içinde eşit dağılıma sahiptir ve bu bakım planında sarkmalara izin verilmemektedir. Çeyrek başına ortalama kullanım ile tedarik süresi çarpıldığında AA6 parçası için Yeniden Sipariş Noktası (ROP) bir üst tamsayıya yuvarlanarak 18 hesaplanmıştır. Bunun anlamı AA6 parçasının depodaki miktarı 18'e düştüğü an yeni sipariş oluşturulacaktır.

Diğer parçalar yani değişim oranı %100 olmayan parçalar için t-tablosu değeri ve (Denklem 2) yardımı ile emniyet stok miktarları hesaplanmıştır.

$$SS = t \cdot \sigma_D \cdot \sqrt{L} \quad (2)$$

Tablo 5'te, beş adet parça için hesaplanan emniyet stok miktarları ve yeniden sipariş noktaları bulunmaktadır.

Tablo 5. Diğer Parçalar İçin Emniyet Stoku ve Yeniden Sipariş Noktaları

PN	Kmp. Bş. Ad.	2018 Kmp. Sayısı	Değ. Orn.	2018 Kullnm	2018 Çyrc Ort. Kull.	Ort. Kll. Std. Sp.	Tedarik Sür. (3 ay)	t- degeri	Emniyet Stoku	Yendn Sip. Nkt.
AA1	1	43	53%	23.0	5.75	6%	0.667	2.998	0.1591	4
AA2	1	43	91%	39.0	9.75	15%	0.667	2.998	0.3780	7
AA3	1	43	33%	14.0	3.50	22%	0.667	2.998	0.5479	3
AA4	1	43	95%	41.0	10.25	14%	0.667	2.998	0.3462	8
AA5	1	43	98%	42.0	10.50	9%	0.333	2.998	0.1530	4

Örnek olarak, Tablo 5.'te AA1 parçasından, kullanıldığı komponent alt modelinde 1 adet bulunmaktadır. 2018 yılında bu alt modelden atölyeye 43 adet bakıma gelecektir. Değişim oranı bu parça için geçmiş iki yıllık verilerden yararlanılarak %53 olarak bulunmuştur. Bu üç sayı çarpıldığında bu parçadan 2018 yılında ortalama olarak 23 adet kullanılacağı hesaplanmıştır. Çeyrek başına ortalama kullanım 5.75'tir. Bu parça için tedarik süresi iki ay olup üç ay bazlı yazıldığında 0.667 değeri ortaya çıkmaktadır. Emniyet stok miktarı (Denklem 2) yardımı ile 0.1591 olarak hesaplanmıştır. Çeyrek başına ortalama kullanım ile tedarik süresi çarpılıp çıkan rakama emniyet stoku eklenmiş ve çıkan rakam bir üst tamsayıya yuvarlanarak AA1 parçası için Yeniden Sipariş Noktası (ROP) 4 olarak hesaplanmıştır.

3.6. 2018 Yılı Parça İhtiyacının Ve Sipariş Miktarlarının Belirlenmesi

Daha önceki aşamalarda, her bir parçadan 2018 yılında bakım planlaması temel alınırsa ortalama olarak ne kadar kullanılacağı hesaplanmış ve emniyet stokları yardımı ile de yeniden sipariş noktaları belirlenmişti. Bu aşamada artık, her bir seferde sipariş edilecek miktarın

(sipariş büyüklüğü) belirlenmesi gereklidir. Ekonomik sipariş miktarı modelinde en düşük maliyetli sipariş noktası klasik olarak, malzemelerin bulundurma maliyeti ile sipariş maliyetlerinin eşit olduğu nokta yani toplam maliyetin en az olduğu nokta olarak kabul edilir. Fakat firma için sipariş maliyetleri, bulundurma maliyetlerine göre oldukça düşüktür. Çünkü parçaların tedarik edildiği firmaların sayısı çok fazla değildir ve bu bölgelere sürekli kargo operasyonu firmanın kendisi tarafından yapılmaktadır. Eğer ekonomik sipariş miktarı modeli uygulanır ise düşük miktarlarda sipariş yapılması gerekecek ve bu durum da yapılan sipariş sayısını arttırarak, iş takibini zorlaştıracaktır. Bu ve benzeri nedenler ile firma her ürün için yılda dört defa sipariş vermektedir. Bu sebeple, 2018 ihtiyacı dört parça olarak sipariş edileceği düşünülerek her bir parça için sipariş miktarları belirlenmiştir. Bu miktarlar belirlenir iken 2018 çeyreklik ortalama kullanım sayısında çıkan sonuç bir yukarı tamsayıya yuvarlanmıştır. Tablo 6.'da, ABC analizinde en yüksek değeri kapsayan ilk yedi parçanın 2018 ihtiyaç ve sipariş miktarları yer almaktadır.

Tablo 6. 2018 Yılı Parçalara Göre İhtiyaç Miktarı

PN	Komponent Başı Adet	2018 Komponent	Değişim Oranı	2018 Kullanım	2018 Çeyreklik Ort. Kullanım	Sipariş Miktarı	Emniyet Stoku	2018 İhtiyaç
AD1	1	80	100%	80.0	20.00	20	0.0000	80
AD2	1	80	100%	80.0	20.00	20	0.0000	80
AC1	1	41	100%	41.0	10.25	11	0.0000	41
AC2	1	41	100%	41.0	10.25	11	0.0000	41
AB1	2	81	78%	63.0	15.75	16	0.5199	64
AD3	1	80	18%	14.0	3.50	4	0.2114	15
AB2	2	81	88%	71.0	17.75	18	0.2712	72

Örnek olarak incelemek gerekirse, Tablo 6'da görüldüğü gibi AD1 parçasından, kullanıldığı komponent alt modelinde 1 adet bulunmaktadır. 2018 yılında bu alt modelden atölyeye 80 adet, her 3 ayda bir de 20 adet bakıma gelecektir. Değişim oranı bu parça için %100 olarak bulunmuştur. Bu durumda bu parçadan çeyrek başına ortalama kullanım 20.00 adet kullanılacaktır. Bu durumda bu parçanın stoktaki seviyesi yeniden sipariş noktası seviyesine düştüğünde otomatik olarak 20 adetlik sipariş açılacaktır.

Yine örnek olarak ele alırsak, AB1 parçası ise %100 değişen bir parça değildir. Aynı şekilde parçanın 2018 kullanım ve 2018 ortalama kullanım miktarları hesaplanmıştır. 2018 her bir çeyrek için ortalama kullanım miktarı olan 15.75 sayısı bir üst tamsayıya yuvarlanmış ve

parça için sipariş miktarı 16 olarak hesaplanmıştır. Bu parça için stok seviyesi yeniden sipariş noktasına düştüğünde otomatik olarak 16 adetlik sipariş açılacaktır.

Son olarak her bir parça için 2018 ihtiyaç sayısı ve birim maliyetlerinin çarpımı ile parçaların tek tek yıllık maliyetleri bulunmuştur. Bu maliyetlerin toplamı ise 2018 yılı için “A” grubu 129 adet parça için \$7,935,347 olarak hesaplanmıştır. Bu tutar sadece öngörülen toplam envanter azalmasının büyüklüğünü değerlendirmek amacı ile kullanılacaktır.

3.7. Yeniden Sipariş Noktalarının Karşılaştırılması

Çalışma yapılan bakım onarım organizasyonunda geçmiş istatistiklere, tecrübeler ve bakım yapan atölyeden gelen taleplere dayanarak yeniden sipariş noktaları (ROP) ve sipariş miktarları sistem üzerinde tanımlanmış durumdadır. Çalışmanın bu bölümünde mevcut durumdaki yeniden sipariş noktaları ile bakım planları ile entegre edilerek hesaplanmış ve %99 hizmet düzeyine sahip yeniden sipariş noktaları için emniyet stok miktarlarının karşılaştırması yapılmıştır. Bu yolla önerilen sistemin envanter düzeyinde sağlayacağı tasarrufun büyüklüğü ölçülmeye çalışılacaktır.

Aşağıda Tablo 7’de, mevcut tanımlı yeniden sipariş noktaları ile bakım planlaması ile entegre edilerek hesaplanan yeniden sipariş noktaları karşılaştırılması yer almaktadır. İki yeniden sipariş noktası arasındaki fark tabloda gösterilmiştir. Eğer fark miktarı sıfırdan büyük ise hesaplanan yeniden sipariş noktası, mevcut tanımlı yeniden sipariş noktasından büyüktür. Eğer fark miktarı sıfırdan küçük ise hesaplanan yeniden sipariş noktası, mevcut tanımlı yeniden sipariş noktasından küçüktür.

Tablo 7. Yeniden Sipariş Noktalarının Karşılaştırılması ve Fark Maliyeti

PN	Yeniden Sipariş Nokt. (Hesaplanan)	Yeniden Sipariş Nokt. (Tanımlı)	Fark (Adet)	Birim Maliyet (\$)	Fark Maliyeti (\$)
AD1	3	10	-7	13,815.60	-96,709.20
AD2	3	12	-9	12,920.90	-116,288.10
AC1	6	9	-3	17,979.90	-53,939.70
AC2	6	15	-9	15,130.22	-136,171.98
AB1	12	15	-3	3,430.50	-10,291.50
AD3	2	2	0	16,462.80	0.00
AB2	13	15	-2	1,510.60	-3,021.20
AB3	20	10	10	1,243.20	12,432.00

A Grubu 129 Parça için Toplam Fark Maliyeti (\$) -487,254.35

Yapılan karşılaştırmaya göre 129 adet parçanın 74 tanesinde hesaplanana göre daha yüksek bir yeniden sipariş noktasının mevcut sistemde tanımlı olduğu görülmüştür. Buradan yola çıkarak 74 adet parçada fazladan stok tutulduğu görülmektedir. 23 adet parçada hesaplanan yeniden sipariş noktası ile tanımlı sipariş noktaları aynı olup, 32 adet parçada hesaplanan yeniden sipariş noktası tanımlı sipariş noktasından fazladır. Tablo 7.'de, birinci sütun parça numarasıdır. İkinci sütun hesaplanan yeniden sipariş noktası, üçüncü sütun mevcut tanımlı yeniden sipariş noktasıdır. İkinci sütundan, üçüncü sütunu çıkardığımızda fark sütunu hesaplanmaktadır. Bu fark adedi, tanımlı sipariş noktası ile hesaplanan sipariş noktası arasında ne kadarlık bir fark olduğunu göstermektedir. Son sütundaki fark maliyetini hesaplamak için fark adeti birim maliyet ile çarpılarak fark maliyeti elde edilmiştir. Çıkan sonuç negatif ise ilgili parça için stok maliyetlerinde düşüş olması, çıkan sonuç pozitif ise ilgili parça için stok maliyetlerinde artış olması öngörülmektedir. Tablonun en altında ise A Grubu tüm parçalar için fark maliyetleri toplanmış, toplam fark maliyeti hesaplanmıştır.

Örnek olarak ele alırsak, tablonun ilk satırında yer alan AD1 parçası için hesaplanan yeniden sipariş noktası 3'tür. Bu parça için mevcut tanımlı yeniden sipariş noktası ise 10'dur. Tanımlı yeniden sipariş noktasının, hesaplanan yeniden sipariş noktasından fazla olduğu görülmüştür ve bu fark '-7' olarak hesaplanmıştır. Fark adedi olan '-7' ile birim maliyet \$13,815.6 çarpılarak AD1 parçası için fark maliyeti -\$96,709.20 olarak hesaplanmıştır. Sonucun (-) çıkmasının nedeni bu parça için stok maliyetlerinde önerilen stok yönetim politikasının uygulanması ile birlikte düşüş olmasının beklenmesidir.

Burada göz önünde bulundurulması gereken bir diğer husus ise hizmet düzeyi (parça elde bulundurma oranı) değişimidir. Emniyet stoku ve yeniden sipariş noktaları hesaplanır iken hizmet düzeyi %99 seçilmişti. Bu oran belirlenen emniyet stok miktarının %99 olasılıkla dönem içerisindeki tüm ihtiyacı karşılamak için yeterli olacağını göstermektedir. Bu da mevcut duruma göre oldukça yüksek bir orandır. Mevcut durumda ise herhangi bir hizmet düzeyi tanımlı değildir ancak %99 oranından daha düşük olduğu belirtilmektedir. Ayrıca sipariş edilen parçaların, depoda bulunmaması durumunda, komponentlerin bakım çıkışına yetiştirilmesi için sipariş hızlandırma maliyetlerine maruz kalınmaktadır. Acil sipariş maliyetleri kayıt altına alınmadığı için bu durum maliyet karşılaştırmasına yansıtılmamıştır. Ancak önerilen yapı ile acil sipariş maliyetlerinde çok ciddi tasarruf sağlanacağı aşikardır.

Bu durumlar göz önüne alınarak yukarıdaki tabloda tüm parçalar için fark maliyetleri hesaplanmış, tablonun en altında tüm bu sonuçlar toplanmıştır. Çıkan sonuca göre toplam fark

maliyeti -\$487,254.35'tir. Yani bu durumda yıllık \$487,254.35, emniyet stoklarında azalma olması beklenmektedir. Bir önceki bölümde 2018 yılı "A" grubu parçalar için ihtiyaç duyulan malzeme toplam maliyeti \$7,935,347 olarak hesaplanmıştı. Bu iki tutarı değerlendirdiğimizde, hesaplanan yeniden sipariş noktası ve emniyet stoku bilgileri ile %6'nın üzerinde bir stok azalması sağlanacağı belirlenmiştir.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma ile bir havayolu firması bakım onarım organizasyonunun bir alt birimindeki envanter yönetim uygulamaları incelenmiştir. Çalışmada ilk olarak üzerinde inceleme yapılan birimde uygulanan bakım politikaları incelenmiş ve bakım organizasyonu talep tahminlerinin bakım planlamalarından bağımsız olarak gerçekleştirildiği tespit edilmiştir. Dolayısıyla mevcut bakım planları ile envanter yönetiminin entegre edilerek optimizasyonun sağlanması hedeflenmiştir.

Çalışmada tüm ürünler için optimizasyon gerçekleştirmek yerine envanter maliyetleri içerisinde kalem sayısı olarak az, ancak envanter maliyeti olarak yüksek maliyet oluşturan ürün/parçalar tespit edilmiştir. Bu amaçla ABC (Pareto analizi) gerçekleştirilmiştir. ABC analizi sonucunda, 1235 kalem malzeme içerisinde envanter maliyetlerinin %80'ini oluşturan 129 adet ürün belirlenmiş ve "A" grubu olarak sınıflandırılmıştır.

Analiz bu adımdan sonra "A" grubu parçalar üzerinde ilerlemiştir. "A" grubundaki kritik ürünler için son iki yılda bakımı yapılan komponentler incelenerek her bir parça için bakım sırasında değişim oranı dağılımları yardımı ile ortalama ve standart sapma değerleri belirlenmiştir. Analizin bir sonraki aşamasında ise "A" sınıfı olarak belirlenen malzemeler için bakım planlamalarından yola çıkarak, emniyet stoku (SS) ve yeniden sipariş noktaları (ROP) hesaplanmıştır. Bakım sırasında değişim oranı %100'ün altında olan parçalar için emniyet stoku hesaplanırken değişim oranlarındaki standart sapmalardan ve t tablosundan yararlanılmış ve %99'luk hizmet düzeyi sağlayacak emniyet stokları belirlenmiştir. Bu hesaplamalar yardımı ile organizasyonun bakım planlaması ile envanter yönetimini entegre etmesi durumunda 2018 yılında hangi parçadan ne kadar ihtiyaç olacağı ve her bir parça için yeniden sipariş miktarları belirlenmiştir.

Çalışmanın son aşamada ise önerilen yapının emniyet stok seviyelerini nasıl değiştireceği hesaplanmıştır. Mevcut durumda her bir parça için hesaplanan yeniden sipariş noktaları şirket sisteminde tanımlıdır. Mevcut sistemdeki yeniden sipariş noktaları ile önerilen yapıdaki %99 hizmet düzeyine sahip önerilen yapının sipariş noktaları karşılaştırılmıştır. Çıkan

sonuca göre 129 adet “A” grubu parçanın 74 tanesinde hesaplanan yeniden sipariş noktası mevcut tanımlı sipariş noktasından fazladır. Bütün olarak ele alındığında ise bütün olarak hizmet düzeyinde azalma olmaksızın toplam stok kullanım miktarının %6’sının üzerinde bir stok seviyesi azalması elde edilebileceği sonucu ortaya çıkmıştır. Ayrıca mevcut durumda yıl içinde bazı parçaların stok seviyesi sıfıra düşmekte, bu durumda bakım çıkışının ertelenmemesi için hızlandırılmış siparişler verilmektedir. Acil sipariş oranlarının da bu yeni durumda %1’ler seviyesine çekileceği öngörülmektedir. Ancak mevcut durumda hizmet düzeyi ve acil sipariş kayıtları olmadığı için bu hesaplamalara yansıtılmamıştır.

Bu çalışmanın önemli kısıtlarından bir tanesi geriye dönük parça değişim oranlarının sadece son 2 yıl temel alınarak gerçekleştirilmiş olmasıdır. Bu da kullanılan t–tablosu değerlerinin yüksek olması anlamına gelmektedir. Dolayısıyla, bundan sonraki aşamalarda daha fazla veri kullanımı ile bu çalışmanın yinelenmesinde fayda vardır. Bunun da ötesinde dinamik bir model kurularak bakım sırasında parça değişim oranının yeni veriler ile sürekli güncellenmesi ve bunun sonucunda envanter yönetiminde sürekli güncel bir emniyet stoku ve yeniden sipariş noktası bilgisi sağlanması da önerilmektedir.

Yine bakım politikaları ile envanter yönetiminin birleştirilmesinin sağlayacağı potansiyel faydalar bu çalışma ile ortaya konmuştur. Ancak bu çalışmada firmada mevcutta uygulanan üçer aylık aralıklarla sipariş verilmesi temel alınmıştır. Ancak bu uygulama, pratik olmakla birlikte en optimum uygulama değildir. Bakım planlaması ve sipariş miktarları göz önünde bulundurularak sipariş planlamasının optimize edilmesinin de ciddi bir maliyet tasarrufu sağlayabileceği öngörülmektedir.

Son olarak kestirimci bakım politikası çalışmaları yapılarak, komponentlerin takılmış olduğu uçakların yaşları, çalıştığı bölgeler, uçuş sıklıkları ve benzeri parametreler takip edilerek bu parametrelerin parçaların değişim oranlarını etkileyip etkilemedikleri araştırılabilir. Böylece komponentlerdeki parçaların değişme olasılıklarını daha hassas tespit edebilecek modeller oluşturulabilir. Dolayısıyla da bakıma gelen komponentler için önceden daha hassas bir envanter planlaması yapılma imkânı elde edilebilir.

KAYNAKÇA

- Aisyati, A., Jauhari, W. A., & Rosyidi, C. N. (2013). Determination Inventory Level for Aircraft Spare Parts Using Continuous Review Model. *International Journal of Business Research and Management*, 4(1).
- Akyol, B. (2011). Çok Kriterli ABC Sınıflandırma İçin Yeni Bir Yaklaşım. *Yüksek Lisans Tezi*. Kayseri: Erciyes Üniversitesi.
- Altuntaş, S., Dereli, T., Yılmaz, M. K., Ertürk, B., & Demirbaş, A. (2017). Havacılık Sektöründe Bakım Kolaylığı için Yaratıcı Problem Çözme Teorisi Uygulamaları. *Dokuz Eylül Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 19(55), 211-228.
- Chen, Y., Li, K. W., Kilgour, D. M., & Hipel, K. W. (2008). A case-based distance model for multiple criteria ABC analysis. *Computers & Operations Research* 35 (3), 776 - 796.
- CIBSE. (2008). A Guide for Designers, Maintainers Building Owners and Operators, and Facilities Managers. *Maintenance Engineering and Management*. (K. J. Butcher, Dü.) Norwich, Great Britain : The Chartered Institution of Building Services Engineers London.
- Cohen, M. A., & Ernst, R. M.-i. (1988). Multi-item classification and generic inventory stock control policies. *Production and Inventory Management Journal*.
- Flores, B. E., & Whybark, D. C. (1986). Multiple Criteria ABC Analysis. *International Journal of Operations & Productions Management* 6 (3), 38 - 46.
- 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.
- İlgin, M. A. (2006). Joint Optimization of Spare Parts Inventory and Maintenance Policies Using Hybrid Genetic Algorithms. *Yüksek Lisans Tezi*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Jumabaeva, J. (2011). Multi Criteria ABC Classification Of Light Railway Spare Parts Using Artificial Neural Network Approach. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Köksal, M. (2007). *Bakım Planlaması*. İstanbul : Seçkin Yayıncılık.
- Krajcovic, M., & Plinta, D. (2012, September). Comprehensive Approach to the Inventory Control System Improvement. *Management and Production Engineering Review*, s. 34-44.
- Nel, S. S. (2010). The Development and Optimisation of an Inventory Model for Unscheduled Maintenance on Aircraft. *Thesis*. Pretoria: University of Pretoria.
- Ng, W. L. (2007). A simple classifier for multiple criteria ABC analysis. *European Journal of Operational Research*, 177, 344-353.
- Partovi, F. Y., & Burton, J. (1993). Using the analytic hierarchy process for ABC analysis. *International Journal of Operations & Production Management*, 13(9), 29-44.
- Ramanathan, R. (2006). ABC inventory classification with multiple-criteria using weighted linear optimization. *Computers and Operations Research*, 33, 695-700.

- 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*, s. 445-451.
- Scholz-Reiter, B., 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* 61 (4), 445 - 451.
- Schomer, A. J. (1965). An Approach to Inventory Management. *The Journal of Accountancy*.
- Simunovic, K., Draganjac, T., & Simunovic, G. (2008). Application of different Quantitative Techniques to Inventory Classification . *Technical Gazette* 10 (3), 41 - 47.
- Yu, M.-C. (2010). Multi-criteria ABC analysis using artificial-intelligence-based classification techniques. *Expert Systems with Applications*.