

**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**UÇAK KOMPONENTLERİNDE STOK
MALİYETLERİNİN DOĞRUSAL
PROGRAMLAMA İLE OPTİMİZASYONU**

Emre EKİN

2501210747

TEZ DANIŞMANI

Prof. Dr. Ergün EROĞLU

İSTANBUL- 2023

ÖZ

UÇAK KOMPONENTLERİNDE STOK MALİYETLERİNİN DOĞRUSAL PROGRAMLAMA İLE OPTİMİZASYONU EMRE EKİN

İşletmelerin sahip olduğu kaynakları rasyonel, verimli ve etkin kullanmaları için deneyimlerden ziyade bilimsel verilerden yararlanmaları gerekir. İşletmeler için üretim sürecinde optimallik son derece önemlidir. Optimizasyon tekniklerinden olan doğrusal programlama ile uçak komponentlerinin bakım onarım planlama problemlerine minimum maliyet sağlamak ve âtil kapasite kullanımını tespit etmek mümkündür. Bu çalışmada, doğrusal programlama tekniği uçak komponentlerinin envanter kontrolü ve stok yönetim problemlerine çözüm getirmek amacıyla kullanılmış ve optimum çözümün nasıl elde edileceği ortaya konulmuştur.

Günümüzde havacılık sektöründe meydana gelen hızlı gelişmeler ve sektöre yönelik artan ilgi, uçak bakım-onarım sektöründe kullanılan envanterin yönetimi konusunu önemli hale getirmiştir. Havayolu firmaları için envanter kontrolü ve yönetimi; karlılık ve sürekliliğin sağlanması açısından kritik bir öneme sahip olduğu için firmalar hem stok maliyetlerini minimum yapma hem de müşterilerine sunmuş oldukları hizmet seviyelerini maksimum seviyede gerçekleştirme istegindedirler. Bu iki durumun gerçekleşmesini optimum düzeyde sağlamak için yöneylem araştırmasının önemli bir konusu olan Doğrusal Programlama yönteminden yararlanılacaktır. Doğrusal programlamada kurulan matematiksel model ile envanterde tutulan stok maliyetlerinin minimize edilmesi amaçlanmıştır. Şirket minimum düzeyde stok bulundurma maliyetiyle maksimum düzeyde müşteri hizmet düzeylerine ulaşmayı amaçlamaktadır. Yapılan çalışmada, dar gövde uçaklarında 3. parti yedek parça kapsamında hizmet verilen müşteriler için 2022 yılı aralık sonu itibariyle envanter eksikliği bulunan 192 komponent ele alınmış ve %96 hizmet seviyesi ortalamasını gerçekleştirmek için bu 192 adet komponentten her birisi için ne kadar yedek yatırımı yapılması gerektiği tamsayılı programlama tekniğinden yararlanılarak hesaplanmıştır. Çeşitli yedek miktarlarında ne kadar hizmet seviyesine ulaşıldığı 10 farklı senaryo için Poisson istatistiksel dağılımıyla hesaplanmıştır. Amaç fonksiyonu, hedeflenen hizmet

seviyesine ulaşmayı sağlarken bir yandan da envanter maliyetini minimize edecek şekilde belirlenmiştir. Bu çalışma, Türkiye'nin en büyük hava araçları bakım onarım merkezinde gerçekleştirilmiştir. Şirkette mevcut durumda envanter yedek hesaplaması tekil bazda yapılmakta olup bütünsel olarak envanter optimizasyonu için bir yaklaşım bulunmamaktadır. Karışık tamsayılı doğrusal programlama ile yedek envanterinin etkin ve matematiksel bir metodoloji ile yönetilmesi ve bu sayede, envanter maliyetlerinin en aza indirgenmesi mümkün olacaktır.

Havacılık bakım/onarım sektöründeki işletmeler için, yedek parça envanterinin etkin yönetimi ve stok maliyetlerinin en aza indirilmesi son derece kritik hedefler arasındadır. Şirket COVID sonrası normalleşme sürecinde 2022 ikinci çeyreğinden beri yedek parça envanterine ciddi yatırım yapmaktadır. 2023 yılı için bu politikasını matematiksel yaklaşımlar kullanarak rekabet ortamının arttığı günümüz şartlarına uygun şekilde yürütmesi akılcı olacaktır. Envanter maliyetlerini optimize ederek şirketin kâr marjını artırması için bütünsel bir yaklaşım ile stokların yönetilmesi doğru tercih olacaktır. Bu uygulamada şirket, 3. parti müşterilerine taahhüt ettiği servis seviyesine ulaşip müşteri memnuniyetini sağlarken diğer yandan da envanter maliyetlerini düşürerek stok optimizasyonunu gerçekleştirmeyi amaçlamaktadır.

Tezin uygulama kısmında havacılık bakım onarım sektöründe A320 tipi dar gövde uçak yedek parçalarının mevcut yedek sayısı 2022 yılı sonu itibarıyla elimizdeki yedek sayısını göstermektedir. Danışman firmanın 2023 yılı için önerdiği yedek sayılarına göre ortaya çıkan yedek sipariş maliyeti ile istenilen hizmet seviyesini sağlayan optimizasyon probleminin çözülmesi sonucunda ortaya çıkan yedek sipariş maliyetleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Uygulamada; maliyet minimizasyonu sağlanması için kurulan matematiksel model DP ile çözüme kavuşturulmuştur. Stok maliyetinin minimize edilmesinde IBM CPLEX Optimization Studio 12.8 uygulaması kullanılmıştır. Yapılan uygulama sonucunda elde edilen bulgular yorumlanarak şirkete çeşitli öneri ve tavsiyeler sunulmuştur. Bu uygulamada şirket, 3. parti müşterilerine taahhüt ettiği servis seviyesine ulaşip müşteri memnuniyetini sağlarken diğer bir yandan da envanter maliyetlerini düşürerek stok optimizasyonunu gerçekleştirmiş olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Envanter Yönetimi, Komponent Yönetimi, Poisson Dağılımı, Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama, Stok Maliyetleri.



ABSTRACT

OPTIMIZATION OF INVENTORY COSTS IN AIRCRAFT COMPONENTS WITH LINEAR PROGRAMMING

EMRE EKİN

In order for enterprises to use the resources they have rationally, efficiently and effectively, they should use scientific data rather than experiences. Optimality in the production process is extremely important for enterprises. With linear programming, which is one of the optimization techniques, it is possible to provide minimum costs for maintenance and repair planning problems of aircraft components and to determine the use of idle capacity. In this study, linear programming technique was used to solve inventory control and inventory management problems of aircraft components and it was revealed how to obtain the optimal solution. Today, the rapid developments in the aviation sector and the increasing interest in the sector have made the issue of managing the inventory used in the aircraft maintenance and repair sector important. Inventory control and management for airline companies; Since it is of critical importance for ensuring profitability and continuity, companies want to both minimize inventory costs and maximize the service levels they offer to their customers. In order to ensure the optimal realization of these two situations, the Linear Programming method, which is an important subject of operations research, will be used. With the mathematical model established in linear programming, it is aimed to minimize the inventory costs kept in the inventory. The company aims to reach the maximum level of customer service levels with the minimum cost of keeping stock. In the study conducted, 3 in narrow-body aircraft. for the customers served within the scope of batch spare parts, 192 components with inventory deficiencies were considered as of the end of December 2022 and it was calculated using integer programming technique how much spare investment should be made for each of these 192 components in order to realize an average of 96% service level. How much service level was reached in various spare amounts was calculated with Poisson statistical distribution for 10 different scenarios. This study was carried out at the largest aircraft maintenance and repair center in Turkey. In the current situation, inventory reserve calculation is

performed on a singular basis in the company and there is no approach for inventory optimization holistically. With mixed integer linear programming, it will be possible to manage the spare inventory with an effective and mathematical methodology and thus minimize inventory costs. Effective management of spare parts inventory and minimization of inventory costs are among the most critical goals for enterprises in the aviation maintenance/repair sector. Dec. The company has been making serious investments in the spare parts inventory since the second quarter of 2022 in the post-COVID normalization process. it will be rational to carry out this policy for the year 2023 using mathematical approaches in accordance with the current conditions in which the competitive environment is increasing. It would be the right choice to manage inventories with a holistic approach in order for the company to increase its profit margin by optimizing inventory costs. The company in this application, 3. the party aims to achieve inventory optimization by reaching the service level it commits to its customers and ensuring customer satisfaction, while at the same time reducing inventory costs.

In the application part of the thesis, the current number of spare parts for A320 type narrow body aircraft spare parts in the aviation maintenance and repair sector shows the number of spare parts we have as of the end of 2022. The replacement order costs incurred according to the consultant firm's proposed replacement numbers for 2023 and the replacement order costs incurred as a result of solving the optimization problem that provides the desired level of service were compared with each other. In practice, the mathematical model established to ensure cost minimization has been solved with DP. IBM CPLEX Optimization Studio 12.8 application has been used to minimize inventory cost. The findings obtained as a result of the application were interpreted and various suggestions and recommendations were presented to the company. The company in this application, 3. while reaching the service level that the party undertakes to its customers and ensuring customer satisfaction, on the other hand, it has realized inventory optimization by reducing inventory costs.

Keywords: Inventory Management, Component Management, Poisson Distribution, Mixed Integer Linear Programming, Stock Costs.

ÖNSÖZ

Tezin yapımında benden yardımını ve desteğini esirgemeyen, öneri ve tavsiyeleri ile tezin tamamlanmasında büyük pay sahibi olan çok değerli hocam, tez danışmanım Prof. Dr. Ergün EROĞLU'na, üzerimde emeği büyük olan Marmara Üniversitesi Yöneylem Araştırması bilim dalında hem yüksek lisans hem doktora tez danışmanım olan kıymetli hocam; Ekonometri Bölüm Başkanı Prof. Dr. S. Erdal DİNÇER'e, yardımsever kişiliğe sahip ve her daim pozitif olan değerli hocam; Sayısal Yöntemler Bilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Tuğba GÜRSOY'a çok teşekkür ederim.

Tezin uygulama kısmında verilerin elde edilmesini sağlayan ve gerekli izinlerin alınmasında yardımcı olan değerli dostum Kadir Safa KARAKAŞ'a ve her zaman yanımda olan kıymetli kardeşlerim; Halil EKİN'e, Salih EKİN'e ve Elif Feyza EKİN'e teşekkür ederim.

Beni bugünlere getiren, her daim yanımda olan ve benden hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen, sevgileriyle beni güçlü kılan Canım Aileme;

Sonsuz Sevgi ve Teşekkürlerimi Sunarım.

Emre EKİN

İstanbul - 2023

İÇİNDEKİLER

ÖZ	ii
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vii
TABLO LİSTESİ	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
KISALTMALAR.....	xii
GİRİŞ	13
1. HAVACILIK SEKTÖRÜ	
1.1. Türkiye’de ve Dünyada Havacılık Sektörü	17
1.2. Havacılık Sektörünün Özellikleri	20
1.3. Türkiye’de Havacılık Sektörünün Gelişimi.....	22
1.4. Havayolu Taşımacılığı ve Türkiye.....	23
1.5. Havacılık Bakım Onarım Sektörü.....	25
1.5.1 Uçak Bakım-Onarımın Önemi	27
2. HAVACILIK BAKIM ONARIM SEKTÖRÜNDE YEDEK PARÇA ENVANTER YÖNETİMİ	
2.1. Yedek Parça Envanter Yönetimi.....	31
2.2. Uçak Parçalarının Çeşitleri.....	33
2.3. Onarılabilen Uçak Parçaları ve Bunların Çevrimi	33
3. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA	
3.1. Doğrusal Programlamanın Tanımı ve DP Kavramı	36
3.2. Doğrusal Programlamanın Tarihsel Gelişimi	37
3.3. Doğrusal Programlamanın Kullanım Alanları	38
3.4. Doğrusal Programlamanın Amaçları	39
3.5. Doğrusal Programlama Avantajları ve Dezavantajları	40
3.6. Doğrusal Programlamanın Çözüm Yöntemleri	41
3.6.1. Grafik Yöntem	42
3.6.2. Simpleks Yöntem	42
3.6.3. Dualite Yöntemi	43
3.6.4. İç Nokta Yöntemi	44
3.7. Doğrusal Programlamanın Çözüm Halleri	44
3.8. Doğrusal Programlama Modelini Oluşturan Elemanlar.....	47

3.8.1. Karar Değişkenleri	47
3.8.2. Amaç Fonksiyonu	48
3.8.3. Kısıtlar	48
3.9. Doğrusal Programlama Modelleri.....	49
3.10. Doğrusal Programlama Aşamaları	49
3.11. Doğrusal Programlama Varsayımları.....	50
3.12. Doğrusal Programlama Problemlerini Çözen Paket Programlar	51
3.12.1. CPLEX.....	52
3.12.2. GUROBI	52
3.12.3. GLPK.....	52
3.12.4. XPRESS.....	53
3.12.5. CLP.....	53
3.12.6. LP_SOLVE	53
3.12.7. LINGO.....	53
3.12.8. MATLAB.....	54
3.13. Doğrusal Programlamanın Excel ile Çözümü	55
3.14. Tamsayılı Doğrusal Programlama	56
3.14.1. Tamsayılı Doğrusal Programlama Formülasyonu	57
3.14.2. Tamsayılı Doğrusal Programlama Çözüm Teknikleri	59
3.15. Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama	60
3.16. Poisson Dağılımı.....	62
4. UYGULAMA	
4.1. Havacılık Bakım Onarım Sektöründe Faaliyet Gösteren Firma Bilgileri	66
4.1.1. Aviyonik Bileşen Atölyesi.....	67
4.1.2. DP Uygulaması	67
4.2. Çalışmada İzlenilen Yöntem	68
4.3. Problemin Girdileri	69
4.4. Amaç Fonksiyonu ve Kısıtlar	69
4.5. Modelin Çözümü	71
SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	76

TABLO LİSTESİ

Tablo 1. İşlemci İstatistikleri	75
Tablo 2. 192 Komponent İçin Yedek Parametreleri	85
Tablo 3. 192 Komponent İçin Hizmet Seviyesi (10 Farklı Senaryo) ve Fiyat Parametreleri	88
Tablo 4. 192 Komponent İçin Yedek Yatırımı Parametreleri (10 Farklı Senaryo)	91

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. Tam Sayılı Doğrusal Programlamanın Grafik Gösterimi	58
Şekil 2. Tam Sayılı Programlama Modelleri Ve Çözüm Teknikleri	59
Şekil 3. Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama Modeli Matematiksel Formülasyonu	61
Şekil 4. Karma Tam Sayılı Doğrusal Programlama Modeli Kısıtlayıcıları	61
Şekil 5. Poisson Dağılımı Olasılık Dağılım Grafiği (A) ve Kümülatif Dağılım Grafiği (B)	63
Şekil 6. IBM CPLEX 12.8 Değişkenler, Parametreler, Amaç Fonksiyonu ve Kısıtlar	71
Şekil 7. Çözüm İstatistikleri	72

KISALTMALAR

ATE: Automatic Test Equipment

DP: Doğrusal Programlama

HABOM: Havacılık Bakım Onarım Merkezi

KTDP: Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama

PN: Parça Numarası, Çeşidi

TSP: Tam Sayılı Programlama

GİRİŞ

İkinci Dünya Savaşı sonrasında hem Dünya’da hem Türkiye’de havayolu endüstrisinde önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Günümüzde ise havayolu endüstrisi teknolojideki gelişmelere paralel olarak baş döndürücü bir hızla gelişmektedir. Uçak sayılarındaki artış ve sektördeki gelişmeler ile beraber Türkiye’deki havalimanlarında her yıl yolcu ve uçak trafiği verilerinde ciddi artışlar yaşanmaktadır. İç hat ve dış hat yolcu ve uçuş operasyonları sayılarında yaşanan artış ile birlikte havayolu operatörlerinin uçak sayıları hızla artmakta ve uçak yedek parçalarına sunulan hizmete ilişkin yoğun bir talep ortaya çıkmaktadır (Gerede, 2002).

Günümüzde havacılık sektöründe meydana gelen hızlı gelişmeler, sektöre yönelik artan ilgi ve artan uçak ve uçuş operasyonları sayısı uçak bakım-onarım sektöründe kullanılan envanterin yönetimi konusunu önemli hale getirmiştir. Havayolu firmaları için envanter kontrolü ve yönetimi; karlılık ve sürekliliğin sağlanması açısından kritik bir öneme sahip olduğu için firmalar, hem stok maliyetlerini minimum yapma hem de müşterilerine sunmuş oldukları hizmet seviyelerini maksimum seviyede gerçekleştirme istegindedirler. Çünkü müşteri memnuniyetinin sağlanması ve maliyetlerin azaltılması sektörde önemli hedeflerdir. Havacılık sektöründe yaşanan hızlı gelişmeler sektörün tüm ülkeler için son derece önemli olmasını sağlarken aynı zamanda sektördeki firmaların verimlilik ve etkinlik ile rasyonel davranışlar göstermesini zorunlu kılmıştır (Arıkan & Ahıpaşaoğlu, 2006). İşte bu sebeple uçak komponentlerine tamir bakım hizmeti sağlayan ve uçak bakım onarım sektöründe faaliyet gösteren işletmenin stok maliyetlerinin minimize edilmesine ilişkin önemli bir problem ele alınmış ve uygulaması yapılarak sonuçları paylaşılmıştır.

Tamir edilebilen uçak parçalarının (komponent) bakım ve onarımında envanterin takip ve kontrolü son derece önemlidir. Ülkemizde havacılık bakım onarım sektöründe yılda onbinlerce uçak komponenti tamir çevriminden geçmekte ve yetkili tamir istasyonları tarafından sertifikalandırılarak kullanıma hazır hale (faal) getirilmektedir. Bu parçaların stokta ne kadar sayıda olduklarının ne kadar sayıda bulundurulması gerektiğinin bilinmesi ve buna göre komponentlere işlem yapılması

gerekmektedir. Çünkü stok seviyeleri göz önünde bulundurulmadan komponentlerin keyfi olarak işleme alınması, test ve tamir işlemlerinin yapılması bakım onarım merkezi için uygun bir durum değildir. Sistematik ve rasyonel bir stok kontrolüne ve stok maliyetlerinin de minimize edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılan çalışmada, dar gövde uçaklarının yedek parçalarına hizmet verilen 3. parti müşteriler için 2022 yılı için envanter eksikliği bulunan 192 komponent ele alınmıştır. %96 hizmet seviyesi ortalamasını gerçekleştirmek için 192 adet komponentten her biri için ne kadar yedek yatırımı yapılması gerektiği Tamsayılı DP tekniğinden yararlanılarak hesaplanmıştır. Çeşitli yedek miktarlarında ne kadar hizmet seviyesine ulaşıldığı 10 farklı senaryo için Poisson istatistiksel dağılımıyla hesaplanmıştır. Amaç fonksiyonu, hedeflenen hizmet seviyesine ulaşmayı sağlarken bir yandan da envanter maliyetini minimize edecek şekilde belirlenmiştir. Bu çalışma, Türkiye'nin en büyük hava araçları bakım onarım merkezinde gerçekleştirilmiştir. Şirkette mevcut durumda envanter yedek hesaplaması tekil bazda yapılmakta olup bütünsel olarak envanter optimizasyonu için bir yaklaşım bulunmamaktadır. Karışık tamsayılı doğrusal programlama ile yedek envanterinin etkin ve matematiksel bir metodoloji ile yönetilmesi ve bu sayede, envanter maliyetlerinin en aza indirgenmesi mümkün olacaktır. Şirket COVID sonrası normalleşme sürecinde 2022 ikinci çeyreğinden itibaren yedek parça envanterine ciddi yatırım yapmaktadır. 2023 yılı için bu politikasını matematiksel yaklaşımlar kullanarak rekabet ortamının arttığı günümüz şartlarına uygun şekilde yürütmesi akılcı olacaktır. Envanter maliyetlerini optimize ederek şirketin kar marjını artırması için bütünsel bir yaklaşım ile stokların yönetilmesi doğru tercih olacaktır. Uygulamada; maliyet minimizasyonu sağlanması için kurulan matematiksel model DP ile çözüme kavuşturulmuştur. Stok maliyetinin minimize edilmesinde CPLEX Optimization Studio 12.8 uygulaması kullanılmıştır. Yapılan uygulama sonucunda elde edilen bulgular yorumlanarak şirkete çeşitli öneri ve tavsiyeler sunulmuştur.

Globalleşen ve küçük bir pazar haline gelen teknoloji temelli dünyada birçok sektörde yedek parçaların etkin bir şekilde yönetilmesi çok önemli hale gelmiştir. Bu sektörler ise askeri silah sistemleri, havacılık sektörü, iletişim, otomotiv, makina ve ağır sanayi örnek olarak verilebilir. Havacılık sektöründe stok kontrolü maliyet ile çok sıkı ilişki içerisinde. Bir uçağın parça ihtiyacından dolayı yerde kalması, rötar yapıp sefere geç çıkması veya bir sefere çıkamaması havayolu firması için hem büyük bir

maliyet oluşturur hem de müşteri memnuniyetinin azalmasıyla birlikte yolcu ve prestij kayıplarının yaşanması demektir. Fakat, bir yedek parçanın gereksiz yere stokta bulundurulması da lükstür ve bu durum envanter yönetiminin rasyonel olmadığını göstermekle birlikte stok maliyetini de arttırıcı bir etki yapacaktır. O halde stokta bulundurulacak olan yedek parça seviyesinin hem uçuş operasyonlarını aksatmayacak şekilde olması hem de gereğinden fazla elde bulundurularak stok maliyetini arttırıcı bir etki yapmaması için dengelenmesi yani optimum düzeyde tutulması envanter yönetimi açısından temel amaçtır.

Tezin konusu tamiri mümkün olan uçak parçalarıdır. Başka bir deyişle komponentlerdir. Uçak parçalarına komponent denilmektedir. Komponentler sürekli faal hale getirilip belli bir çevrimde hareket eden uçak parçadır. Yani arızalandıklarında hurdaya atılmaktan ziyade bakım onarım atölyelerinde tamir edilip tekrar stoğa kazandırılan parçalardır. Bu özelliklerinden dolayı komponentler kapalı bir döngüye sahiptir ve bunların stok seviyeleri çabuk veya kolay değişmez. Genellikle hizmet verilen uçak sayılarındaki değişimler ve tamir çevrim süreleri stok seviyelerini etkilemektedir.

Komponent döngüsünün unsurları şunlardır: 1: operasyon (komponentin uçakta takılı olduğu durum), 2: tamir süreci (uçaktan arızadan dolayı sökülerek tamir istasyonuna gönderilme), 3: envantere aktif olarak geri dönüş, 4: tekrar operasyonda kullanılma.

Komponentlerin envanter seviyelerinde artış veya azalışa sebep olan faktörler satış veya satın alma faaliyetleridir. Bazı durumlarda uçak yedek parçalarının tamiri mümkün olmamaktadır. Bu tip durumlarda komponentler hurdaya çıkarılabilmekte ve bu da envanter sayısında azalışa neden olmaktadır. Envanter hareketine sebep olan temel faktör komponentte meydana gelen arıza olduğundan dolayı, taleple ilgili hesaplama yapılırken genellikle arızalarla ilgili analizler yapılmaktadır (Altay, 2011).

Komponentlerin tamir ve stok döngüsünün daha etkin ve verimli olabilmesi için, stokta parçaların uzun süre beklemesini önlemek amacıyla gereğinden fazla yedek parça bulundurulmamalı ve stok devir hızını arttıracak yönde işlemler uygulanmalıdır. Uçaklardan sökülen arızalı parçaların lojistiği çok hızlı bir şekilde temin edilmelidir. Tamir süreci öncesindeki zaman kaybının önlenmesi gereklidir. Ayrıca, tamir firmalarıyla karşılıklı anlaşmalar yapılmalı ve tamir süresi belirli bir

süreyi aştığında takas komponent talep edilmelidir. Tamir işleminin şirketin kendi bünyesinde yapılması, tamir süresini kısaltacağından dolayı yedek parça sayısından tasarruf edilecektir (Alfieri, 2014).

Stokta bulundurulması gereken yedek parça miktarı belirlenirken, uçaktaki komponentler arızalandığı anda talebin oluşması nedeniyle arızalar arasında geçen sürelerin ortalaması dikkate alınır. Bunun dışında, tamir çevrim süresi de stokta bulundurulması gereken yedek parça sayısına direkt olarak etki etmektedir (Sherman, Owen, Pincombe, & Bender, 2012).

Yedek parça miktarının hesaplanmasındaki amaç; uçuş operasyonlarını sekteye uğratmamak ve istenilen güvenilirlik seviyesinde hizmet verecek olan parça tedarikini sağlamaktır. Yedek parça envanter yönetimiyle ilgili bir diğer konu, talebi karşılamak için yedek parçaya sahip olma veya dış kaynak kullanarak müşteriyle takas yapma yöntemleridir (Kilpi, 2007).

Havacılık sektöründe müşterilerin yedek parçaya olan taleplerindeki dengenin kurulması, ek maliyetlerin ortaya çıkmasının engellenmesi için gereklidir. Çünkü bir uçağın rötar yapması, yerde kalması ve bir sefere çıkamaması hem büyük bir maliyet yüklerken aynı zamanda prestij kaybıyla birlikte müşteri memnuniyetsizliği ve müşteri kaybının oluşmasına sebep olacaktır. Diğer taraftan bir yedek parçanın gereksiz şekilde elde fazla bulundurulması da stok maliyetlerinin artmasına neden olacaktır. Bu durum şirketlerin tedarik zinciri konusunda bir eksikliğin olduğunu, etkin ve rasyonel bir stok (envanter) yönetiminin olmadığını da gösterecektir.

BİRİNCİ BÖLÜM

HAVACILIK SEKTÖRÜ

1.1 Türkiye’de ve Dünyada Havacılık Sektörü

Havacılık sektörünün dünya çapındaki gelişimi, Wright kardeşlerin 1903 yılında ilk motorlu uçağı tamamlamasıyla başlamıştır. Uçaklar icat edildikten bir süre sonra askeri amaçlarla da kullanılmaya başlanmış ve Bulgaristan uçakları askeri amaçlı kullanan ilk ülke olmuştur. Bunun yanı sıra I. Dünya Savaşı uçakların saldırı, savunma ve keşif amaçlı kullanıldığı ilk savaş olarak tarihteki yerini almıştır. Ticari havacılık ise II. Dünya Savaşı’ndan sonra insan ve yük taşımacılığı yapılarak gelişmeye başlamıştır. De Havilland tarafından dünyanın ilk jet motorlu yolcu uçağı yapılmış ve ilk ticari yolcu uçuşu 1952 yılında gerçekleştirilmiştir. Bu tarihten itibaren ise ticari havacılık dünyada büyük bir hızla gelişim göstermiştir (Şentürk, 2011). Sivil havacılık faaliyetleri, Uluslararası Sivil Havacılık Antlaşması ile standart kurallara bağlanmış ve 2. Dünya Savaşı’nın ardından uçak imalatının başlaması ve tarifeli yolcu ve yük taşımacılığının gelişmesiyle büyük bir ivme kazanmıştır. Türkiye’de ise sivil havacılık faaliyetleri, 1912 yılında İstanbul Atatürk Havalimanı civarında kurulan hangarlar ve uçak iniş kalkış havalimanı ile başlamıştır. 1933 yılında Devlet Hava Meydanları (DHMI) Genel Müdürlüğü’nün temellerini atan Hava Yolları Devlet İşletme İdaresi kurulmuştur. Dünya sivil havacılığının hızlı bir gelişme göstermesi, uluslararası ilişkilerin düzenli bir şekilde yürütülmesi ve denetlenmesi ihtiyacını doğurmuş, bu nedenle Türkiye’de 1954 yılında "Sivil Havacılık Dairesi Başkanlığı" adıyla faaliyete geçen ve 1987 yılında yeniden yapılandırılarak günümüzdeki adıyla "Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü" adını alan kuruluş oluşturulmuştur. 2005 yılında yürürlüğe giren "Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun" ile SHGM'nin görev, yetki ve sorumlulukları yasal olarak belirlenmiştir (SHGM, 2009). Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü, Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı'na bağlı özel bütçeli bir kuruluş olup ülkemizde sivil havacılık alanında kuralların oluşturulması, denetlenmesi ve yaptırım uygulanması faaliyetlerinden sorumludur. Havacılık faaliyetlerini güvenlikten ödün vermeden ve uluslararası standartlara uygun olarak yürütmektedir (SHGM, 2015).

Günümüzde havacılık sektörü ülkeler arasında kültürel ve ticari köprüler kurulmasını sağladığından dolayı stratejik bir öneme sahiptir. Bu stratejik önem ülkemizde karşılık bulmuş ve bunun göstergesi olarak 2003 yılında 26 adet olan havalimanı sayısı 2016 yılı itibariyle 55'e çıkmış, iç hatlardaki yolcu sayısı 2003 yılına oranla 10,61 kat artmış, toplam uçak sayısı ise yaklaşık 5 kat artış göstermiştir. Bunun yanı sıra sadece nicelik olarak değil aynı zamanda uçuş güvenliği ve emniyeti konusunda da önemli gelişmeler yaşanmıştır (Ulaştırma Bakanlığı, 2016).

2002-2015 döneminde Dünya Havacılık sektöründe yıllık ortalama %5 civarında olan büyüme oranı, Türkiye'de %15 oranında gerçekleşmiştir. Bu durum, Türkiye'nin dünya hava ulaşım sektöründeki önemli konumunu da göstermektedir. 2015 yılı verilerine göre, Türkiye Avrupa Yolcu sıralamasında 3. ve Dünya yolcu sıralamasında 9. sırada yer almaktadır. SHGM'nin 2016 yılı faaliyet raporu verilerine göre, 2003 yılından bu yana iç hat, dış hat, transit ve toplam yolcu sayılarında sürekli bir artış gözlenmektedir. Bu durum Türkiye'nin havacılık sektöründe istikrarlı ve sağlam bir büyüme kaydettiğini ortaya koymaktadır (Akyurt & Toplu Yaşlıoğlu, 2018).

Ülkemizde uçak trafiği ve uçakla seyahat eden yolcu sayılarında yaşanan rekor artış, özel havayolu şirketlerinin sayılarında yaşanan artış, yurt içi ve yurt dışı uçuş ağlarındaki artış, daha fazla noktaya seyahat düzenlenmesi, havalimanlarına ait mega projeler ve büyük yatırımlar ile havacılık emniyeti ve uçuş güvenliği konularında gerçekleştirilen gelişmeler ve ülke genelinde devletin havacılık sektörünün gelişimine ilişkin yürütmüş olduğu politikalar Türk havacılık sektörünün gelişmesini ve önemli bir konuma gelerek dünyada söz sahibi bir ülke olmasını sağlamıştır (Aksoy & Dursun, 2018). İkinci Dünya savaşının ardından büyük bir gelişme göstermiş olan havayolu taşımacılığı teknolojideki gelişim sayesinde daha ileri bir konuma gelmiştir. Türkiye'nin ihracat, turizm ve coğrafi konumu sebebiyle artan uluslararası ilişkilerin gelişmesini sağlayan en önemli sektör havayolu taşımacılığıdır. Türkiye'nin, küresel hava taşımacılığında stratejik bir önemi bulunmaktadır. Ülkemiz konum itibariyle kıtalararası bir kavşak noktasında yer almaktadır (Korul & Küçükönel, 2003).

Türkiye yapmış olduğu ikili havacılık anlaşmalarıyla 168 ülkeye uçuş yapma imkanına sahip olmakla birlikte dünyada en fazla noktaya seyahat düzenleyen ülkelerden biri haline gelmiştir. Türkiye'nin bayrak taşıyıcı ve ulusal hava yolu şirketi

olan Türk Hava Yollarının yurt içi ve yurt dışında göstermiş olduğu büyük başarı, ülkemizde sivil havacılık sektöründeki başarıyı ve bu sektöre devletin yapmış olduğu katkıları ve yatırımları işaret etmektedir. Nitekim bu yatırımlardan en büyüğü olan ve Türkiye Cumhuriyeti devleti tarafından dünyanın en büyük havalimanları arasında olacak olan 3.havalimanı projesi başlatılmış ve bir bölümü tamamlanarak 29 Ekim 2018 tarihinde hizmete açılmıştır. 3.havalimanı ülkemize dünya havacılığının merkezi olma, bölgesinde daha güçlü bir konuma gelme, ülkemizin havacılık sektöründen en fazla payı alma ve ekonomik olarak ülkemize büyük bir katma değer sağlama konularında büyük avantajlar sağlayacaktır (Aksoy & Dursun, 2018).

Havayolu taşımacılığı küreselleşen dünyada ekonomik ve sosyo-kültürel gelişimin sağlanması için önemli bir sektör haline gelmiştir. Havayolu taşımacılığı Ulusal ve uluslararası düzeyde ekonomik, sosyal ve siyasi kararlardan etkilenme özelliğine sahip olan bir sektördür. Havacılık sektörü ülkemizde, ekonomik durum, teknoloji ve yoğun rekabet sayesinde hızlı bir ilerleme sağlamıştır. Türkiye, havacılıkta dünya ortalamasının 3 katına yakın bir büyüme sağlamıştır. Havayolu yolcu sayısında dünyada 10. ve Avrupa’da ise 4. sırada olmamız dünyada havacılık sektöründe söz sahibi olduğumuzun bir işaretidir. Türkiye, Avrupa’nın en hızlı büyüyen ve en iyi havayolu şirketine sahiptir. Havacılık, yüksek katma değerli, yüksek bütçeli ve aynı zamanda yüksek maliyetlerin gerçekleştiği bir hizmet sektörüdür. Sivil havacılık sektörünün ekonomiye yapmış olduğu katkı ile diğer sektörlerin ekonomiye yapmış olduğu katkı kıyaslandığında ortaya şöyle bir durum çıkmaktadır. Dünya havacılık sektörü oluşturduğu 600 milyar doları aşan ekonomik katkısı ile ekonomiye çok sayıda sektörün yapmış olduğu katkıdan daha fazlasını katmaktadır (UAB, 2018). Günümüzde havacılık sektörü, ülke ekonomilerinin temel taşı konumundadır. Ülkedeki ekonomik sektörlerin işleyebilmesi ve çarkların dönmesi için başta turizm, sanayi, ticaret, tarım ve diğer tüm sektörler açısından havacılık sektörünün gelişimi son derece önemlidir (Bahar & Eysad, 2018). Havacılık sektörü sayesinde ülkelerin diğer ülkelere entegre olması ve ulaşılabilirliği sağlanmakta ve küreselleşen dünyada ülkeler arası ticari etkileşimler sağlanmaktadır. Ülkelerin ulaşılabilirlikleri arttıkça da ülkelerin yatırımcılar tarafından cazibeleri ve güvenilirlikleri artmaktadır. Havacılık sektörü, ülkeler arasında ticari, ekonomik, sosyal ve kültürel yönden adeta bir köprü görevi görmektedir. Ülkemizde “sivil

havacılık” alanında yapılan yatırımlar ve geliştirilen politikalar çerçevesinde seyahat maliyetlerinin düşmesi, havalimanlarının fiziki şartlarının iyileştirilmesi, yeni havalimanlarının inşa edilmesi ve dünyanın sayılı havalimanları arasında yer alması gibi etkenler sektörün gelişimini hızlandırmıştır. “Her Türk Vatandaşı Hayatında En Az Bir Kere Uçağa Binecek” parolasıyla 2003 yılında başlatılan “Havacılıkta Serbestleşme Projesi” ile birlikte hem taşınan yolcu sayısı hem de uçuş sayısında büyük bir artış meydana gelmiştir. Havacılık sektöründeki büyümeyle birlikte havacılık altyapısında da büyük bir ilerleme kaydedilmiş ve uçak bakım-onarım, yedek parça imalatı ve modifikasyon gibi alanlarda önemli adımlar atılmıştır (UAB, 2018).

Havayolu endüstrisi, havayolları, yer hizmetleri, bakım-onarım, üretim ve destek hizmetleri sağlayan birçok işletmenin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Havayolu endüstrisi de buna bağlı olarak büyük sermayeli kuruluşların biraraya geldiği bir endüstridir. Bunun nedenlerinden biri uçakların maliyetlerinin yüksek olması, uçak yakıtlarının yüksek maliyetli olması, uçaklarda kullanılan yedek parçaların satın alma maliyetlerinin yüksek olması ve bu yedek parçaların bakım onarım maliyetlerinin yüksek olması havayolu endüstrisinin büyük sermayeli kuruluşlardan ve yüksek maliyetlerden oluştuğunu göstermektedir (Arıkan & Ahipaşaoğlu, 2005).

1.2. Havacılık Sektörünün Özellikleri

Havayolu endüstrisi, yüksek maliyetlerin olduğu, teknolojiye bağımlı olarak faaliyet gösteren ve rekabetin yoğun olarak hissedildiği bir hizmet sektörüdür (Kuyucak & Şengür, 2009). Havacılık sektörünün 20.yüzyılda gelişmesini ve ilerlemesini sağlayan faktörler aşağıda belirtilmiştir (Akça & Karagülle, 2012).

- Küreselleşme
- Teknoloji üretimindeki artış
- Toplumun refah düzeyinin artması
- Uluslararası ticaretin gelişmesi
- Havayolu endüstrisinin serbestleşmesi
- Hava trafik ağındaki artış
- Havayolu ulaşım ağlarının gelişmesi
- Artan turizm olanakları

Havacılık sektörü, fırsatları iyi değerlendirerek havayolu işletmeciliği, havalimanları terminal işletmeciliği, yer hizmetleri işletmeciliği, bakım-onarım hizmetleri, üretim ve eğitim alanlarında önemli gelişmeler kaydetmiştir. Bu durum ülkemizde sivil havacılık endüstrisinin sağlam temellere dayandığını, uygulanan politikalarla havacılık sektörünün ülkenin lokomotif sektörü olarak her şartta gelişim göstermekte olduğunu gözler önüne sermektedir.

Havacılık sektöründe gelişime neden olan faktörler aşağıdadır (Akça & Karagülle, 2012):

- Küreselleşme
- Yüksek teknoloji üretimi
- Yüksek Teknoloji Kullanımı
- Havayolu endüstrisinde serbestleşme
- Uluslararası etkileşim ve ticaretin gelişmesi
- Uçuş operasyonlarında yaşanan artış
- Havayolu ulaşım ağlarının gelişmesi
- Turizmdeki gelişmeler

Türkiye’de ekonomide yaşanan krizlere rağmen sivil havacılık endüstrisi, fırsatları iyi değerlendirerek ve gelişimini sürdürerek havayolu işletmeciliği, havalimanları terminal işletmeciliği, bakım-onarım-yenileme hizmetleri, yer hizmetleri işletmeciliği ve ikram hizmetleri konularında ciddi bir ilerleme yaşanmıştır (TOBB, 2015).

Havayolu piyasasında az sayıda firma faaliyette bulunmaktadır. Bu sektörde oligopolistik piyasa özellikleri görülmektedir. Sektörde az sayıda firma piyasanın çok büyük bir kısmına hâkim pozisyonundadır (Kaşıkçı, 2007).

Sivil havacılık endüstrisindeki rekabetin yanı sıra krizler ve petrol fiyatlarındaki değişiklikler, havayolu işletmelerinin maliyetlerini ve kar durumlarını etkilemektedir. Bu sektörde satın almalar, birleşmeler ve iflaslar yaşanmaktadır. Havayolu işletmelerinin performansı, farklı bölümleri ilgilendiren bir konudur ve hizmet üreten işletmenin başarısı için önemlidir (Koçyiğit, 2009). Havayolu işletmelerinin bazıları yedek parçalarına bakım onarım hizmetlerini dış kaynak kullanımı ile satın alırken, bazıları ise kendi bünyelerinde hizmet sağlamaktadır. Havayolu endüstrisi içerisinde kritik bir öneme sahip olan bakım onarım işletmeleri,

havacılık sektörünün merkezinde yer almaktadır (Kuyucak & Şengür, 2009). Havayolu işletmelerinde en fazla yer hizmetleri, ikram ve bakım onarım hizmetleri dış kaynaktan sağlanmaktadır. Bu faaliyetlerin ortak özelliği ise yüksek yatırım gerektirmesidir (Yüksel & Gerede, 2012).

Havayolu endüstrisi içerisinde önemli bir büyüklüğe sahip olan yer hizmetleri işletmeleri, bakım onarım hizmetleri havayolu şirketleri için önemli bir yerdedir (Kuyucak & Şengür, 2009). Yüksel ve Gerede (2012) yaptıkları çalışmada, havayolu işletmelerinin bakım onarım faaliyetlerini dış kaynaklardan sağlama yoluna gittiklerini belirtmiştir. Bunun nedeni ise havacılık sektöründe bakım onarım hizmetlerinin çok yüksek yatırım ve yüksek maliyetler içermesi ve havayolu şirketlerinin bakım onarım faaliyetlerini kendi temel yetenek ve sorumluluk sahaları içerisinde görmemeleridir (Yüksel & Gerede, 2012). Havacılık sektörünün yapısal özellikleri; hizmet sektörü, yüksek sermayeli, emek yoğun, nakit akışı yüksek, düşük kar oranı ve yüksek maliyetli olarak sıralanabilir (Kırgız & Arıkan, 2015).

1.3 Türkiye’de Havacılık Sektörünün Gelişimi

Türkiye’de havacılık konusuyla ilgili öncü olan çalışmalar, Osmanlı döneminde başlamıştır. Osmanlı Devleti Trablusgarp Savaşı’nda İtalyanların hava uğradıklarında askeri anlamda havacılığın önemini kavramışlar ve çalışmalara başlamışlardır (Şentürk, 2011). “Ülkemizde ilk havacılık çalışmaları, 1912 yılında Atatürk Havalimanı’nın bulunduğu noktanın yakınında yer alan Sefaköy’ deki iki hangarda başlamıştır. 1925 yılına gelindiğinde ise Türk Tayyare Cemiyeti ile Türk havacılığının temelleri atılmıştır. 1933 yılında ise, Türk Hava Postaları adı ile kurulan bir filo aracılığıyla sivil taşımacılık yapılmıştır. 1933 yılında kurulan “Havayolları Devlet İşletme İdaresi” ise Türkiye’de sivil hava yollarının kurulması ve taşıma yapılmasını sağlamak ile görevlendirilmiştir” (Şentürk, 2011). Türk Havayolları Anonim Ortaklığı, THY, 1933 yılında Ankara’da “Havayolları Devlet İşletmesi” adı ile kurulmuştur. Türkiye’de sivil havacılık 2. Dünya Savaşı’ndan sonra büyük bir ilerleme katetmiştir. Savaş sonrası dönemde, uçakların kalkınma amacıyla ekonomik anlamda kullanılmasına yönelik çalışmalara ve yeni havalimanlarının inşa edilmesine öncelik verilmiştir (SHGM, 2013). Havayolu sektörü, havayolu taşımacılığının başladığı ilk andan itibaren sürekli bir gelişim göstermiştir. Bu gelişim, 2003 yılından

itibaren hatırı sayılır şekilde artış göstermiş ve özel havayolu şirketlerinin sayısında da artma meydana gelmiştir (Şentürk, 2011). Havayolu taşımacılığı, sosyal gelişme ve ekonomik büyüme açısından gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde önemli bir yere sahiptir. Havayolu ulaşımının, Türkiye’deki tarihsel gelişim sürecine bakacak olursak; “Cumhuriyetin ilan edilmesinden sonra Türk Tayyare Cemiyetinin kurulması, Türkiye’de havayolu ulaşımı ile ilgili ilk yapılan icraat olarak kabul edilmektedir. 1930’larda Türk Hava Postaları’ nın kurulması gerçekleşmiştir (Aktepe & Şahbaz, 2010).

Türkiye’de havacılık konusuyla ilgili ilk çalışmalar, askeri alanla sınırlı olarak Osmanlı döneminde başlamıştır. Osmanlılar havacılığın önemini Trablusgarp Savaşı’nda bizzat tecrübe ederek kavramışlardır. İtalyanların hava saldırısına maruz kalınca askeri havacılık konusunda çalışmalara başlamışlardır (Şentürk, 2011).

Türk Havayolları Anonim Ortaklığı (THY), Türkiye'nin bayrak taşıyıcı havayolu şirketi olarak faaliyet göstermektedir ve 1933 yılında Ankara'da "Havayolları Devlet İşletmesi" adıyla kurulmuştur. THY, uzun yıllar boyunca Türkiye’de iç hatlardaki yolcu taşımacılığını tek başına gerçekleştirmiştir. Özel havayolları ise seksenli yılların ortalarında Türkiye’de faaliyete başlamışlardır. 14.10.1983 tarihinde yürürlüğe giren 2920 sayılı Türk Sivil Havacılık Kanunu, kamu kurum ve kuruluşları ile gerçek ve özel hukuk tüzel kişilerinin havacılık faaliyetlerini kapsayacak ve düzenleyecek hükümleri içermektedir (Aktepe & Şahbaz, 2010).

1.4 Havayolu Taşımacılığı ve Türkiye

İnsanların ve malzemelerin zaman faydası sağlanarak bir hava aracı ile havayolu kullanılarak yer değiştirmesi havayolu taşımacılığı olarak adlandırılmaktadır (Gerede, 2002). “Havayolu taşımacılığı, II. Dünya Savaşı sonrasında ticari olarak kullanılır hale gelmiştir. Savaş sonrası ülkelerin ekonomik kalkınmaya öncelik vermeleri sonucunda havayolu ile yolcu ve yük taşınmasıyla, ticari kazanç elde edilebilecek bir iş kolu olma fikri ortaya çıkmıştır.” (Karagülle & Birgren, 2013). Havayolu taşımacılığı, uluslararası etkileşimi fazla olan ve dünyada belirlenmiş havacılık otoritelerinin ortaya koymuş olduğu standartları yerine getirme zorunluluğu olan bir sektördür. Bu nedenden havayolu ulaşımında uluslararası kurallara uymak zaruridir (Göktepe, 2007).

Sektörde, havayolu şirketlerinin bilet fiyatları dışında diğer hususlara da önem vermeleri gerektiği birbirleriyle rekabet edebilmeleri açısından son derece önemlidir. Bunlardan biri de uçak yedek parçalarının bakım onarım maliyetlerine ilişkindir (Hatipoğlu, 2015).

Havayolu taşımacılığı sanayi devriminden sonra 20. yüzyılın başlarında gelişim göstermiştir. Hava ulaştırma sektörünün gelişimi 4 döneme ayrılmıştır. Bunlar;

- Gelişme (1918-1938)
- Büyüme (1938-1958)
- Olgunluk (1958-1978)
- Liberalleşme (1978-...) sonrası dönemler.

Gelişme döneminde askeri alanda gelişme gösteren havacılık sektöründe, yıllar içerisinde sivil yolcu taşımacılığına yönelik uçakların üretilmesiyle sivil hava taşımacılığına geçiş yapılmıştır. Büyüme döneminde uzun menzilli ve çeşitli hava şartlarında uçabilen tarifeli havayolu taşımacılığına geçilmiştir. Olgunluk döneminde havaalanları ve uçakların ileri teknolojiye sahip olmasıyla birlikte havayolu taşımacılığı en hızlı ve güvenilir ulaşım yolu haline gelmiş ve yolcu sayısında büyük oranda artış meydana gelmiştir. Liberalleşme (serbestleşme) döneminde, Amerikan hükümeti tam rekabete izin vermiştir. Avrupa'da ise 1980'lerin sonunda başlayan liberalleşme süreci 1993 yılında tamamlanmıştır (Wensveen, 2007).

Türkiye'de sivil havacılık faaliyetleri ilk olarak 1925 yılında Türk Tayyare Cemiyeti'nin kurulmasıyla başlamıştır. 1933 yılında Hava Yolları Devlet İşletmesi'nin kurulmasıyla, havaalanı ve havayolu işletmeciliği faaliyetleri başlamıştır. Hava Yolları Devlet İşletmesi, günümüzde Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMİ) Genel Müdürlüğü ve Türk Hava Yolları (THY) A.O.'nun bünyesini oluşturmuştur.

1933 yılında kurulan Türk Hava Yolları A.O.'nun temel faaliyet alanı, yurtiçi ve yurtdışında yolcu ve kargo hava taşımacılığı yapmaktır (THY, 2016). 1983 yılında yürürlüğe giren "2920 sayılı Türk Sivil Havacılık Kanunu" ile özel sektöre de havaalanı ve havayolu işletmeciliği hakları verilmesi, sivil havacılık sektöründe önemli bir gelişim sürecinin yaşanmasına yol açmıştır. Havacılıkta ülkemize ilişkin büyüme verilerine en doğru veriler ışığında, Avrupa Hava Seyrüseferi Emniyeti Teşkilatı (EUROCONTROL) tahminlerinden ulaşabiliriz. Türkiye'nin dinamik bir büyüme eğilimi içerisinde olacağı tahmini 2014-2020 döneminde yapılmıştır

(Eurocontrol, 2015). Havacılık sektöründe istihdamda büyüme sağlanarak 2003'te 65.000 civarında olan istihdam edilen personel sayısı, 2013 yılının sonu itibariyle 180.000'i aşmıştır. Son 10 yılda, havacılık sektörünün cirosu 2,2 milyar Dolardan 23,8 milyar Dolara yükselmiştir. Dünya genelinde havacılık sektörü yılda ortalama %5 büyüme kaydetmişken, Türkiye'de bu büyüme oranı %14,5 olarak gerçekleşmiştir (Sakız, 2017).

1.5 Havacılık Bakım Onarım Sektörü

MRO; (Maintenance, Repair, Overhaul) uçaklara bakım onarım hizmeti sunan firmalara verilen isimdir. Sivil Havacılık Genel Müdürlüğüne göre MRO'nun tanımı şu şekildedir. "MRO, uçakların üretiminden başlayarak hizmet ömürlerini tamamlamalarına kadar geçen süre boyunca uçuşa elverişli bir şekilde kalabilmeleri için yapılan servis, kontrol, bakım-onarım, tadilat ve revizyon faaliyetlerini içeren hizmetler sunan firmaları ifade eder." Dünyada 500 civarında MRO firması tarafından, sayıları yaklaşık 20 bin civarında olan uçağa bakım onarım hizmeti verilmektedir. Havacılık sektörü yüksek maliyetler ve büyük sermayeli yatırımlar içeren bir sektördür (SHGM, 2017). Sektör içerisinde havacılık bakım onarım harcamaları ise yüksek maliyetlere sahip olmakla beraber, havayolu sektöründe yapılan tüm harcamaların yüzde 10'luk bir kısma karşılık gelmektedir. Günümüzde uluslararası anlamda MRO firmalarının 60 milyar dolarlık bir ekonomik hacmi vardır ve bu rakamın ilerleyen zamanlarda 80 milyar doları aşması beklenmektedir. Dünya genelinde MRO firmaları incelendiğinde; bu pazarın ABD %35 ine, Avrupa %26 sine, Asya-Pasifik %17 sine sahipken geri kalan %20 lik pay ise diğer bölgelerde faaliyetlerini sürdüren firmalara ait olduğu görülmektedir (airlinehaber, 2019).

Havacılık sektöründe faaliyet gösteren şirketler için çok önemli bir maliyet kalemi olarak değerlendirilen MRO maliyetlerinin minimize edilmesi kuşkusuz ki tedarikçi performanslarına bağlıdır. MRO firmaları arasında var olan rekabet durumundan dolayı bu firmaların maliyetlerini azaltmaları tedarik zincirinde verimliliğin sağlanması ve kaynakların etkin, verimli kullanılmasına bağlıdır. Firma yetkilileri tedarikçi seçiminde katı bir tavır sergilemekte ve tedarikçilerin bazı sertifikasyon ve patentlere sahip olmasının zorunluluk olduğunu ifade ederek böyle bir şart koşturmaktadırlar. Bu nedenle, uçak malzemelerinin alımlarında ürün çeşitliliği

sınırlı olmaktadır. Bu durum, firmaları belirli tedarikçilere zorunlu olarak yönlendirerek uçak malzemelerini temin etmeye mecbur bırakmaktadır.

Uçak bakımı, hava yolu şirketleri için güvenlik, zaman ve maliyet etkinliği açısından son derece önemlidir. Bir uçağın arıza nedeniyle, bakım onarım nedeniyle hizmet verememesi, uçağın rötar yapması, yerde beklemesi ve maliyetlerin yükselmesi demektir. Bu durum ekonomik açıdan, müşteri memnuniyeti açısından ve marka değeri açısından şirket için hiç te uygun bir durum değildir. Bu nedenle, tedarik zinciri yönetiminin performansı, MRO şirketlerinin bakım ve onarım operasyonlarının etkinliğinde önemli bir rol oynadığı açıktır. Uçakların parça ihtiyacından doğan veya arızalı parçaları nedeniyle uçuş operasyonlarında aksamalar, gecikmeler ya da uçuş iptalleri yaşanabilmekte bu durum ise müşteri memnuniyetsizliği ve müşteri kaybına neden olabilmektedir. Firmanın tedarik ettiği ürünler incelendiğinde uçakların binlerce farklı malzemeden oluştuğu görülmektedir. Uçak bakım onarım sektörü, uçakların uçuşa hazırlıklı olabilmeleri için hayati öneme sahip bir sektördür. Ayrıca havacılık bakım onarım sektöründe, uçakların bakımları, Federal Havacılık Kurulu (FAA) veya Avrupa Havacılık Emniyeti Ajansı (EASA) gibi uluslararası kuruluşlar tarafından belirlenmiş olan bakım ve onarım standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmektedir (Bahar, 2018).

Havacılık sektöründe uçak sayısının artması, uçuş operasyonlarının sayısının artması, sektörde istihdam edilen personel sayısının artması ve karlılığın artması uçak komponentine olan ihtiyacın artmasını beraberinde getirmiştir. Dünyada 29.000 civarında uçak olmasından ötürü uçak yedek parçalarına olan gereksinim ve bakım onarım sektörü de bir hayli kritik konumdadır. Uçak komponentlerine ait tamirler ve uçak parçalarının stokta faal bulundurulması artık her zamankinden daha önemli hale gelmiştir. Havacılık bakım onarım sektöründe stok yönetiminden bakım döngüsüne kadar başarı ve etkinliğin sağlanması için çok sayıda faktörün iyi bir şekilde yürütülmesine bağlıdır (Kuyucak & Şengür, 2009).

Envanter, yedek parça hizmeti veren işletmeler için temel bileşendir. Envanter şirketlere maliyet yüklemenin yanı sıra stokta optimum komponent miktarı da bulundurmak önemlidir. Şirketler maliyeti minimum seviyede hizmet kalitesini de maksimum seviyede tutma eğiliminde olduklarından stok düzeylerini, komponentlerini dengelemek durumundadırlar (Ecer, 2009).

1.5.1 Uçak Bakım-Onarımın Önemi

Uçuş güvenliği ve emniyeti açısından uçak yedek parçalarının tamir bakım ve onarımı son derece hayati öneme sahiptir. Çünkü bir vidanın eksik olması bile çok büyük felaketlere yol açabilme potansiyeline sahip iken uçuş güvenliğini de tehlikeye sokmaktadır. Uçakların sürekli olarak kontrol ve denetimlerinin yapılması çok önemlidir. Eğer bu kontrol ve denetimler yapılmazsa uçakların sefere çıkması asla mümkün değildir. Bir uçuşun merkezinde genellikle pilotların olduğu söylenir fakat uçuş emniyeti açısından bakım onarım faaliyetlerini gerçekleştiren teknisyen ekip en az pilotlar kadar sorumluluk sahibidir. Uçakların performanslarının korunabilmesi maksadıyla devamlı olarak 'Check-Up' yapılmaktadır. Yolcu uçakları, her iniş yaptıkları havalimanında "A Kontrolü" olarak adlandırılan bir kontrolden geçerler. Bu dikkatli gezinti tarzındaki kontrol, pek çok sorunu ilk bakışta ortaya çıkarabilir. Gerektiğinde, daha kapsamlı olan "B ve C Kontrolleri"ne geçiş yapılabilir. Bu kontroller, uçak etrafında titizlikle gerçekleştirilerek gerekli bakım ve onarımların zamanında yapılmasını sağlar (SHGM, 2017).

Bir uçak yaklaşık 370 bin komponente sahiptir. Bakım onarım teknisyenleri ve uçuşa izin vermeye yetkili ekiplerin uçağa ait olan parçaların her birinin çalışır vaziyette olduğunu ve görevini eksiksiz yaptığını kontrol etmeleri ve bu durumdan emin olmaları bir zorunluluktur. Burada komponentlerin boyutları asla önemli değildir. Çünkü eksik bir vida bile uçuşun güvenliğini tehlikeye atmakta ve büyük felaketlere yol açabilme ihtimalinin olduğunu bize göstermektedir. Şirketler gelirlerini maksimize etmek ve maliyetlerini minimize etmek için çeşitli kısıtlamalara giderler. Eğer bu kısıtlamalar uçağın bakım onarımını etkileyen türden olursa, bu felaketle noktalanır. Çünkü bakım onarım faaliyetlerinde kısıtlama söz konusu değildir. Uçuş emniyeti ve güvenliğini tehlikeye sokacak durumlarda kısıtlama yapılmaz. Bakım onarım faaliyetlerinde maliyetten kısılmaz çünkü bakım onarıma harcanan paralar kesinlikle lüks değildir. Bunlar zorunlu harcamalar olup uçuş operasyonlarının güvenli şekilde gerçekleşmesini ve yolcuların hayati risklerini ortadan kaldırmaya yöneliktir. Havacılık yasaları gereği belirlenen bakımların uluslararası standartlara uygun şekilde yapılmaması durumunda, havayolu şirketleri belki gelirlerini arttırabilir fakat bu artış o şirketlerin tarihe karışmalarına bile sebebiyet verebilecektir. Çünkü kazaya karışan

herhangi bir uçağından dolayı tazminata mahkûm edilen ve yaşanan müşteri kayıpları ile faaliyetlerine devam etmesi asla mümkün olmayacak ve şirketler bu şekilde iflas ederek havacılık sahnesinden silinip gideceklerdir (Ekin, 2020).

Ülkemiz, globalleşen dünyaya ve serbest piyasa ekonomisinin dinamiklerine uyum sağlamaya başlayarak havacılık sektöründe büyük bir başarı elde etmiştir. Son yıllarda yapılan atılımlarla uçak bakım merkezleri teknik hizmet anlamında da pazarda önemli bir konuma ulaşmış ve havacılık endüstrisinin gelişimine katkı sağlamıştır. Bu gelişmeler, hava taşımacılığını her geçen gün büyüyen bir sektör haline getirmiştir. Havayolu şirketlerinin maliyetleri düşürme ve kar maksimizasyonu hedefleri, ucuz maliyetli taşıyıcılığın temellerinden biri olmuştur. Ülkemizdeki bakım merkezleri, düşük kişi-saat maliyeti ve kalifiye iş gücü sunarak, global ölçekte değerlendirildiğinde tercih edilir bir bakım merkezi haline gelmiştir. Bu nedenle, hem yerel havayollarının hem de yabancı tescilli uçakların bakımını üstlenerek ciddi bir pazar oluşumuna katkı sağlamıştır. Bu gelişmelerin içinde havayollarının ve uçak bakım merkezlerinin yedek parça satın alma süreçleri büyük önem taşımaktadır. Havayollarının rekabetçi hizmet sunabilmesi için uçakların her daim operasyona hazır olması gerekmektedir. Bu nedenle yedek parça temininde etkin ve verimli bir süreç yürütülmesi, sektörün büyümesi ve başarısı açısından kritik bir rol oynamaktadır (Dinçer & Ekin, 2017).

Ülkemizdeki yatırımcıların oluşturacağı Parça Tedarik Zinciri, yerli üretimi yapılan uçak yedek parçalarının global pazardaki satış ve pazarlama süreçlerini hızlandıracaktır. Türkiye, havacılık sektöründe tedarikçi alt yapısını başarılı bir şekilde oluşturarak ülkeye hizmet etme konusunda gerekli yeterliliğe sahiptir. Bu başarı, ülkemizin havacılık endüstrisindeki büyümesini desteklemekte ve küresel arenada güçlü bir oyuncu olarak konumlanmasını sağlamaktadır.

Havacılık sektöründe, "ikincil piyasa" (aftermarket) büyük öneme sahiptir ve ülkemiz için önemli bir kaynaktır. Bu piyasada kullanılan parçalar, uçakların gövde ömrü tamamlandıktan sonra ayrılan ve teardown işlemine tabi tutulan bileşenlerden oluşmaktadır. Bu parçalar daha sonra FAA veya EASA onaylı tamir atölyelerine gönderilerek, onarım ve yenileme işlemlerine tabi tutulurlar. Düşük maliyetli hava taşıyıcıları, genellikle ikincil piyasadaki kullanılmış ve tamir edilmiş parçalara yönelmektedirler. Bu tercihlerin ana sebepleri, maliyetin düşük olması ve ihtiyacın

hızlı ve uygun fiyatlı bir şekilde karşılanabilmesidir. Bu durumda, farklı iş modelleri ortaya çıkmaktadır ve ülkemizde uçak bakımı ve uçak parçalama işi yapan birçok firma bulunmaktadır. Tedarikçiler ve yerli üreticilerin uygun düzenlemeler yapıldığında, havacılık sektöründeki potansiyelimizi daha hızlı bir şekilde gerçekleştireceğimiz kesindir (Ekin, 2020).

Havacılık sektörü, hızla büyüyen projeler ve yatırımlar sayesinde genişlemiş ve mevcut havalimanlarının artık yetersiz kaldığı bir noktaya gelmiştir. Bu yetersizlik sadece yolcu trafiği açısından değil, aynı zamanda lojistik açıdan da son derece kritik bir durumdur. Yeni havalimanı projesinin hayata geçmesiyle birlikte, mevcut trafiğin çok üzerinde bir sirkülasyon beklenmektedir. Özellikle uçak parçalarının tedarik süreçlerinde, lojistiğin en hızlı ve etkin şekilde sağlanması en önemli etkenlerden biridir. Zaman dilimi bu noktada son derece önemli hale gelmektedir.

Havayollarının öncelikli konuları; zamanında kalkışlar ve bakım çıkışlarının tamamlanmasıdır. En önemli etken ise parça tedarikinin zamanında yapılmasıdır. Havayollarının bulundukları bölgeler bu açıdan büyük öneme sahiptir. Zaman farkları, parça tedarik sürecinde en önemli etkidir. Amerika ile bölgemiz arasındaki 9-11 saatlik zaman farkı, malzemenin teslim sürecinde lojistik ve finansal süreçlerden dolayı minimum 3 gün gecikmelere neden olmaktadır. Bu durum, bölgemizdeki havayolu operasyonlarında ciddi aksaklıklara yol açmaktadır. Gerekli düzenlemeler hayata geçtiğinde;

- 27,600 sivil uçağın operasyonda olması ve yıllık parça giderlerinin 150 milyar dolar olması, büyük bir pazar ve döviz girdisi potansiyeli sunmaktadır.
- Artan gelir vergisi hanesi, daha fazla yatırım ve ekonomik kaynakların oluşmasına katkı sağlayacaktır.
- Havacılıkta tüm alanları kapsayan bütünlük sağlanarak Türkiye, sektörel bir aktör olarak ön plana çıkacaktır.
- Türkiye'deki havayolları, dünya piyasasında zamandan ve nakliye maliyetlerinden tasarruf ederek en iyi servisi en iyi fiyata sunabilecek şekilde malzemelerini temin edecektir.

- Mevcut Bakım Onarım Merkezlerinin müşteri ve işleyişleri artacak, Turkish Technic gibi bakım onarım atölyeleri uluslararası alanda tanınacaktır.
- Havalimanı, bir 'Havacılık Bakım Onarım Tedarik Merkezi' haline gelerek bölgede ve dünyada büyük bir öneme sahip olacaktır.
- Politik sebeplerle malzeme sevkiyatının engellenmesi veya yavaşlatılması tehdit unsuru olmayacak; bölgede verilen hizmetlerin genişliği ve üretim merkezlerinin yatırımları bu olasılığı ortadan kaldıracaktır (Aksoy & Dursun, 2018).

İKİNCİ BÖLÜM

HAVACILIK BAKIM ONARIM SEKTÖRÜNDE YEDEK PARÇA ENVANTER YÖNETİMİ

Bu bölümde çalışmanın ana konusu olan tamir edilebilen uçak parçaları daha detaylı olarak ele alınacaktır. Havacılık Bakım/onarım sektöründe faaliyet gösteren firmalar uçak yedek parçalarının arızalanması durumunda operasyonun aksamaması için stoğa ihtiyaç duyarlar. Komponent envanterinin tutulması, talepte yaşanan dalgalanma ve ani taleplerin ortaya çıkması durumlarına hazırlıklı olmak son derece gereklidir. Yedek parça envanter yönetimi şirketlere büyük katma değer sağlamaktadır (Kasap, Biçer, & Özkaya, 2010) .

2.1 Yedek Parça Envanter Yönetimi

Şirketler müşterilerden gelebilecek olan talebi karşılamak amacıyla stoklarında hammadde ve mamul madde bulundururlar. Bakım/onarım sektöründe faaliyet gösteren firmalar da arıza anında operasyonda herhangi bir aksaklığın oluşmaması için envantere ihtiyaç duyarlar. Yedek parça envanteri tutmak, talepte oluşacak olan dalgalanmalara ve beklenmeyen durumlara karşı hazırlıklı olmak için zaruridir. Yedek parça envanteri kullanılmadığında ise işletme için herhangi bir katma değer yaratmamakla birlikte ilave bir maliyet ortaya koyduğundan dolayı envanterin yönetilmesi konusu çok önemle takip edilmesi gereken bir konudur (Kasap, Biçer, & Özkaya, 2010).

Envanter yönetiminde bir diğer konu, müşterilerin beklentilerini makul seviyede karşılamak, taleplere hızlı cevap vermek ve karşılaşılabilecek maliyetleri minimize etmektir (Aktürk, Özkale, Fıçalı, & Engin, 2005). Envanter yönetimi içerisinde yer alan envanter kontrolü kritik bir süreçtir. Envanter maliyetlerinin minimum seviyede olmasını sağlayan optimum yedek miktarını bulmak stok kontrolünde şirketlerin temel hedefidir. Bu durumda stok seviyesinin dengede tutulmasının dışında iki farklı durumla karşılaşılmaktadır. Bunlar, aşırı stok ve yetersiz stok durumlarıdır. Bunların meydana getirdiği avantaj ve dezavantajlar olabilir. Elde aşırı stok bulundurma'nın doğurduğu çeşitli dezavantajlar vardır. Bunlar; bozulma,

yıpranma, değer kaybı, depo kiralama maliyetleri olarak söylenebilir. Diğer bir yandan, elde yetersiz stok bulundurmak ise gelen taleplere zamanında cevap verilememesini veya taleplerin karşılanma oranlarında düşüşlerin meydana gelmesine sebebiyet verecektir. Sonuç olarak; Envanter yönetiminde dengeli bir stok seviyesine sahip olmak en önemli amaçtır. Bu nedenle havacılık bakım onarım sektöründe faaliyet gösteren firmalar yedek parça envanter yönetiminde, stok seviyelerini yönetirken dengeli olmak durumundadırlar.

Firmalar minimum maliyetle müşteri memnuniyetini sağlama isteğindedirler. Bunun gerçekleşmesi ise etkin bir envanter yönetiminin gerçekleşmesine bağlıdır. Envanter yönetiminde stok kontrolü yapılmasındaki amaç, doğru ürünü, doğru yer ve zamanda, gelen talep miktarı kadar hazır bulundurmaktır (Kasap, Biçer, & Özkaya, 2010). Envanter kontrolü, envanter yönetiminin ayrılmaz ve hayati bir parçasıdır. Envanter maliyetlerini minimize eden optimum yedek parça miktarını elde etmek stok kontrolünde temel amaçtır. Ama stok kontrolü önemli iken aynı zamanda müşteri memnuniyetinin de karşılanması da son derece önemlidir. Hangi sektör olursa olsun ki çalışma için sektörümüz havacılık sektörü olmak üzere; firmaların amacı, en düşük maliyetle müşteri memnuniyetini maksimum oranda sağlamaktır. Bu durumun gerçekleştirilebilmesi için envanterin rasyonel, etkin ve dengeli yönetilmesi gerekir. Envanter yönetiminde stok kontrolünün amacı, doğru ürünü, doğru yerde ve zamanda, talep edilen miktarda hazır bulundurmaktır (Genç, 2009). Havacılıkta bakım/onarım endüstrisinde, envanter yönetimi büyük bir öneme sahiptir. Çünkü, uçak yedek parçalarında meydana gelen arızalar uçakları seferden alıkoyup yerde bırakabilmekte, rötar yapmalarına sebebiyet verebilmektedir. Bu durumda maddi anlamda kayıplara ve manevi anlamda ise müşteri sadakatinde azalma ve prestij kaybına sebebiyet vermektedir. Havacılıkta, firmanın yedek parça stoğu doğru tekniklerle ele alınarak incelenmeli ve maliyet-hizmet seviyesi çatışmasını dengeleyecek bir envanter yönetim sistemi kurulmalıdır. Firma için oldukça önemli olan ve temelinde maliyet-hizmet seviyesi çatışmasını dengelemek olan bu envanter sisteminde meydana gelebilecek olan değişimler takip edilmeli ve gerekli düzeltmeler yapılmalıdır.

2.2. Uçak Parçalarının Çeşitleri

Yedek parçalar; arızalı olan parçanın tamiri veya onun yerine kullanılmak üzere envanterde bulundurulmuş malzemelerdir. Bu parçaların tedarik zincirindeki rolü büyüktür ve bilgi sistemleriyle takip edilmeleri, şirketlerin envanter yönetimi sürecinde problemlerle karşılaşmamaları için önemlidir. Komponent olarak adlandırılan yedek parçaların arıza sıklıkları birbirlerinden farklılık göstermektedir. Bir kısmının arıza sıklığı az iken bir kısmının ise arıza sıklığı çok olabilmektedir.

Yedek parçalar havacılıkta üç grupta incelenebilir. Bunlar:

1) Onarılabilen parçalar (repairable): Tamir edilmesi uygun ve mantıklı olan parçalardır. Yani bu parçaların tamir edilmesinin maliyeti yenilerinin satın alınması maliyetinden daha düşüktür. Bu tip komponentler defalarca onarılıp tamir bakım görerek uçuş operasyonlarında kullanılmaktadırlar. Bu belirtilen özellikleri nedeniyle onarılabilen yedek parçalar, firmalara diğer yedek parçalardan daha az maliyet yüklemekte, daha kolay ve hızlı değiştirilmektedirler (Kilpi, 2007). Onarılabilen uçak parçaları arasında motor, jeneratör, pompa, büyük aktüatör ve valfler bulunmaktadır.

2) Gözden çıkarılabilen parçalar (expendable): Bunlar, faydalı ömrünü tamamlayarak ıskartaya ayrılan komponentlerdir. Bu parçaların tamiri mümkün veya ekonomik değildir, bu nedenle hurdaya çıkarılırlar. Uçaklarda bulunan gözden çıkarılabilen komponentlere örnek olarak, hortumlar, bazı fren aksamaları ve şalterler verilebilir.

3) Sarf parçalar (consumable); belli bir aygıt takıldıktan sonra tekrar kullanımı mümkün olmayan ve arızalandığında hurdaya çıkarılan parçalardır. Bu parçaların değiştirilme oranları onarılabilen parçalardan daha yüksektir ve uygun fiyatlıdır. Uçaklarda bulunan sarf parçalarına örnek olarak; contalar ve mastikler verilebilir (Alfieri, 2014).

2.3. Onarılabilen Uçak Parçaları ve Bunların Çevrimi

Onarılabilen uçak parçaları olan komponentlerin envanter yönetimi açısından tamir-bakım çevrimlerinin iyi analiz edilmesi gerekir. Bu analizde dikkat edilmesi gereken öğeler aşağıda yer almaktadır. Bu öğeler:

1) Komponent havadayken (MTBF, MTBR, MTBUR), komponentin uçağa takılmasından arızadan dolayı sökölmesine kadar geçen süreyi ifade eder. MTBF (Arızalar Arasında Geçen Ortalama Süre), MTBR (Sökümler Arasında Geçen Ortalama Süre), MTBUR (Plansız Sökümler Arasında Geçen Ortalama Süre) gibi süreler, komponentin talep modelini belirlemek için kullanılır. Komponentlerin güvenilirliği ile envanter seviyesi arasında sıkı bir ilişki vardır; yüksek güvenilirliğe sahip parçalar daha az arızalanır ve bu da daha az yedek parça ihtiyacını beraberinde getirir.

2) Komponent tamir için beklerken: Komponentin uçaktan arızadan dolayı sökölldükten sonra tamir hizmet sağlayıcısına gönderilmesine kadar geçen süreyi ifade eder. Bu süreçte hareket eden envanteri takip açısından RFID etiketlerinin komponent üzerine yerleştirilmesiyle parçaların nerede ve hangi durumda olduğı daha iyi bilinecek ve bu da belirsizlikleri ortadan kaldıracaktır.

3) Tamirde (TAT): Atölyenin komponenti Tamir süresi, yedek parça envanter yönetiminin etkin bir şekilde yürütölmesi için önemlidir ve fiziksel olarak teslim alındığı, parçanın muayene edildiğı ve onarıldığı süreyi kapsar. Komponentlerin tamir sürelerini düşürmek için hizmet alınan firmalarla anlaşmalar yapılmalı ve endüstri standartlarına uygunluk sağlanmalıdır. Aynı zamanda, tamir bedellerinin düşük olması veya sabit bir ücret ödenmesi, rekabetçi koşullar altında firmanın başarısı için önemlidir. Bu adımlar, stok seviyelerini belirleyerek yedek parça envanter yönetimini daha verimli hale getirecektir (Dinçer & Ekin, 2017).

4) Kullanım için bekleme: Komponentin stokta talebini bekleyerek geçirdiğı süreyi ifade eder. Kullanılmayı bekleyen yedek parça sayısının doğru tespit edilip iyi değerlendirilmesi gerekir. Eğer stokta talep için bekleyen komponent miktarı fazla ise bu durum, rasyonel ve etkin bir stok yönetiminin olmadığını gösterecektir. Benzer şekilde eğer stokta talep için bekleyen komponent miktarı az ise bu durum da yine aynı durumu işaret edecektir. Envanter yönetimi sürecinin doğru ve etkin bir şekilde dengeli olarak yürütöllebilmesi için iyi bir depo lojistiğine dengeli bir stok miktarına ihtiyaç duyulmaktadır (Alfieri, 2014).

Havayolu taşımacılığında artan uçak sayısı ve müşteri taleplerinin zamanında karşılanma isteğı gibi nedenlerden dolayı havayolu işletmelerinin uçakları için ihtiyaç duyduğu yedek parça sayısını arttırmış ve yedek parça envanter yönetiminin havayolu

işletmeleri için hayati bir konu haline gelmesini sağlamıştır. Aynı zamanda havacılık sektöründe faaliyet gösteren havayolu işletmelerinin arıza yapan yedek parçaların hızlı bir şekilde tamirinin sağlanması için yedek parça bakım onarım firmalarına olan bağımlılıkları ortaya çıkmıştır. Globalleşmenin etkisiyle dünya üzerinde iletişimin, ticaret hacminin ve diğer tüm sektörlerin bağlantılı hale gelmesinde adeta dünyanın küçük bir kasabaya dönüşmesinde havacılık sektörünün büyük bir payı vardır. Tarihsel süreç içerisinde çeşitli ticari engeller kalktıķa havacılık sektörü gelişerek büyümüş ve bydķe dünya üzerinde her yeri birbirine yakın hale getirerek dolaşımı ve ulaşılabilirliğin artmasını sağlayarak hızlı sürede ulaşım ve taşıma imkanlarının ortaya çıkmasını sağlayarak başta sanayi, ticaret, endüstri ve turizm olmak üzere tüm sektörlerin gelişimini sağlamıştır (Açıkalin, 1999). Günümüzde tüm sektörlere en büyük desteği havacılık sektörü vermektedir. Havacılıkta retim ve operasyon denildiğinde; mühendislik hizmetleri, uçak bakımı, uçak yedek parça bakım ve onarım hizmetleri, uçuş operasyonları, yer hizmetleri ve ikram hizmetleri gibi alt fonksiyonlar ne çıkmaktadır. Bunlar içerisinde uçuş operasyonları ile yedek parça bakım onarım hizmetleri, işletmenin karlılığına en çok etki eden, üzülmesi ve yönetilmesi karmaşık ve zor faaliyetler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu faaliyetlerden yedek parça bakım onarım hizmeti şirketin bünyesinde olmayıp bakım onarım şirketi tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu doğrultuda yedek parça bakım onarım sürecine bağlı olan yedek parça envanter yönetiminde stok kontrolü ve envanterin denge düzeyinde tutulması çok önemli bir hedeftir. Gelişen ve değişen havacılık sektöründe, ekip planlamanın hem insan kaynakları hem de üretim fonksiyonu açısından ne kadar önemli olduğu göz önüne alındığında ortaya çıkmaktadır (Ekin, 2020).

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

DOĞRUSAL PROGRAMLAMA

3.1 Doğrusal Programlamanın Tanımı ve DP Kavramı

Doğrusal programlama (LP), matematiksel modelleme tekniklerinden biridir. DP, bir dizi doğrusal kısıt ve bir doğrusal hedef fonksiyonu içeren optimizasyon problemlerini çözer. Başka bir ifadeyle doğrusal kısıtları olan bir dizi değişkenle ilgili amaç fonksiyonunu optimize etmeye çalışır. Bir amacın belirli bir koşul veya kısıt altında gerçekleştirilmesi gerektiğinde kullanışlı bir yöntem olarak karşımıza çıkar. Bu problemler genel olarak, belirli bir amacı (en az maliyet, maksimum verimlilik veya maksimum kar stokları optimize etmek, üretim kapasitesini arttırmak, lojistik ağları optimize etmek vb.) gerçekleştirmek için birtakım kısıtlamalar altında kaynakların etkin kullanımı ile ilgilidir. Özellikle büyük ve karmaşık problemler için etkili bir çözüm sağlar. Doğrusal programlama birçok uygulama alanında kullanılır. Örneğin; stok yönetimi, üretim planlama, lojistik, finans gibi ve bu problemler genellikle özel algoritmalar ve matematiksel çözüm teknikleri kullanılarak çözülmektedir. Doğrusal programlama kavramı, bir dizi değişkenin doğrusal bir amaç fonksiyonuna katkısıyla sınırlanan doğrusal eşitsizlikleri veya doğrusal denklem sistemlerini çözmek için optimizasyon yöntemlerini kullanan matematiksel bir tekniğin ifadesidir. Doğrusal programlama, birçok değişkende doğrusal eşitlik ve eşitsizlik kısıtlamalarına tabi bir objektif fonksiyonun maksimizasyonu veya minimizasyonu ile ilgilenir. (Danzig & Thapa, 1997).

Doğrusal programlamada "doğrusal" kelimesi, çözülecek modeldeki tüm matematiksel fonksiyonların doğrusal olması gerektiğini ifade eder. "Programlama" kelimesi ise burada bilgisayar programlama değil, planlama anlamında kullanılır. Sonuç olarak doğrusal programlama, uygun alternatifler içerisinde belirlenmiş bir hedefe uyan optimal (en iyiye en yakın) çözümü bulacak aktivitelerin planlanmasını içermektedir (Özçiloğlu, 2009).

İşletmeler, bir ürünün ne zaman ve ne kadar üretileceğini belirlemek ve bunlardan yola çıkarak zaman, miktar ve ne talep edileceğini önceden planlamak

zorundadır. Bu planlama ile ancak devamlılığını sağlayabilir geleceğe dönük yatırımlar yapabilir ve daha düzenli sistematik ilerleyebilir. Plânlama, üretimin olmazsa olmazıdır ve gelecekteki belirsizlikler, plânlama fonksiyonunun etkin şekilde yerine getirilmesini güçleştirmektedir. Dolayısıyla, belirsizlikleri azaltmak için atılacak her adım, doğru kararlar alınması yönünde önemli bir katkı sağlayacaktır. Bu durumda işletmeler doğrusal programlama gibi, programlandırılmış modellerde kısıtlı kaynakların en etkili kullanılması bu program ile amaçlanmaktadır. DP, sınırlı kaynakların kullanımını en uygun yapmak için tasarlanmış bir matematiksel modellemedir (Taha, 2003). Doğrusal programlama problemleri, bir doğrusal amaç fonksiyonunun doğrusal eşitlik ve eşitsizlik kısıtlamaları ile optimizasyon yapılmasıdır. Doğrusal programlama uygulama imkânı bulunmaktadır. Değişik alanlarda birçok işletme doğrusal programlama modeli işletme sorunlarına çözüm önerisi getirmiştir. Doğrusal programlama, işletmecilik alanında geniş kapsamlı ve çeşitli sorunların çözümünü sağlamaktadır. Bu nedenle, ürünlerin üretim miktarlarının belirlenmesi, kapasitenin verimli kullanımı ve maksimum kar elde etme açısından doğrusal programlama büyük önem taşır (Gürdoğan, 1981).

3.2 Doğrusal Programlamanın Tarihsel Gelişimi

Doğrusal programlama, 1947 yılında George Dantzig tarafından geliştirilmiştir. Dantzig Amerika Birleşik Devletleri Ordusundaki çalışmaları sırasında askeri lojistik problemlerini çözmek için doğrusal programlamanın temelini attı. Daha sonra Dantzig'in bu çalışmaları doğrusal programlama uygulamalarının yaygınlaşması ve gelişmesiyle sonuçlandı.

DP, II. Dünya Savaşı sırasında, askeri lojistik problemleri çözmek için yaygın olarak kullanıldı. Savaş sonrasında ise işletme, ekonomi ve mühendislik alanlarında kullanılmaya başlandı. Doğrusal programlamanın geliştirilmesindeki önemli bir dönüm noktası, 1947'de ABD Princeton Üniversitesi'nden Dantzig ve John Von Neumann tarafından geliştirilen ikili açık kısıtlı türev yöntemini içeriyordu. Bu yöntem, doğrusal programlama problemlerinin çözümünde büyük yeniliklere yol açmış ve daha sonra kullanılan birçok optimizasyon yönteminin temelini oluşturmuştur. Daha sonraki yıllarda, doğrusal programlamanın uygulama alanları genişledi ve birçok farklı sektörde kullanılmaya başlandı. Doğrusal programlamanın gelişimi, özel algoritmalar

ve matematiksel tekniklerin geliştirilmesiyle birlikte devam etti. Özellikle, 1980'lerde geliştirilen iç doğrusal programlama, LP'nin daha da yaygınlaşmasına ve karmaşık problemlerin çözülmesine olanak tanımıştır.

Bilgisayar ve yazılım kullanma ihtiyacı nedeniyle hızlı büyüme de kaçınılmaz hale geldi. Doğrusal programlamaya dayalı olarak, JV Neumann dualite teorisini geliştirdi. Neumann, Kantorovich, Dantzig, Leontief ve Koopmans, matematik ve ekonomide doğrusal programlama teknikleri üzerine yaptıkları çalışmalardan dolayı çeşitli yıllarda Nobel Ödülleri aldılar (Dantzig & Thapa, 1997). Doğrusal programlama adı, 1948'de, Koopmans'ın Dantzig ile bir seminer gezisinden önceki bir derste "Programming in a Linear Structure" başlığını kısaltmasıyla ortaya çıktı (Dantzig, 2002). Sonuç olarak; doğrusal programlamanın tarihsel gelişimi; matematik, bilgisayar bilimi ve endüstri mühendisliği gibi farklı alanlardaki yeniliklerin birleşimi ile gerçekleşmiştir.

3.3. Doğrusal Programlamanın Kullanım Alanları

Doğrusal programlama (LP), birçok farklı uygulama alanında kullanılan bir optimizasyon yöntemidir. Bazı kullanım alanları şunlardır: İşletme yönetimi, mühendislik, finans, enerji, sağlık hizmetleri, ulaşım ve lojistik.

İşletme yönetiminde doğrusal programlama üretim planlaması, envanter yönetimi, lojistik ve dağıtım, maliyet analizi, pazarlama ve reklam stratejileri gibi işletme yönetimi alanlarında kullanılır. Mühendislikte doğrusal programlama, mühendislik tasarımı, üretim süreçleri ve hammadde kullanımı optimizasyonu, proje yönetimi ve zamanlama gibi mühendislik alanlarında kullanılır.

Finansta doğrusal programlama, finansal risk yönetimi, portföy yönetimi, yatırım kararları ve tahminleri, maliyet analizi ve kârı maksimize etme gibi finansal kararlar almak için kullanılır.

Sağlık hizmetlerinde doğrusal programlama, hastane kaynak yönetimi, hasta sıralama, ambulans rotalama ve tıbbi personel atama gibi sağlık hizmetleri alanında kullanılır.

Ulaşım ve lojistikte doğrusal programlama nakliye rotaları, nakliye maliyetleri, stok seviyeleri, tedarik zinciri yönetimi ve lojistik ağ tasarımı gibi alanlarda kullanılır.

Enerjide doğrusal programlama, enerji üretim planlaması, dağıtım, tüketim ve maliyet optimizasyonu, çevresel etkileri azaltma gibi enerji sektöründe kullanılır.

Birçok farklı alan ve sektörde kullanıldığı için, birçok farklı problem ve senaryo için özelleştirilmiş çözümler sunar. Doğrusal programlama, büyük ve karmaşık problemleri optimize etmek için etkili bir yöntemdir.

Doğrusal programlamanın uygulama alanı; belirli bir zaman diliminde kullanılabilir. Sınırlı makine, ekipman ve işçilik ile maksimum karlılığı sağlayan ürün karmasını bulmak, farklı fiyat ve yapıdaki malzemeleri ürün haline getirmek için en iyi kombinasyonu bulmak, beklenen talebi en düşük maliyetle karşılama kapasitesini planlamak örnek olarak verilebilir (Taha, 2007). DP modelinin uygulama alanları ise; Ulaştırma problemleri, Portföy yönetimi problemleri, Makine-işgücü atama problemleri, Beslenme problemleri, Üretim stok kontrol problemleri, İşletmelerde görev planlaması problemleri, Dual modellerin ekonomik yorumu problemleri vb dir. Doğrusal Programlamanın uygulanabilme şartları ise;

Karar problemlerinin çözümünde DP modelinin uygulanabilmesi için gerekli olan bazı temel şartlar şunlardır (Doğan, 1995):

- Amaç fonksiyonu ve kısıtların doğru bir şekilde tanımlanması önemlidir.
- Hareket biçimlerinin seçilmesi gerekmektedir.
- Değişkenler arasında ilişkilerin bulunması önemlidir.
- Kullanılacak kaynakların sınırlı olması gereklidir.
- Değişkenler arasındaki bağlantıların doğrusal olması gerekmektedir.
- Uygulanacak doğrusal programlama problemleri kısa dönemli işletme problemleri olmalıdır.

3.4. Doğrusal Programlamanın Amaçları

Doğrusal programlama, birçok farklı amaç için kullanılabilir. Bazı temel amaçları şunlardır:

Kaynakların etkin kullanımı: kaynakların (malzeme, işgücü, makine vb.) en iyi şekilde kullanımını sağlar, bir işletmenin üretim faaliyetlerinin planlanması, envanter yönetimi ve tedarik zinciri yönetimi gibi alanlarda kaynak kullanımını optimize eder.

Maliyet azaltma: işletmelerin maliyetlerini azaltmalarına yardımcı olur. Üretim maliyetlerini azaltmak, envanter maliyetlerini minimize etmek veya lojistik maliyetlerini azaltmak gibi farklı amaçlar için kullanılabilir.

Performansın artırılması: işletmelerin performansını artırmalarına yardımcı olur. İşletmenin üretim kapasitesini artırabilir, satış hacmini artırabilir veya karlılığı artırabilir.

Risk yönetimi: risk yönetimi için kullanılabilir. Örneğin, bir işletme, arz talep dalgalanmaları gibi belirsizlik faktörleri ile karşı karşıya kaldığında, en uygun stratejileri belirleyerek riski en aza indirger.

Karar destek: işletme yöneticilerine karar verme sürecinde yardımcı olur. Farklı senaryolar için çözümler sunarak, işletmelerin en iyi kararları vermelerine yardımcı olur. Bu amaçların yanı sıra da birçok farklı alanda kullanılabilir ve geniş bir uygulama alanına sahiptir.

3.5. Doğrusal Programlama Avantajları ve Dezavantajları

Doğrusal programlama birçok farklı avantajı beraberinde getirir. Bazı temel avantajları verimli kaynak kullanımına yardımcı olması, esnek olması, optimum çözümler üretmesi olarak sıralanabilir.

DP, kaynakların (malzeme, işgücü, makine vb.) en iyi şekilde kullanılmasını sağlar. Bu sayede işletmeler, kaynak kullanımında verimlilik artışı sağlayarak, işletme maliyetlerini düşürebilirler. Farklı senaryolara ve değişkenlere uyum sağlayabilme yeteneği ile esnek bir çözüm sunar. Bu, işletmelerin farklı ihtiyaçlara ve gereksinimlere göre çözümler üretmelerine olanak verir. En uygun ve optimum çözümleri sunar. Bu sayede işletmeler, üretim planlaması, envanter yönetimi, tedarik zinciri yönetimi gibi alanlarda en iyi stratejileri belirleyerek, daha verimli bir şekilde çalışabilirler. İşletme yöneticilerine karar verme sürecinde yardımcı olur. DP, farklı senaryolar için çözümler sunarak, işletmelerin en iyi kararları vermelerine yardımcı olur. Birden fazla amaç fonksiyonu için kullanılabilir. Bu sayede, işletmeler, farklı amaçlara yönelik çözümler üretebilirler. Matematiksel ve hesaplamalı bir yaklaşım kullandığından, doğru ve güvenilir sonuçlar sunar. Bu da işletmelerin stratejik kararlar alırken güvenilir veriler kullanmalarına yardımcı olur.

DP, birçok avantajının yanı sıra bazı dezavantajlara da sahiptir. Bazı temel dezavantajları şunlardır: modellemesinin zor olması, girdilerdeki belirsizlik.

DP, karmaşık modellerin kurulmasını gerektirir. Bu, modellerin kurulmasının zorluğu nedeniyle modelin uygulanması ve işletme yöneticileri tarafından anlaşılması zaman alıcı ve zor olabilir. Değişkenlerin ve kısıtlamaların esnekliğine bağlı olarak duyarlılıklarını analiz etmek için kullanılabilir. Ancak, bu analizlerin doğru yapılması zor olabilir ve hatalı sonuçlar verilebilir. DP modellerinin doğru sonuçlar vermesi için girdi verilerinin doğru olması gerekmektedir. Ancak, bazı durumlarda girdi verilerinde belirsizlik olabilir ve bu durum model sonuçlarının doğruluğunu etkileyebilir. Genellikle gerçek işletme senaryolarına tam olarak uymaz. Bu nedenle DP çözümlerinin işletme gerçeklerine uygun şekilde uyarlanması gerekebilir. Doğrusal programlama çözümlerinin hesaplanması genellikle bilgisayar tabanlı yöntemlerle yapılır. Hesaplama maliyetlerinin artması ve büyük veri setleri için uzun süreler gerektirme söz konusu olur. Bu dezavantajlara rağmen DP birçok farklı alanda kullanılabilir ve birçok işletme yöneticisi tarafından etkili bir çözüm olarak kabul edilir.

3.6. Doğrusal Programlamanın Çözüm Yöntemleri

DP, özellikle büyük veri setleri ve karmaşık sistemlerle uğraşırken karşılaşılan optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılan bir matematiksel modelleme aracıdır. Bu problemler genellikle doğru bir çözümü olan bir amaç fonksiyonunun çeşitli kısıtlamalarla birlikte maksimum veya minimum değerini bulmayı amaçlar.

Doğrusal programlama problemleri, çeşitli yöntemlerle çözülebilir. Bunlar şunlardır:

Grafik yöntem: Grafik yöntemi, doğrusal programlama problemlerinin en basit çözüm yöntemidir ve iki değişkenli problemlerde kullanılabilir. Problemin çözümü için iki değişkenin grafiksel olarak çizilmesi ve doğru noktanın bulunması gerekir.

Simpleks yöntem: Doğrusal programlama problemlerinin çözümünde en sık kullanılan yöntemdir. Bu yöntem, verilen doğrusal programlama probleminin maksimum veya minimum değerini bulmak için lineer denklem sistemlerinin çözümünde kullanılan bir algoritmadır.

Dualite yöntemi: Doğrusal programlama problemlerinin çözümünde kullanılan bir yöntemdir ve bazı problemlerde daha iyi sonuçlar verir. Bu yöntem, bir doğrusal programlama probleminin ikinci bir doğrusal programlama problemini kullanarak çözülmesini içerir.

İç nokta yöntemi: Doğrusal programlama problemlerinin çözümünde son zamanlarda yaygın bir şekilde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, çözüm alanını daraltarak ve karşılaştırma sayısını azaltarak doğru çözüme daha hızlı ulaşmayı amaçlar.

3.6.1. Grafik Yöntem

Doğrusal programlama problemlerinin çözümünde grafik yöntemi en basit yöntemlerden biridir ve özellikle iki değişkenli LP problemlerinde kullanılabilir. Grafik yöntemi, amaç fonksiyonu ve kısıtlamaları görselleştirme esasına dayanır.

İki değişkenli bir doğrusal programlama probleminin çözümünde, ilk olarak amaç fonksiyonu ve kısıtlamaların doğrusal denklemleri çizilir. Bu doğruların kesiştiği nokta, amaç fonksiyonunun maksimum veya minimum olduğu noktadır. Eğer kısıtlamalar doğruları negatif yarı düzlemde kalıyorsa, doğrusal programlama probleminin çözüm kümesi sınırlıdır. Eğer kısıtlamalar doğruları pozitif yarı düzlemde kalıyorsa, çözüm kümesi sonsuzdur.

Grafik yöntemi, iki değişkenli LP problemlerinin çözümü için oldukça basit ve kullanışlı bir yöntemdir. Ancak, LP problemlerinin boyutu arttıkça grafik yöntemi kullanışsız hale gelir ve daha karmaşık çözüm yöntemleri kullanılması gerekir (Can, 2015).

3.6.2. Simpleks Yöntem

Simpleks yöntemi, doğrusal programlama problemlerinin çözümü için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, doğrusal programlama probleminin varsayılan çözüm noktasından başlayarak, amaç fonksiyonunu optimize eden çözüm noktasını bulmak için yinelemeli bir işlem kullanır.

Simpleks algoritması, grafik çözümünden elde edilen uygun bölgenin köşelerini sistematik olarak inceler ve cebirsel tekrar yoluyla amaç fonksiyonunu istenen bölgedeki değerine yaklaştırır (Dinçer H. , 2014). Doğrusal programlama

problemlerinde değişken sayısı arttıkça çözüm bulmak zorlaşabilmektedir. Simpleks algoritması, optimum çözüme kademeli olarak yaklaşır ve grafik olarak belirlenen uç noktaları arayarak onu bulmaya çalışır (Dal, 2011). Simpleks yöntemi, ardışık işlemler yoluyla eşişsizlikler sistemine bir çözüm kümesi bulma ve bu çözüm kümesindeki olası her durumun olasılığını kontrol etme işlemidir (Aytekin, 1996). Modeli standardize etmek, yani eşişsizlikleri gerekli değişkenlerle eşiş hale getirmek gerekmektedir.

Amaç fonksiyonu, minimizasyon veya maksimizasyon olarak belirtilmeli ve eşişsizliklerin sağ tarafları negatif olmayacak şekilde eşişliklere dönüştürülmelidir. Aylak değişkenlerin standart hale getirilmesi modelde $\leq$ olarak belirtilen eşişsizliklere eklenmesi ile olur. Bu değişkenler, kullanılmayan kaynakları ifade ederler. Eğer eşişliğin sağ tarafında yer alırlarsa, kaynağa ait kısımları; sol tarafında yer alırlarsa ise kaynağın modelde bulunan farklı değişkenlerde kullanıldığını gösterirler. Artık değişkenlerin standart hale getirilmesi ise modelde $\geq$ olarak belirtilen eşişsizliklerden çıkartılarak olur. Bu değişkenlerde fazla kaynakları ifade ederler (Aytekin, 1996).

Simpleks yöntemi, doğrusal programlama probleminin çözüm noktasını sınırlı sayıda adımda bulabilir ve çözümün doğruluğu garanti edilir. Ancak, bu yöntem büyük boyutlu LP problemlerinde yavaş ve hesaplama açısından yoğun olabilir. Bu nedenle, büyük boyutlu doğrusal programlama problemleri için daha hızlı ve verimli yöntemler tercih edilir.

3.6.3. Dualite Yöntemi

Doğrusal programlamanın dualite yöntemi, modelin çifti olan ikinci bir model oluşturur. Bu ikinci model, orijinal modelin kısıtlamalarına dayalı olarak oluşturulur ve ana modelin çözümünü optimize etmek için yardımcı bir model görevi görür. DP modellerinde, amaç fonksiyonu ve kısıtlamalar genellikle maksimize edilir veya minimize edilir.

Dualite yöntemi, her kısıtlamanın "ikili" adı verilen eşişdeğer bir terime sahip olduğunu ve bu ikililerin ikinci bir model oluşturduğunu belirtir. Yöntem önce her kısıtlamanın ikilisini alır ve yeni bir amaç fonksiyonu oluşturur. İkinci modelde ise yeni amaç fonksiyonu maksimize veya minimize edilerek orijinal modelden farklı bir çözüm elde edilmektedir. Orijinal modelin optimal çözümü, ikincil modelin optimal çözümüne karşılık gelir. Dualite yöntemi, doğrusal programlama problemlerini daha

kolay ve anlaşılır hale getirmek için tercih edilir. Özellikle, orijinal modelin kısıtlamaları çok fazlaysa ve modeli optimize etmek zorlaşıyorsa, dualite yöntemi daha hızlı bir çözüm sağlayabilir (Can, 2015).

3.6.4. İç Nokta Yöntemi

Doğrusal programlama problemlerini çözmek için kullanılan bir diğer yöntem ise iç nokta yöntemidir. İç nokta algoritması, yöneylem araştırmasında önemli teorik ve pratik öneme sahiptir. İç nokta algoritması, yöneylem araştırmasında ortaya çıkan araştırma alanlarından biridir. Araştırmacılar iç nokta algoritmalarını doğrusal olmayan programlamaya, ikinci dereceden programlamaya ve yarı kesin programlamaya uygulama eğilimindedir (Nash & Sofer, 1996).

Bu yöntem, lineer olmayan problemlerin çözümü için geliştirilmiştir ancak sonrasında doğrusal programlama problemlerinde de uygulanabilir hale getirilmiştir.

İç nokta yöntemi, öncelikle problemi uygun bir şekilde dönüştürerek iç nokta yaklaşımına uygun hale getirir. Daha sonra, tekrarlı bir yöntem kullanarak çözüme doğru yaklaşır. Bu yöntemde, iterasyonların her birinde, mevcut çözümün bir "iç noktası" bulunur ve bu noktanın etrafındaki bölgede yeni bir çözüm aranır.

Bu yöntem, diğer doğrusal programlama yöntemlerine göre daha yavaş olabilir ancak daha doğru sonuçlar sağlar. Ayrıca, özellikle büyük ölçekli problemler için daha uygun olan bir yöntemdir. İç nokta yöntemi, özellikle karmaşık kısıtlamaları olan doğrusal programlama problemlerini çözmek için kullanışlıdır. Ancak, yöntemin diğer doğrusal programlama yöntemlerine göre daha yavaş olması dezavantajıdır ve küçük ölçekli problemler için genellikle tercih edilmez. Bu çözüm yöntemlerinin her biri DP probleminin karmaşıklığına ve boyutuna göre farklı avantajlara sahiptir. Hangi yöntemin kullanılacağı, doğrusal programlama probleminin büyüklüğü ve özelliklerine bağlı olarak değişebilir.

3.7. Doğrusal Programlamanın Çözüm Halleri

Doğrusal programlamada problemlerin çözümü genellikle iki aşamalı bir süreçten oluşur. İlk olarak model standart hale getirilir ve çözüm yapılır.

DP probleminin standardizasyonu, amaç fonksiyonunun maksimize edilmesiyle ilgili olduğu varsayımına dayanır. Bu varsayım, minimizasyon amacı için

de geçerlidir, çünkü minimizasyon problemleri, maksimizasyon problemlerine dönüştürülebilir. Doğrusal programlama problemlerinin standardizasyonu, amaç fonksiyonu ve kısıtlamaların belirli bir formatta ifade edilmesini içerir. Bu format, amaç fonksiyonunun ve kısıtlamaların sadece değişkenlerle doğrusal bir ilişkiye sahip olduğu bir formattır. Doğrusal programlama probleminin standardizasyonu tamamlandıktan sonra, çözüm yöntemi uygulanır. Simpleks yöntemi, dualite yöntemi, iç nokta yöntemi ve kesin yöntemler gibi farklı çözüm yöntemleri modelin karmaşıklığı dikkate alarak seçilip, kullanılabilir.

DP problemine ilişkin yaygınca kullanılan tanımlamalar şunlardır (Öztürk, 2003):

Uygun Bölge, işaret kısıtlaması da dahil tüm kısıtlayıcılara karşılık gelen karar değişkenlerinin değer kümesidir. Tüm uygun çözümler bu kümenin elemanıdır.

Köşe Noktaları, uygun bölgenin yapısından kaynaklı uygun olan noktalar. Doğrusal programlamada önemli bir yere sahiptirler.

Uygun çözüm, karar değişkenleri değerlerinin bir özel kümesinin, tüm kısıtlayıcıları karşılayan çözümüne denir. Uygun çözüm tek bir noktaya da karşılık gelebilir, bu noktanın köşe noktası veya iç noktasına da karşılık gelebilir.

Optimal çözüm, hedef fonksiyonunu maksimum ya da minimum kılan uygun çözüme denir. Doğrusal programlamanın çözümünde birden çok çözüm önerisi geliştirilir fakat bunlardan en iyi olanı optimal çözümdür.

Köşe nokta uygun çözüm, eğer çözüm uygun alanın köşesinde bir noktaya denk geliyorsa bu çözüme köşe nokta uygun çözüm denir.

Temel çözüm, ekli köşe nokta çözümüdür. Ek olarak adlandırılan yapı simpleks algoritmasında olduğu gibi cebirsel ifadeler eklenerek ya da çıkarılarak oluşturulan yapıdır. Amaç fonksiyonu ve negatif olmama dışında, problem m sayıda sınırlayıcı ve n değişkenli ise tek bir temel çözümüdür.

Bozulan çözüm, eğer temel değişkenlerde bir veya birkaç değişken sıfır değerini alıyorsa oluşur. Temel olmayan değişkenlerin çözüm değerleri sıfırdır. Temel çözümü bir veya daha fazla çözümü sıfırsa burada bozulan çözüm vardır. Sonuç olarak temel olmayan değişkenlerde sıfır değerinin gözlenmesi bu çözümün bozulan çözüm olduğu anlamına gelmez.

Doğrusal programlama problemlerinin çözüm halleri, optimum çözüm, sınırsız çözüm ve çözüm yok halleridir.

Optimum çözüm, amaç fonksiyonunun maksimum veya minimum olduğu noktadır.

Sınırsız çözüm, çözüm kümesinin sınırsız olduğu durumlarda oluşur.

Çözüm yok hali, kısıtlamaların çelişkili olduğu veya çözüm kümesinin boş olduğu durumlarda oluşur.

3.7.1. Doğrusal Programlamada Kullanılan Temel Kavramlar

Matematiksel Model: İşletmenin kullandığı elemanları simgeler ile belirleyip bunlar arasındaki ilişkiyi fonksiyon olarak göstermek için kullanılmaktadır. Doğrusal programlamada kullanılan temel kavramla aşağıda yer verilmiştir (Esin & Şahin, 2012)

Karar Modeli: Sistemin şirket yöneticinin kararına bağlı olup, hangi değer verilmesini belirlemek amacıyla kullanılan matematiksel modellere karar modeli denmektedir.

Parametre: Sistemin davranışını etkilediği halde şirket yöneticisinin kontrolü dışında gelişen değerlerdir. Aynı zamanda sistemin davranışını etkileyen sabit katsayılarıdır.

Kısıt: Programlama modelinde karar değişkenleri ile parametreler arasında ki her bir ilişkiye kısıt denir. Kısıtları oluştururken kullanılan ham madde ya da faktörlerdir.

Amaç Fonksiyonu: Karar değişkenlerinden ve bu değişkenlerin parametrelerinden elde edilen sonuçlarda en iyi çözümün hangisi olduğunu bulmak için kullanılan fonksiyondur.

Sağ Taraf Sabitleri: Mevcut kaynak miktarını gösteren, problemin kısıtlarının sağ tarafına ait sayılardır.

Değişkenler: Bir problemin matematiksel modeli kurulduktan sonra değeri hesaplanacak bilinmeyen değişkenlerdir.

1. Karar değişkenleri, karar modelinin çözümlenmesi sürecinde hesaplanacak olan faktörleri ifade eder.

2. Sapma Değişkenleri: Kullanılan hammadde ve kullanım kapasitesi ile arasındaki dengeyi kurmayı çalışırlar.

Sapma değişkenler ikiye ayrılır bunlar;

a. Gölge Değişkenler: Atıl kapasiteyi belirtmek için kullanılırlar. “ $\leq$ ” şeklindeki bir kısıt denklemini (=) şeklinde ifade etmek için denkleme eklemiş olduğumuz değişkenlerdir. Denklem üzerinde ‘S’ olarak ifade edilir.

b. Artık Değişkenler: Fazla kapasiteyi belirtmek için kullanılırlar. “ $\geq$ ” şeklindeki bir kısıt denklemini (=) şeklinde ifade etmek için denkleme eklemiş olduğumuz değişkenlerdir. Denklem üzerinde ‘E’ olarak ifade edilir.

3. Yapay değişkenler: Simplex yönteminde başlangıç tablosunu oluştururken birim matrisi kurmak için kullanılan değişkenlerdir ve “ $\geq$ ” şeklinde kısıt denklemlerine eklenir (Can, 2015).

3.8. Doğrusal Programlama Modelini Oluşturan Elemanlar

DP modelini oluşturan temel elemanlar; karar değişkenleri, amaç fonksiyonu ve kısıtlardır.

Karar değişkenleri, problemi çözenin kontrolünde en iyi değeri bulmak istenilen, negatif olmayan niceliksel değerler alan değişkenlerdir.

Kısıt fonksiyonları, eşitlik veya eşitsizlik biçimlerinde olabilir ve problemin en iyi değerini bulmak için dikkate alınan koşulları ifade eder.

Amaç fonksiyonu, problem için en iyi çözüm değerine ulaşmayı sağlayan fonksiyondur. DP modellerinde, amaç fonksiyonu ve kısıt fonksiyonları doğrusal fonksiyonlar biçiminde tanımlanmalıdır. Eğer bu fonksiyonlardan herhangi biri doğrusal değilse, doğrusal programlama probleminden söz edilemez (DP'ye Giriş, 2023).

3.8.1 Karar Değişkenleri

Problemdeki kararların alınması gereken değişkenlerdir. Karar değişkenleri, bir modelin temel bileşenlerinden biridir. Karar değişkenleri belirlenirken olası çözümleri kapsayan bir değer aralığı tanımlanır. Genellikle, bu aralık bir alt sınır ve bir üst sınır olarak belirlenir. Karar değişkenleri, genellikle x, y, z gibi harflerle gösterilir. Bu değişkenler, problemin çözülmesinde optimize edilmesi gereken amaç

fonksiyonu ve kısıtlarla birlikte kullanılır. Karar değişkenleri, problemin özelliklerine bağlı olarak değişebilir. Örneğin, bir üretim planlama problemi ele alalım. Burada, karar değişkenleri üretilmesi gereken ürün miktarları, sipariş miktarı olabilir (Esin & Şahin, 2012).

3.8.2 Amaç Fonksiyonu

Karar değişkenlerinin en iyi değerlerini bulmak için optimize edilen fonksiyon amaç fonksiyonudur. Bu fonksiyon, maksimize edilmesi veya minimize edilmesi gereken bir hedefi ifade edebilir. Amaç fonksiyonu, para malzeme gibi belirli bir kaynağın en verimli şekilde kullanılması için oluşturulan matematiksel modelin bir fonksiyonudur. Bir amaç fonksiyonu genellikle bir şirketin karını artırmak, üretim maliyetlerini azaltmak veya bir projenin süresini en aza indirmek gibi belirli bir hedefi ifade eder. Amaç fonksiyonu, özellikle DP problemlerinde doğrusal bir fonksiyon olarak ifade edilir. Fonksiyon, değişken katsayıların ve sabit terimlerin toplamından oluşur. Amaç fonksiyonu belirli bir değeri optimize etmeye çalışsa da, belirli kısıtlamalar altında kalmalıdır. Bu kısıtlamalar doğrusal eşitsizlikler veya doğrusal denklemler olarak ifade edilebilir (Öztürk, 2003).

3.8.3 Kısıtlar

Kısıtlar, karar değişkenleri üzerindeki sınırlamalardır. Kısıtlar, birçok faktöre bağlı olarak belirlenir. Örneğin, kaynak sınırlamaları, üretilebilecek kapasite, maliyet kısıtlamaları gibi. Kısıtlar, bir problemin doğru şekilde modellenmesinde kritik bir role sahiptir. Genellikle doğrusal eşitsizlikler veya doğrusal denklemler olarak ifade edilir. Doğrusal eşitsizlikler, bir değişkenin bir sabite eşit olması veya bir sabitten büyük ya da küçük olması şeklinde olabilir. Doğrusal denklemler, sabit değerlere eşit değişkenler olarak ifade edilir. Her kısıt, sorunu etkileyen belirli bir kısıtlamayı veya durumu temsil eder. Bu problemlerde, kısıtların sayısı ve karmaşıklığı, problemi çözmek için gereken zaman ve kaynakları etkiler. Bu nedenle, problemleri uygun sayıda ve türde kısıtlamalarla modellemek ve optimize etmek önemlidir. Kısıtlar, problemin doğru bir şekilde modellenmesinde kilit bir rol oynar çünkü amaç fonksiyonu bu kısıtlamalara uymak zorundadır. Problemi modellemek için doğru

kısıtların kullanılması, problemi çözmek için gerekli olan kaynakları optimize etmeye yardımcı olur (Hacısalıhoğlu & Diğerleri, 1992).

3.9 Doğrusal Programlama Modelleri

Doğrusal programlama modelleri, problemin niteliğine ve karmaşıklığına bağlı olarak farklı şekillerde oluşturulabilir. Modeller, işletmelerin karar alma sürecinde önemli bir rol oynar ve doğru bir şekilde uygulandığında maliyetleri azaltabilir, karları artırabilir ve kaynakların daha verimli bir şekilde kullanılmasını sağlayabilir. Bazı yaygın doğrusal programlama modelleri olarak şunları sıralayabiliriz;

Üretim planlama modeli, üretim sürecinin planlanması için kullanılır. Üretim miktarı, maliyet, kapasite ve stok düzeyleri gibi faktörlerin yanı sıra tedarik zinciri gibi faktörler de dahil edilebilir. İşletme planlama modeli, İşletmelerin işgücü, makine gibi kaynakları optimum bir şekilde kullanmalarına yardımcı olmak için kullanılır. Model, işletme kararlarını planlamak, bütçeleme yapmak ve bu bütçeyi kontrol etmek için kullanılır. Taşımacılık modeli, nakliye maliyetlerini minimuma indirmek için kullanılır. Bu modelde, nakliye kaynakları, nakliye hedefleri ve diğer faktörler dikkate alınır. Yatırım modeli, yatırım yapacak kişilerin risk ve getiri beklentilerine uygun bir zemin oluşturmalarına yardımcı olmak için kullanılır. Bu model, yatırım getirilerini maksimize etmek için yatırım miktarlarını belirler. Personel planlama modeli, işletmelerin işgücü ihtiyacını planlamalarına yardımcı olmak için kullanılır. Bu model, işe alım ve eğitim maliyetlerini minimuma indirmek için personel ihtiyacını hesaplar.

Bu örnekler, DP modelinin farklı uygulama alanlarında nasıl kullanılabileceğini göstermektedir. Bu problemlerin her biri matematiksel olarak belirlenmiş amaç fonksiyonları ve kısıtlamalar ile doğrusal programlama modeli olarak ifade edilebilir (Sipahioğlu, 2020).

3.10 Doğrusal Programlama Aşamaları

DP, bir problemi matematiksel olarak ifade edip, amaç fonksiyonu ve kısıtlamaları kullanarak en uygun çözümü bulmaya yönelik bir yöntem olup bu problemlerin çözümü için genellikle şu aşamalar izlenir:

1. Sorunun tanımı: Problemin ne olduğunu ve ne çözmek istendiğini belirlemek gerekir.

2. Değişkenlerin belirlenmesi: Problemin çözümüne yönelik değişkenlerin tanımlanması gerekir.
3. Amaç fonksiyonunun belirlenmesi: Problemin çözümünde maksimize veya minimize edilmesi gereken hedefin ifade edildiği amaç fonksiyonu belirlenir.
4. Kısıtların tanımlanması: Problemi etkileyen kısıtlar, sınırlamalar, koşullar belirlenir.
5. Modelin oluşturulması: Değişkenler, amaç fonksiyonu ve kısıtlar bir araya getirilerek matematiksel bir model oluşturulur.
6. Çözüm yönteminin belirlenmesi: Oluşturulan modelin hangi yöntemle çözüleceği belirlenir. Bu aşamada, model boyutu ve yapısı dikkate alınarak, problem için en uygun optimizasyon yöntemi belirlenir.
7. Modelin çözümü: Belirlenen çözüm yöntemi ile oluşturulan modelin çözümü yapılır. Bu aşamada, modeldeki değişkenlerin ve amaç fonksiyonunun değerleri belirlenir.
8. Sonuçların yorumlanması: Problemin çözümü sonucunda elde edilen sonuçların yorumlanması yapılır. Modeldeki değişkenlerin ve amaç fonksiyonunun değerleri dikkate alınarak, problemin çözümüyle ilgili kararlar verilir.
9. Duyarlılık analizi: Değişkenlerde veya kısıtlarda meydana gelen değişimlerin sonuçlar üzerindeki etkilerinin analizi yapılır (Esin & Şahin, 2012).

3.11 Doğrusal Programlama Varsayımları

Doğrusal programlamanın altı temel varsayımı şunlardır: belirlilik (certainty), doğrusallık (linearity), bölünebilirlik (divisibility), toplanabilirlik (additivity), orantısallık (proportionality), ve negatif olmama (non-negativity).

Belirlilik Varsayımı: doğrusal programlama modelindeki parametrelerin bilindiği ve değişmediği varsayılır. Yani, birim başına kâr veya maliyet, her faaliyet için gereken kaynak miktarı ve mevcut kaynak miktarının sabit olduğu varsayılır. Bu varsayımı kabul ederek, doğrusal programlama probleminin çözümü kolaylaşır. Ancak bu parametrelerin pratikte sıklıkla değişme eğiliminde olması doğrusal programlamanın kullanışlılığını azaltmaktadır. Ancak problemin optimal çözümü elde edildikten sonra duyarlılık analizi başlığı altında parametre değişikliklerinin etkisi incelenerek doğrusal programlamaya dinamik bir yapı sağlamak mümkündür.

Bölünebilirlik Varsayımı: Deterministik varsayım altında, karar değişkenleri sürekli değerler alabilir. Optimum çözüme ulaşıldıktan sonra, kesirli değerler "tamsayı programlama" algoritması kullanılarak tamsayılaştırılabilir.

Doğrusallık varsayımı: Doğrusal programlama modelinin amaç fonksiyonu ve kısıtlama denklemleri doğrusal olmalıdır. Başka bir deyişle, x_j birinci dereceden olmalıdır.

Toplanabilirlik Varsayımı: Amaç fonksiyonu ve kısıtlama denkleminin değerine toplam katkı, her bir katkının ayrı ayrı toplanmasıyla elde edilir.

Negatif olmama varsayımı: Doğrusal programlamadaki tüm değişkenler negatif olmayan değerler almalıdır. Negatif getirilerden söz edilemeyeceği için değişken pozitif veya en az sıfıra eşit olmalıdır.

Orantısallık Varsayımı, her karar değişkeninin amaç fonksiyonuna ve kısıt denklemlerinin sol tarafına yapacağı katkının, karar değişkeninin değeri ile orantılı olduğu durumu ifade eder.

Pozitiflik Koşulu, DP modelleri, belirli koşullar altında optimize edilir. Bu koşullardan biri de pozitiflik koşuludur.

Pozitiflik koşulu, tüm değişkenlerin sıfırdan büyük veya sıfıra eşit olduğu anlamına gelir. Bu koşul, birçok uygulama için geçerlidir, çünkü değişkenlerin sıfırdan küçük olması genellikle mantıksal bir anlam ifade etmez. Örneğin, bir üretim planlama problemi için, üretim miktarı, stok miktarı ve sipariş miktarı gibi değişkenler, her zaman pozitif olmalıdır. Çünkü bu değişkenlerin negatif olması işletme için bir anlam ifade etmeyecektir. Pozitiflik koşulu, DP problemlerinin çözülmesini kolaylaştırır. Bu koşul, çözüm sürecinde kullanılan algoritmaların daha hızlı ve daha verimli çalışmasına olanak tanır. Fakat bazı durumlarda pozitiflik koşulu, bir problemin tam olarak modellenmesini engelleyebilir. Bu durumda, modeldeki bazı değişkenlerin negatif olabilmesine izin vermek için bir alternatif yaklaşım kullanılabilir (Öztürk, 2003).

3.12 Doğrusal Programlama Problemlerini Çözen Paket Programlar

DP problemleri oldukça yaygın ve karmaşık hale gelebilir, bu nedenle çözüm sürecinde bilgisayar destekli çözüm yöntemleri kullanmak yaygındır. DP modellerini çözen birçok paket programı mevcuttur. Bu paket programları, büyük ölçekli doğrusal

programlama problemlerini hızlı ve etkili bir şekilde çözebilirler. Bunlardan birkaçına aşağıda yer verilmiştir.

3.12.1 CPLEX

Matematiksel optimizasyon modellerini çözmek için kullanılan bir yazılım paketidir. IBM ILOG CPLEX Optimization Studio, büyük ölçekli, karışık tamsayılı doğrusal problemleri çözmek için tasarlanmış ticari bir çözücüdür. CPLEX, IBM tarafından geliştirilmiştir ve çeşitli arayüzlerle farklı programlama dilleri veya programlarla bağlantı sağlamak mümkündür. Program ayrıca tek başına da çalıştırılabilir. Ayrıca, kısıtlı kaynaklar ve karmaşık hedefler gibi gerçek dünya problemlerini modellemek için kullanılan bir dizi farklı teknik ve yöntemi de destekler. CPLEX, özellikle endüstriyel optimizasyon problemleri için kullanılır ve lojistik, üretim, enerji ve ulaştırma gibi çeşitli sektörlerde uygulanabilir (Cömertoğlu Arık, 2020).

3.12.2 GUROBI

GUROBI optimizier, modern bir çözücüdür ve karışık tamsayılı matematiksel optimizasyon problemlerinin yanı sıra doğrusal olmayan problemleri de çözebilir. C dilinde yazılmış olup tüm bilgisayar platformlarında geçerlidir ve çeşitli programlama dilleriyle erişilebilir. Standart bağımsız modelleme sistemleri, problemlerin tanımlanması ve modellemesi için kullanılabilir. Yüksek performanslı bir doğrusal programlama çözümleyicisidir. Endüstri liderlerinin ve akademisyenlerinin birçok uygulamasında kullanılmaktadır (GUROBI, 2019).

3.12.3 GLPK

GLPK (GNU Doğrusal Programlama Kiti) paketi, büyük ölçekli doğrusal programlama, karışık tamsayılı programlama ve ilişkili diğer problemlerin çözümü için tasarlanmış bir paket programdır. GLPK paketi, Primal ve Dual Simpleks yöntemleri, Primal ve Dual İç Nokta yöntemi, Dal–Kesim yöntemi, GNU MathProg için çevirmen ve API bileşenlerini içerir. GNU Projesi tarafından geliştirilen bir doğrusal programlama çözümleyicisidir. Açık kaynaklı bir yazılımdır ve ücretsiz olarak kullanılabilir (Gnu, 2020).

3.12.4 XPRESS

XPRESS, matematiksel programlama problemlerini çözmek için kullanılan bir yazılım paketidir. Sıralama ve konumlandırma, programlama, portföy optimizasyonu, taşıma planlaması, ağ tasarımı ve çoklu seçenekli karar verme gibi gerçek dünya problemlerini modellemek için kullanılan bir dizi farklı teknik ve yöntemi de destekler. XPRESS, endüstriyel ve akademik kullanıcılar tarafından yaygın olarak kullanılır ve birçok farklı sektörde, özellikle lojistik, üretim, enerji, telekomünikasyon ve finans sektörlerinde uygulanabilir. Xpress, bilgisayar platformlarında geniş ölçüde kullanılan bir çözücüdür ve aynı zamanda birden fazla programlama dili için çağrılabilir bir kütüphanesi vardır (XPRESS, 2021).

3.12.5 CLP

Coin-OR projesi, açık kaynak kodlu yazılımlar oluşturmayı hedefleyen yöneylem araştırması topluluğuna yönelik bir girişimdir. Coin-OR projesine bağlı projeler arasında, karışık tamsayılı doğrusal programlama problemlerini çözmek için kullanılan Symphony, doğrusal programlama tabanlı Dal-Kesim CBC ve doğrusal optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılan CLP bulunmaktadır. CLP, Büyük ölçekli ve düzensiz problemlerin de dahil olduğu çeşitli doğrusal programlama problemlerini çözebilmektedir (COIN-OR, 2020).

3.12.6 LP_SOLVE:

Lp_solve, doğrusal (karışık-tamsayılı) programları çözmek için kullanılan ücretsiz ve açık kaynak kodlu bir programlama çözücüsüdür. Tamsayılı programları simpleks ve dal sınır algoritması ile çözer. Temel olarak, karışık tamsayılı programlama problemlerini çözmek için neredeyse her programlama dilinden çağrılabilen API adı verilen bir dizi kütüphane içerir (FICO, 2021).

3.12.7 LINGO

Lingo, doğrusal programlama, tamsayılı programlama ve karar verme problemlerinin modellenmesi ve modellerin çözümü için kullanılan bir yazılımdır. Lingo, kullanıcıların modellemelerini grafiksel bir arayüzle kolayca oluşturmalarını ve doğrusal programlama veya tamsayılı programlama çözümleyicilerini kullanarak bu

modellemeleri kolayca çözmelerini sağlar. Lingo, birçok farklı sektörde kullanılan doğrusal programlama problemlerinin çözümü için kullanılabilir. Örneğin, üretim planlaması, taşımacılık problemleri, stok yönetimi, portföy yönetimi, pazarlama planlaması gibi birçok alanda kullanılabilir. Ayrıca, Lingo finansal optimizasyon ve yatırım kararlarının verilmesi gibi karar verme problemlerinin de çözümü için kullanılabilir.

Kullanıcıların modellerini hızlı bir şekilde oluşturmalarına ve çözmelerine yardımcı olan birçok araç ve özellik içerir. Modellerin grafiksel temsili, raporlama ve analiz araçları, hata ayıklama araçları ve modelin performansını artırmak için optimize edilmiş çözüm yöntemleri sunar. Lingo ayrıca birçok farklı veri formatını destekler ve modelleri dışa aktarma seçenekleri sunar. Lingo, çeşitli optimizasyon modellerini hızlı, kolay ve verimli bir şekilde çözmek için tasarlanmış kapsamlı bir araçtır. Doğrusal, doğrusal olmayan, ikinci dereceden, ikinci dereceden kısıtlı, ikinci dereceden konik, yarı deterministik, stokastik ve tamsayılı problemleri çözebilir. Lingo, bu problemleri okunabilir bir şekilde formülize etmeyi ve direkt veri tabanından veya elektronik tablolardan bilgi alan modeller oluşturmayı sağlar. Modeller Lingo içinde oluşturulabilir, çözülebilir veya doğrudan yazılan bir uygulamadan erişilebilir (<https://www.lindo.com>).

3.12.8 MATLAB

Matlab Optimization Toolbox, doğrusal programlama, karışık tamsayılı doğrusal programlama, ikinci dereceden programlama, doğrusal olmayan programlama, kısıtlı doğrusal en küçük kareler, doğrusal olmayan en küçük kareler ve doğrusal olmayan denklemler için çözücülerini içeren bir araçtır. Bu çözücülerle sürekli ve kesikli problemlere uygun çözümler bulmak, algoritma ve uygulamalara optimizasyon yöntemlerini dahil etmek mümkündür. Toolbox ile parametre tahmini, bileşen seçimi ve parametre ayarını içeren optimizasyon görevleri tasarlanabilir. Portföy optimizasyonu, kaynak atama ve üretim planlama, çizelgeleme gibi uygulamalarda en uygun çözümleri bulmak için kullanılabilir. (Mathworks, 2022).

Bu paket programları, DP modellerinin çözülmesini hızlandıran ve kolaylaştıran birçok özellik içerirler. Bu özellikler, problem boyutu, kısıtlamalar, hedef fonksiyonu vb. gibi faktörlere göre otomatik olarak ayarlanır. DP problemlerinin

görselleştirilmesi, sonuçların analizi ve raporlanması gibi diğer önemli fonksiyonları da yerine getirmektedirler.

3.13 Doğrusal Programlamanın Excel ile Çözümü

DP problemlerinin bilgisayar ortamında çözülebilmesi için LINDO, CLP, MATLAB gibi çeşitli programlar geliştirilmiştir. Bu programların dışında herkesin ulaşabileceği ve kullanımı kolay olan Excel ile de bu problemleri çözme imkânı bulunmaktadır (Alan & Yeşilyurt, 2004).

Excel, Microsoft tarafından geliştirilmiş popüler bir hesap tablosu programıdır. Dünya genelinde en çok tercih edilen programlardan biridir. Mühendisler, mimarlar, muhasebeciler ve diğer birçok meslekten insan, hesaplama gereksinimlerini Excel aracılığıyla kolaylıkla karşılayabilmektedir. Basit toplama işlemlerinden yüksek matematik problemlerinin hızlı çözümüne kadar birçok farklı alanda kullanılabilir, mimarlık hesapları gibi özel ihtiyaçları da karşılayabilir (edu, 2003). Çözücü, verilen kısıtlar altında bir amaç işlevinin belirli değişkenler için çözümünü sağlar. Excel çözücü sekmesinde parametre girilen sayfasında bulunan hedef hücre amaç fonksiyonunu ifade eder. Maksimize problemleri için eşittir butonunda en büyük, minimize problemleri için en küçük seçeneği seçilir. Eşittir 0 ile de yalnızca denklem sistemi çözümü sağlanabilir. Kısıtlamalar bölümünde modelin çözülmesi için gereken kısıtlar girilir. Değişen hücreler bölümü bizim amaç fonksiyonuna ulaşabilmemiz için değişecek hücreleri ifade etmektedir. Kısıtlanmamış değerlerin negatif bir değer almasını istemiyorsak “kısıtlanmamış değerleri pozitif yap” butonuna tıklayarak değişkenlerin yalnızca pozitif değerler alması da sağlanır. Excel’in güncel sürümlerinde sadece doğrusal problemler değil doğrusal olmayan problemler de çözülebilmektedir. Çözüm yöntemi seç liste kutusundan modele uygun çözüm yöntemi seçerek çözüm elde edilebilmektedir. Eğer model doğrusal yapıda değilse “doğrusal olmayan grg”, doğrusal ise “basit lp”, düzgün bir formda değilse de “açılım” seçeneği seçilerek çözüm yapılır.

3.14 Tamsayılı Doğrusal Programlama

Çalışmada; optimizasyon problemini çözerken, karar değişkenlerinin tam sayı değer alması durumunda problemin çözümü için matematiksel modelleme ve optimizasyon yazılımı olan Tamsayılı Doğrusal Programlama kullanılmıştır.

Tamsayılı programlama, DP'nin özel bir türüdür ve DP problemlerine tamsayı sonuçlar elde etmek için geliştirilmiştir. Bu yöntem, değişkenlerin tamamının veya bir kısmının yalnızca tamsayı değerlerini alabileceği genel doğrusal programlama modellerinin özel bir alt kümesini ifade eder. Bu, optimizasyon problemlerinin bir sınıfını temsil eder, bu problemlerde hem doğrusal kısıtlamalar hem de tamsayı kısıtlamalar bulunabilir (Katrancı & Organ, 2021). TSP'nin uygulama alanları oldukça geniştir ve şunları içerir: satıcıların satış bölgelerini etkili bir şekilde ayırması, sermaye planlaması, depo yerleşimleri üzerine araştırma ve geliştirme çalışmaları, gezgin satıcı problemleri, yükleme problemleri, atama problemleri ve pilot planlaması. Bu yöntem ayrıca her bir iş pozisyonuna yalnızca bir kişinin atanmasını sağlamakla kalmaz, aynı zamanda bu iş pozisyonlarına en uygun kişileri yerleştirme konusunda da yardımcı olur. Tam sayılı değişkenler içeren modeller, genellikle büyük ölçekli planlama problemlerini ele alır (Turan, 2002).

TSP ile ilgili çalışmalar, 1950'lerde Gomory, Land ve Doing gibi araştırmacılar tarafından çeşitli alanlarda yürütülmüş ve geliştirilmiştir. Bu çalışmaların ardından bu yöntem, geniş bir uygulama yelpazesi bulmuştur. Bugün, montaj hattının dengelenmesi, atama problemleri, personel çizelgeleme, yer seçimi, reklam çizelgeleme, üretim planlaması, araç rotalama ve daha birçok problem tam sayılı programlama kullanılarak başarılı bir şekilde çözülmektedir (Katrancı & Organ, 2021). Doğrusal programlama sonuçları genellikle tamsayı olmayan pozitif değerler içerir. Ayrıca, tam sayılı doğrusal programlama problemleri, sonuçlarının yalnızca tamsayı değerlerini içermesi gereken özel bir alt kümesini temsil eder (Özder, 2009).

TSP, doğrusal programlama modellerinde ortaya çıkabilen ve gerçek dünyayı yansıtmayan sonuçları engellemeyi amaçlar. Belirli doğrusal programlama modellerinde tamsayı sonuçlar elde edilmediğinde, bu durum modelin gerçek dünya problemlerine uyarlanabilirliğini bozabilir (Katrancı & Organ, 2021).

Yöneylem araştırması uygulamalarında, doğrusal programlama problemleri, bir doğrusal amaç fonksiyonunun doğrusal eşitlikler ve eşitsizliklerle sınırlanarak optimizasyonun gerçekleştirildiği matematiksel modellerdir (Erdoğan, 2019). Tam sayılı doğrusal programlama modeli, doğrusal programlama modelinin kısıtlamalarına tamsayı değer koşulları eklenmiş bir türüdür. Bu, amaç fonksiyonundaki değişkenlerin tamsayı pozitif değerler almasını gerektirir (Turan, 2002).

3.14.1 Tamsayılı Doğrusal Programlama Formülasyonu

Doğrusal programlamanın temel yapısı, amaç fonksiyonu, kısıtlayıcı fonksiyonlar ve pozitif olma kısıtları olmak üzere üç önemli bileşeni içerir. Amaç fonksiyonu, çözülmek istenen problemin matematiksel olarak ifade edilmiş hedefini temsil ederken, kısıtlayıcı fonksiyonlar ise çözümün geçerli olabilmesi için gereken sınırlamaları belirtir. Bu bileşenler bir araya gelerek, bir optimizasyon problemi çerçevesinde verilerin analizini ve en iyi sonuçların elde edilmesini sağlar.

Tam sayılı doğrusal programlama formülasyonu aşağıdaki gösterim ile ifade edilir:

$$\text{Amaç fonksiyonu: } \text{Maks (Min)} Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

Amaç fonksiyonun açık formülasyon gösterimi ise,

$$Z = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n$$

biçiminde gösterilir.

$$\text{Kısıtlar: } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq (=; \geq) b_i \quad \begin{matrix} (i = 1, 2, \dots, m) \\ (j = 1, 2, \dots, n) \end{matrix}$$

$$\text{Pozitif kısıtlama: } x_j \geq 0 \text{ ve } x \text{ tamsayı}$$

Kısıtlayıcıların açık formülasyon gösterimi ise,

$$a_{11}x_{11} + a_{12}x_{12} + \dots + a_{1n}x_{1n} \leq b_1$$

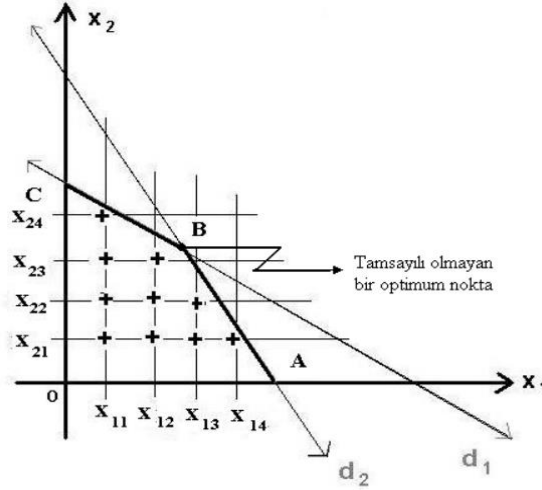
$$a_{21}x_{21} + a_{22}x_{22} + \dots + a_{2n}x_{2n} = b_2$$

.....

$$a_{m1}x_{m1} + a_{m2}x_{m2} + \dots + a_{mn}x_{mn} \geq b_m$$

Yukarıda ifade edildiği gibi TSP da belirlenen amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcılar belirtilmiştir. Bu tür modeller, çözümün sonunda tüm değişkenlerin

tamsayı değerlerine sahip olması gereken tam sayılı doğrusal programlama modellerini temsil eder (Özder, 2009). Modelde görüldüğü gibi pozitif kısıtlama ve tam sayı koşulları eklenmesiyle modelin de tanımında yer alan özel kısıtların yer aldığı özel durumlar belirtilmiştir.



Şekil 1. Tam sayılı doğrusal programlamanın grafik gösterimi (Özder, 2009)

Şekil 1'den açıkça görüldüğü üzere, tam sayılı doğrusal programlama probleminin belirli kısıtlamalar altında uygun çözüm alanı OABC olarak tanımlanabilir. Bu alan içindeki B noktası, tamsayı olmayan bir optimum çözümü temsil eder, bu nedenle B noktası çözümün dışında bırakılır. Yeni en iyi çözüm noktası, uygun çözüm alanı içinde bulunan ve "+" işareti ile gösterilen tamsayı değerleri arasında aranır. Bu noktalar dışındaki değerler ise çözümün dışında kabul edilir. Bu şekil, tam sayılı doğrusal programlamanın uygulanışını görsel olarak açıklamak amacıyla kullanılır. TSDP'de tamsayı değişkenlerin sayısı, hesaplamalara önemli bir etki yapabilen kritik bir faktördür. Bu nedenle, problemdeki tamsayı değişken sayısını azaltmak, hesaplama süreçleri açısından büyük bir avantaj sağlar. Ayrıca, günümüz bilgisayar programlarının TDP problemlerinin çözümü için sağladığı katkılar da oldukça önemlidir (Özder, 2009).

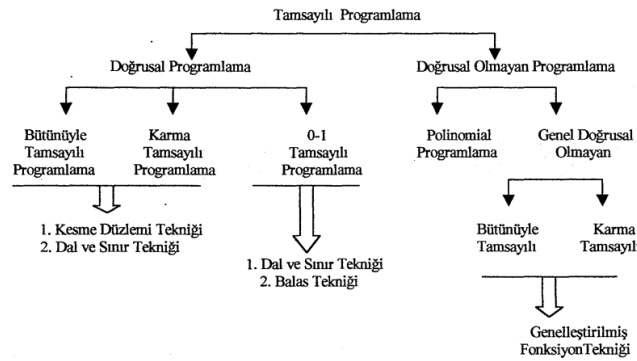
TSP modeli, endüstri mühendisliği alanında büyük öneme sahiptir. Bu model, endüstri mühendislerinin karşılaştığı birçok optimizasyon problemine etkili bir şekilde uygulanabilir. TSDP modeli, endüstri mühendislerinin karmaşık problemleri analiz

etmelerine ve en iyi çözümleri bulmalarına yardımcı olur. Bu nedenle, endüstri mühendisliği alanında önemli bir araçtır ve birçok farklı uygulama alanına sahiptir.

TSP modelleri, içerdikleri karar değişkenlerinin yapısına göre sınıflandırılır. Modeldeki karar değişkenlerinin tamamının veya bir kısmının tamsayı değerler almasının gerekliliğine bağlı olarak üç temel sınıf tanımlanabilir: "Bütünüyle Tam sayılı," "Karma Tam sayılı," ve "Sıfır-Bir Tam sayılı" programlama. Bu sınıflandırmalar, bir problemin tam sayılı doğrusal programlama modelini seçerken karar değişkenlerinin tamsayı olma gereksinimini dikkate almayı kolaylaştırır. Ayrıca, bu sınıflandırmalar problemin çözüm sürecini ve yaklaşımını şekillendirir (Turan, 2002).

3.14.2. Tamsayılı Doğrusal Programlama Çözüm Teknikleri

TSP problemlerinin pratik uygulamalarında, farklı çözüm tekniklerinin kullanılması gerekebilir. Ancak hangi tekniklerin tercih edileceği, problemin doğası ve amaçlarına bağlı olarak değişebilir. Bu nedenle, araştırmacılar, kendileri için en uygun çözüm tekniklerini belirlemek ve uygulamak için çeşitli seçenekleri dikkate almalıdır. Teknik tercihlerinde pratik uygulama kolaylığı ve zaman faktörü büyük bir öneme sahiptir (Turan, 2002).



Şekil 2. Tam sayılı programlama modelleri ve çözüm teknikleri (Rao, 1979)

TSP modellerinin çözümünde; Geometrik Çözüm Tekniği, Yuvarlama Tekniği, Kesme Düzlemi Tekniği ve Dal-Sınır Tekniği gibi farklı yöntemler

kullanılmaktadır. Bu çözüm teknikleri arasında, Kesme Düzlemi ve Dal-Sınır Tekniği, etkinlikleri ve geniş uygulama alanları nedeniyle diğerlerine göre öne çıkmaktadır (Turan, 2002).

3.15 Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama

Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama, işletmelerin ve mühendislik uygulamalarının karşılaştığı karmaşık karar problemlerini çözmek için geliştirilmiş güçlü bir matematiksel optimizasyon yaklaşımıdır. Bu yaklaşım hem tamsayı hem de tamsayı olmayan (sürekli) karar değişkenlerini içeren doğrusal programlama problemlerini ele alır. Karışık tam sayılı doğrusal programlama, birçok gerçek dünya senaryosuna uygulanabilir ve karmaşıklıkları nedeniyle özellikle endüstri mühendisliği, işletme yönetimi, taşıma ve lojistik, üretim planlaması gibi alanlarda yaygın olarak kullanılır. Bu yöntem, bir problemi optimize etmek için belirli kısıtlamalar ve hedefler altında kararlar almanız gerektiğinde kullanılır. İşte tam sayılı ve tamsayı olmayan değişkenlerin bu karma kombinasyonunu ele almak için karma tam sayılı doğrusal programlama devreye girer. Bu konunun daha iyi anlaşılması için, karma tam sayılı doğrusal programlamanın temel kavramlarına ve çözüm tekniklerine daha yakından bakacağız. KTDP, bir optimizasyon probleminde yer alan n karar değişkeninden k tanesi için tamsayı olma şartı, diğer $n-k$ tanesi için ise pozitif olma şartının aynı anda geçerli olduğu bir matematiksel optimizasyon yaklaşımını ifade eder (Çevik, 2006).

KTDP algoritmaları, uygun çözümlere hızla erişebilme kapasiteleri ile öne çıkar. Bu nedenle, karma tam sayılı programlama, pratik uygulamalarda yaygın bir şekilde tercih edilmektedir. Bu algoritmaların temel avantajları, karmaşıklıklarıyla başa çıkabilme yetenekleri ve karar problemlerinde en iyi sonuçları üretebilme potansiyelleridir. Bu nedenle, KTDP yöntemleri, birçok endüstriyel ve mühendislik uygulamasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu algoritmalar, karmaşık karar problemlerini ele almak ve optimize etmek için güçlü bir araç olarak kabul edilirler (Katrancı & Organ, 2021). TSP probleminde tüm değişkenlerin optimal çözümde kesirli olmaması beklenirken, bazı uygulamalarda bu kısıtı gevşetmek gerekebilir. İşte

bu noktada, yalnızca belirli bir değişken alt kümesinin tamsayı değerler almasının gerektiği problemler karma tam sayılı doğrusal programlama problemleri olarak adlandırılır. Bu açıklama, KTDP'nin temel fikrini tanıtmak için konuya giriş niteliği taşımaktadır (Özder, 2009). KTDP modeli aşağıda verilen kısıtlamaları yerine getirmelidir. Bu kısıtlamalar ise,

$$j > i \text{ olmak üzere}$$

$$x_j \geq 0 \text{ ve } x_i \text{ tamsayı}$$

biçiminde gösterilir. Bu kısıtlar altında model, bazı değişkenlerin (x_i 'lerin) tamsayı olma koşulunu sağlamayı amaçlar, bu da x_i değişkeninin tam sayı bir sonuç üretmesini sağlarken diğer x 'ler için kesirli veya tam sayılı bir sonuç elde edilmesini sağlar (Özder, 2009).

KTDP modeli için matematiksel olarak ifade biçiminde aşağıdaki formülasyon gösterimi kullanılmaktadır.

$$Z_{\max/\min} = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

Şekil 3. Karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli matematiksel formülasyonu (Turan, 2002)

Modelin kısıtlayıcıları ise,

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \begin{cases} \leq \\ \geq \\ = \end{cases} b_i \quad \begin{matrix} (j=1,2,\dots,n) \\ (i=1,2,\dots,m) \end{matrix}$$

ve

$$x_j \geq 0 \quad (j=1,2,\dots,n)$$

$$x_j \text{ tamsayıdır} \quad (j=1,2,\dots,l) \quad (l \leq n)$$

Şekil 4. Karma tam sayılı doğrusal programlama modeli kısıtlayıcıları (Turan, 2002)

KTDP modelleri, endüstri mühendisliği alanında karmaşık problemleri çözmek ve optimize etmek için güçlü bir araç olarak kullanılmaktadır, bu nedenle endüstri mühendislerinin karar verme süreçlerindeki önemli bir yardımcısıdır. Birçok problemin çözümünde kullanılan bu yöntem çalışmamızın kritik bir yöntemini oluşturmaktadır.

3.16. Poisson Dağılımı

Bu olasılık dağılımı, ilk kez 1781-1840 yılları arasında yaşamış olan Siméon-Denis Poisson tarafından geliştirilmiştir. Poisson, 1838 yılında yayınlanan "Ceza hukuku ve medeni hukuk alanlarında hükümlerin olasılığı üzerine araştırmalar" adlı eserinde bu dağılımı ilk kez tanıtmıştır. Poisson dağılımı, Poisson süreci ile ilişkilidir. Poisson süreci, aralıklı olarak meydana gelen (yani 0, 1, 2, 3... kez gerçekleşen) belirli olayların bir birim zaman dilimi, alan, uzay veya hacimde sabit bir olasılıkla gerçekleştiği bir modeli temsil eder. Poisson dağılımı, sıkça belirli sabit zaman aralığı birimleri içeren problemlerde kullanılırken, aynı başarıyla diğer birim tabanlı problemlere (örneğin birim uzaklık, alan veya hacim içeren problemler) de uyarlanabilir (Vikipedist, 2023).

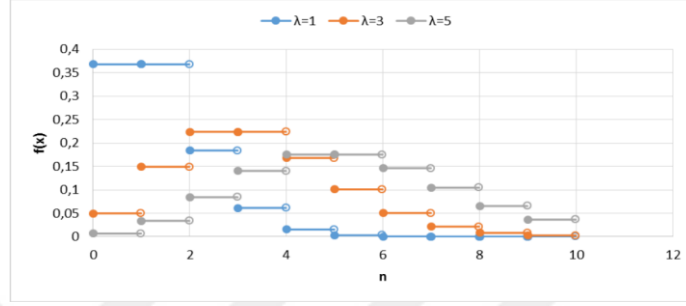
Tanım 1. Poisson dağılımı bir veri setinin rastsallığını ölçen, deneysel verilerin teorik eğriye uydurulmasını sağlayan ve temel verilerden belirli tahminlerin yapılmasında kullanılan matematiksel bir bağıntıdır (Erişkin, 2021). Poisson olasılık dağılım fonksiyonu (ODF) ve poisson kümülatif dağılım fonksiyonu (KDF) sırasıyla Denklem (1) ve (2)'de gösterilmiştir. Poisson dağılımı için farklı λ değerleri ile çizilmiş örnek ODF ve KDF grafikleri Şekil 5'de gösterilmektedir (Erişkin, 2021).

$$ODF = \lambda^n e^{-\lambda} / n! \quad (1)$$

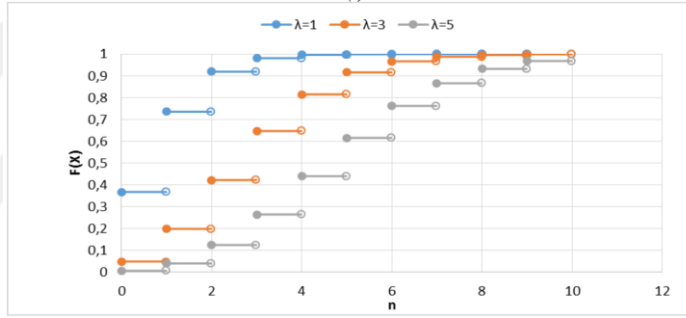
$$KDF = e^{-\lambda} \sum_{i=0}^n \lambda^i / i! \quad (2)$$

Bu bağlamda, "n" veri sayısını, " λ " ise n adet verinin aritmetik ortalamasını temsil ederken, "e" ise Euler sayısı olarak bilinen doğal logaritmik taban değerini simgeler. Bu değerler, veri analizi, istatistik ve olasılık hesaplamalarında sıklıkla kullanılır. Verilerin ortalamasını temsil eden λ , veri kümesinin karakteristik bir özelliğini yansıtırken, "n" ise bu veri kümesindeki örnek sayısını ifade eder. Özellikle Poisson dağılımı gibi istatistiksel dağılımları modellemek ve nadir olayların sıklığını

tahmin etmek için bu parametreler kullanılır. Euler sayısı "e," matematiksel hesaplamaların temelinde ve sürekli büyüme, değişim ve karmaşıklık içeren birçok alanda önemli bir rol oynar. Dolayısıyla, bu semboller ve değerler, istatistiksel analizlerden, matematiksel modellemeye kadar geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir (Erişkin, 2021).



(a)



(b)

Şekil 5. Poisson Dağılımı Olasılık Dağılım Grafiği (A) ve Kümülatif Dağılım Grafiği (B)

Şekil 5 görselinden de görüleceği üzere, Poisson dağılımı normal şartlar altında sürekli bir olasılık dağılımı değil, kesikli bir olasılık dağılımıdır ve faktöriyel hesaplamalara dayandığı için yalnızca tam sayı değerleri ile çalışabilir. Bu nedenle, Poisson dağılımı, tam sayı temelli analizler için uygundur, ancak ondalıklı analizlerde kullanılmaz. Örnek vermek gerekirse, trafik akışı gibi sürekli değişkenlere sahip bir durumu simüle etmek istediğinizde, Poisson dağılımının kesikli doğası bu tür analizlere uygun değildir. Bunun yerine, bu tür durumlar için kesikli yerine sürekli olasılık dağılımları veya diğer uygun istatistiksel modeller kullanılmalıdır. Sonuç olarak, Poisson dağılımı, tam sayı verilerin analizi için güçlü bir araç olabilir, ancak kesikli olasılık dağılımları ile ilgilenmeyen ondalıklı analizler için uygun bir seçenek değildir (Erişkin, 2021).

Tanım 1.1. XX rastgele değişkeni $0,1,2, \dots, n, \dots$ değerlerini alan kesikli bir rastgele değişken olsun. Eğer

$$P(X = k) = \frac{e^{-\alpha} \cdot \alpha^k}{k!}, \quad k = 0,1,2, \dots, n, \dots$$

ise XX rastgele değişkenine $\alpha > 0$ parametrelili Poisson dağılımına sahiptir denir (Günbey, 2016).

Yukarıdaki gösterimin bir olasılık dağılımını temsil ettiğini

$$\sum_{k=0}^{\infty} P(X = k) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{e^{-\alpha} \cdot \alpha^k}{k!} = e^{-\alpha} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\alpha^k}{k!} = e^{-\alpha} \cdot e^{\alpha} = 1 \quad (2.2)$$

kısaca gösterelim (Günbey, 2016).

Bir rastgele değişkeni tanımlarken, örnek uzaya (SS) ihtiyaç duymadan onun 'ranj uzayı' ve 'olasılık dağılımı' ile ilgili tR_X 'ileri sunabiliriz. Bu nedenle, S örnek uzayı, v ve $X(s) = x$ ile belirlenir. Yani, deneyin sonuçları basitçe $0,1,2, \dots, n, \dots$ sayılarıdır ve her biri için belirli olan olasılıklar (2.2) denklemi aracılığıyla ifade edilir. X rastgele değişkeninin elde ettiği değerler ve bu değerlere eşlik eden olasılıklar düşünüldüğünde, Poisson dağılımı karakteristiğine sahip bir rastgele değişkenle ilgili olarak aşağıdaki ifadeleri formüle etmek mümkündür (Günbey, 2016):

- I. Deney, belirli bir zaman, alan ya da hacimde bir olayın oluşmalarının sayılarının sayılmasından ibarettir.
- II. Ayrık iki zaman, alan ya da hacimdeki başarı sayısı birbirinden bağımsız olacaktır.
- III. Bir birim zaman, alan ya da hacimdeki başarı sayısı her bir birim zaman, alan ya da hacim için aynıdır.
- IV. Küçük bir zaman, alan ya da hacimde iki veya daha fazla başarının elde edilmesi önemsizdir.
- V. Bir birim zaman, alan ya da hacimde başarının elde edilmelerinin ortalama sayısı $\alpha\alpha$ dır.

Poisson Dağılımının Kullanımına İlişkin Bazı Varsayımlar

- Birim zaman veya birim uzay içinde meydana gelen olayların sayısı, diğer birim zaman veya uzay içinde meydana gelen olayların sayısından bağımsızdır, bu durumda "disjoint" bir ilişki vardır
- Birim zaman veya birim uzay içinde meydana gelen olayların ortalama sayısı düzgün bir şekilde dağılmıştır. Örneğin, birim zamanda ortalama olarak x kadar olay meydana geliyorsa, birim zamanın yarısında ortalama $x/2$, birim zamanın iki katında ise ortalama $2x$ kadar olay meydana gelir.
- Kısa bir zaman diliminde bir olayın gerçekleşme olasılığı, birim zamanın toplam uzunluğu ile orantılıdır. Başka bir deyişle, birim zaman çok kısa ise, birim zamanda birden fazla olayın gerçekleşme olasılığı sıfıra yaklaşır (Şenoğlu, 2018).

Eğer X rassal değişkeni Poisson dağılımına sahipse, bu durumu kısaca $X \sim \text{Poisson}(\lambda)$ şeklinde ifade edebiliriz. X rassal değişkeni, Poisson (λ) dağılımına sahip olduğunda, bu dağılım λ parametresine sahip X 'in olasılık dağılımı,

$$P(X = x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}, x = 0, 1, 2, \dots; \lambda > 0$$

olarak tanımlanır (Şenoğlu, 2018). Burada,

λ , birim zaman veya birim uzay içinde ortalama olay sayısını temsil ederken,

x birim zaman veya birim uzay içinde gerçekleşen olay sayısını ifade eder. Aynı şekilde, e , Euler sayısı olarak bilinir ve yaklaşık olarak 2.718 değerindedir (Şenoğlu, 2018). (λ , Yunan alfabesinde yer alan bir harf olan "lamda" olarak okunur.)

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

UYGULAMA

Uygulama Türkiye’de havacılık bakım onarım sektöründe faaliyet gösteren bir firmada gerçekleştirilmiştir. Şirketin ana merkezi olan Sabiha Gökçen tesislerinin 2014’te açılması ile beraber uçaklara ve onların yedek parçalarına sağlanan hizmetin kalitesi artmış ve yedek parça envanter yönetimi süreci etkin ve rasyonel şekilde sürdürülmeye başlanmıştır. Şirket, İstanbul ve Ankara’da bulunan 7 hangarıyla toplam 576.000 metrekare kapalı alana sahiptir. Hava yolları ve VIP jet operatörlerine bakım onarım hizmetleri sunmaktadır. Şirket tarafından Avrupa, Ortadoğu, Kuzey Afrika ve Asya bölgelerinde 100’den fazla hava yolu şirketine komponent hizmeti sunulmaktadır. Şirket, uçaklarda kullanılan iniş takımları, uçuş elektroniği bileşenleri, hidrolik-pnömatik komponentler, fren sistemleri, lastik ve jant ile mekanik komponentler için bakım-onarım hizmetleri sağlar ve arızalı yedek parçaların bakım onarımının bir kısmını kendi bünyesinde gerçekleştirir. Şirketin kendi uçakları hariç olmak üzere "komponent pool" hizmeti verdiği uçak sayısı yaklaşık 800’dür.

Çalışma, şirketin A320 dar gövdeli uçak filosuna sahip 3. parti müşterilere komponent takas anlaşması (pool anlaşması) kapsamında sağladığı parçalar özelinde yapılmıştır. 2022 yılı için yıl sonuna ait A320 anlaşmalı müşterilere hizmet verilen parçalar kapsamında mevcut yedek sayıları, bu yedek sayılarıyla ulaşılan hizmet seviyesi (Poisson dağılımı) hesaplanmıştır. %10’luk dilimlerde yedek artışlarıyla (Önerilen Yedek Sayısı- Mevcut Yedek Sayısı) toplam 10 senaryo belirlenmiştir. Bu 10 senaryo için de hizmet seviyesi ve gereken yedek artış miktarı hesaplanmıştır.

Bu senaryolardan bir tanesi seçilecek şekilde 2023 yılında A320 filusunda anlaşmalı komponentlere ne kadar yedek yatırımı yapılması gerektiği problemi doğrusal programlama metoduyla çözülmüştür.

4.1 Havacılık Bakım Onarım Sektöründe Faaliyet Gösteren Firma Bilgileri

Şirket, uçak komponentleri için bakım, onarım ve modifikasyon hizmeti sunduğundan aviyonik, hidrolik, mekanik & elektromekanik, pnömatik, yakıt

sistemleri, lastik, fren, jant ve acil durum teçhizat gibi atölyelere sahiptir. Bu atölyelerde 10.000'den fazla uçak komponenti için bakım ve onarım hizmeti verilmektedir. Şirket; 35'ten fazla yerel havacılık otoritesinden alınan sertifikalar ile müşterilere komponent bakım onarım ve sertifikasyon hizmeti sunmaktadır. Modern tesisler ve atölyeler, ileri teknolojik ekipmanlar ve konusunda uzman teknisyen ve mühendisler tarafından yedek parça konusunda havayolu şirketlerine katma değer sağlanmaktadır. Yedek parça atölyelerinde, 10.000'den fazla komponente yüksek güvenilirlik ve hızlı geri dönüş süresinde bakım onarım ve test operasyonları başarıyla uygulanmaktadır. Uçaktaki tüm parçaların küçük veya büyük olması, sorunsuz bir uçuş deneyiminde önemli bir rol oynar. Bu önem göz önüne alındığında, uçağın her bir parçası aynı derecede özel bir öneme sahiptir. Ayrıca, müşterilere kabiliyetler dahilinde komponent kiralama, satış ve değişim hizmetleri sunulmaktadır.

4.1.1 Aviyonik Bileşen Atölyesi

Aviyonik komponent atölyesi, uçakta bulunan tüm elektronik parçaların bakım ve onarımlarının yapıldığı atölyedir. Şirket, bünyesinde bulundurduğu atölyelerde yılda yaklaşık 25.000 uçakta aviyonik komponent bakım operasyonlarını başarıyla tamamlamaktadır. Sabiha Gökçen HABOM tesisinde 14.000m2 arazi üzerine kurulu modern aviyonik atölyelerde müşterilere bakım ve onarım hizmetleri sunulmaktadır. Şirket tarafından komponentlere test, onarım ve revizyon işlemleri yapılmaktadır. Bu operasyonların yürütülmesinde en son teknolojik ekipmanlar kullanılmaktadır.

4.1.2 DP Uygulaması

Bu bölümde aşağıda tanımlanan ve detayları verilen modelin doğrusal programlama ile çözümü gerçekleştirilmiştir. Problemin çözümü için “Cplex programı kullanılmıştır. Uygulama çalışması, İstanbul merkezli bir havacılık bakım onarım üssünde yapılmıştır. Şirket, hava araçlarının ve onarılabilen yedek parçaların (komponentlerin) bakım, onarım ve modifikasyon işlemlerini yürütmektedir.

3. parti müşterilere hizmet verirken dar gövde uçak müşterilerine hizmet verilen komponentler incelenmiştir. 2022 Aralık sonu (31 Aralık itibariyle ilgili komponentlere sunulan hizmet seviyesi baz alınmıştır.) itibariyle yedek eksiği bulunan

192 tane komponent için karışık tamsayılı doğrusal programlama uygulaması yapılmıştır. Uygulama CPLEX 12.8’ de çözülmüştür.

Yedek envanteri için olması gereken miktarı belirlemede şirket envanter optimizasyonu konusunda danışman bir firmadan hizmet almaktadır. 192 adet komponent belirlenirken dar gövdeli komponentlere ihtiyaç duyan 3.parti müşterilere sunulan hizmet seviyesinin %96 dan düşük olduğu komponentler incelenmiştir. Çünkü 3.parti müşterilere taahhüt edilen ve anlaşmalarla imza altına alınan hizmet seviyesi ortalama % 96’dır.

Hizmet seviyesi olarak % 96’yı karşılayamadığımız komponent sayısı olan 192 adet komponent dikkate alınmıştır. A320 Airbus tipi uçakların komponentlerine sunulan şirket uçakları dışında kalan 3.parti müşterilere (şirket uçakları dışında hizmet verilen uçaklardır.) ait olan hizmeti kapsamaktadır. Bu hizmet havuzunda ise toplam 2376 adet komponent bulunmaktadır. Çalışmanın odak noktası hizmet seviyesi %96’dan küçük olan komponentlerdir. Müşteriler ile yapılan yedek parça anlaşmalarında taahhüt edilen servis seviyesi ortalama %96 olduğu için uygulamada odak noktası olarak servis seviyesi %96’nın altında olan komponentler alınmıştır.

Poisson dağılımı (Excel) belirli yedek miktarlarına göre ulaşılabilecek hizmet seviyesini hesaplamada kullanılmıştır. Airbus ve havacılık bakım onarım alanındaki otoritelere göre sürekli bir tamir döngüsünde ve kapalı bir çevrimde olan komponentlere ve komponentlerin arıza yapısına en uygun dağılımın Poisson olduğu belirtilmiştir.

4.2. Çalışmada İzlenilen Yöntem

İşletmenin stok yönetimine ilişkin problemi çözmek ve mevcut bütçe ile yeterli stok elde bulundurmak eldeki kaynakların etkin kullanılması son derece önemlidir. İşletmeler için kaynakları etkin kullanmak işletmenin devamlılığı açısından oldukça önemlidir. Bu durumda ise işletmeler bazı çözüm tekniklerine başvurmaktadır. Kıt kaynakların daha ekonomik ve etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamak için en yaygın kullanılan matematiksel yöntem, doğrusal programlamadır (Taha, 2003). Doğrusal programlama tekniğinin seçilmesinin temel sebebi bu doğrusal programlama tekniği ile işletmeler, deneyimlere dayalı olarak değil de kaynaklarını rakamlarla ifade ederek alternatif çözümler üretebilmeyi sağlar. Bu da hem hata payını ileriye dönük düşürür

hem de sağlıklı çözümler elde edilmesini sağlar. Bu teknik uygulanarak şirketin, üretim kapasitesini sınırlayan darboğaz probleminin belirlenmesi ile verimliliği arttırmayı planlamaktır. Bu çalışma İstanbul’da havacılık bakım onarım sektöründe faaliyette bulunan bir işletmede yapılmıştır. Uygulamada; maliyet minimizasyonu sağlanması için kurulan matematiksel model doğrusal programlama ile çözülecektir. Stok maliyetinin minimize edilmesinde IBM CPLEX Optimization Studio 12.8 uygulaması kullanılmıştır. Yapılan uygulama sonucunda elde edilen bulgular yorumlanarak şirkete çeşitli öneri ve tavsiyelerde bulunulacaktır. Bu uygulamada şirket, 3. parti müşterilerine taahhüt ettiği servis seviyesine ulaşp müşteri memnuniyetini sağlarken diğer yandan da envanter maliyetlerini düşürerek stok optimizasyonunu sağlama amacına ulaşacaktır. İşletmenin stok maliyetine ilişkin problem doğrusal programlama tekniği ile çözülmüştür.

4.3. Problemin Girdileri

Ekler kısmında Tablo 1 ve Tablo 2’de problemin girdileri mevcuttur. 192 adet komponent için yıllık talep ve çevrim süreleri birbiriyle çarpılıp 365’e bölünerek ortalama atölye yükü (λ) hesaplanmaktadır. Ortalama atölye yükü kullanılarak mevcut yedek seviyesi (x) ve danışman şirketin önerdiği yedek seviyelerinde ulaşılan hizmet seviyesi Poisson kümülatif dağılım fonksiyonu yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\lambda \text{ (Ortalama Atölye Yüğü)} = \frac{\text{Yıllık Talep} \times \text{Tamir Çevrim Süresi}}{365}$$

$$p = e^{-\lambda} \sum_{i=0}^x \frac{\lambda^i}{i!}$$

Tamsayı programlama modelimizde 10 farklı senaryo bulunmaktadır. (Önerilen Yedek Seviyesi – Mevcut Yedek Seviyesi) x 0,1; (Önerilen Yedek Seviyesi – Mevcut Yedek Seviyesi) x 0,2; ...; (Önerilen Yedek Seviyesi – Mevcut Yedek Seviyesi) x 1 şeklinde yedek seviyesinin %10’dan başlayıp %100’e kadar önerilen seviyeye tamamlanması için 10 adet senaryo vardır.

Doğrusal tamsayı programlama modeli bu senaryoların 10’undan sadece birini seçmekte ve ortalama servis seviyesinin %96 olmasını garanti edecek bir çözüm üretmektedir. Problemden girdi olarak kullanılan diğer bir parametre ise

komponentlerin ortalama satınalma fiyatıdır. Amaç fonksiyonunda maliyet minimizasyonu için satınalma fiyatları kritik bir öneme haizdir.

4.4 Amaç Fonksiyonu ve Kısıtlar

CPLEX programındaki değişken tanımlamaları, amaç fonksiyon ve kısıtlar aşağıda verilmiştir.

X_{ij} = 192 komponent için 10 senaryodan 1 birinin seçildiği 0 yada 1 değerlerini alan mantıksal değişkendir. i ; komponent sayısını (192 adet) j ise senaryo sayısını (10 adet) gösterir.

Y_i = Optimum çözümde sipariş verilmesi gereken komponent sayısıdır. Herbir komponentten kaç adet yedek artışı yapılması gerektiğini gösteren değişkendir. X 'in 192 adet komponentin herhangi birinde 1 değerini aldığı senaryoya tekabül eden yedek artış miktarıdır.

Amaç Fonksiyonu:

$$Z_{min} = \sum_{i=1}^{192} Fiyat_i \times y_i$$

Kısıt Denklemleri

$$\sum_{j=1}^{10} x_{ij} = 1 \quad \text{Tüm } i' \text{ ler için 1 den 192'ye kadar} \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^{10} Hizmetseviyesi_{ij} \times x_{ij} \geq 0,8 \quad \text{Tüm } i' \text{ ler için 1'den 192'ye} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{192} \sum_{j=1}^{10} Hizmetseviyesi_{ij} \times x_{ij} \geq 192 * 0,96 \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^{10} Yedekmiktar_{ij} \times x_{ij} \leq y_i \quad \text{Tüm } i' \text{ ler için 1-192'ye} \quad (4)$$

Amaç Fonksiyonu ve Kısıt Açıklamaları

Amaç fonksiyonu; 192 adet komponentin satın alma fiyatı ile yedek artış miktarının çarpımını minimize edecek değerdir. Yani toplam satın alma maliyetini minimize etmektedir.

Kısıt 1: 192 komponentin her biri için 10 senaryo arasından seçilen senaryo sayısı 1'e eşit olmalıdır. Yani her bir komponent için uygulanacak bir tane senaryo mevcuttur, 9 tane senaryo için x değişkeni 0 değerini alırken sadece 1 senaryo için 1 değerini alır.

Kısıt 2: Münferit olarak her komponent için hizmet seviyesinin %80 den büyük olması gerekmektedir. %80'in altındaki hizmet seviyesi başarısızlık sayıldığı için bu kısıt mevcuttur.

Kısıt 3: 192 komponent için hizmet seviyesinin ortalamasının %96 dan büyük olması gerekmektedir. Müşterilere taahhüt edilen hizmet seviyesi ortalaması %96 'dır.

Kısıt 4: Bu kısıt yi değerlerinin hesaplanması için gerekmektedir. Seçilen senaryo ($x_{ij}=1$) ile 10 farklı senaryoda gerçekleşecek yedek miktarındaki artışların (Yedekmiktarı ij) çarpımı ile optimum çözümde 192 komponent için nihai sipariş miktarları bu kısıt ile hesaplanmaktadır.

IBM CPLEX 12.8 Değişkenler, Parametreler, Amaç Fonksiyonu ve Kısıtlar

```
6
7 int numRot = 192;
8 int numInvSpares = 10;
9 range Spares = 1..numInvSpares;
10 range Rotables = 1..numRot;
11
12 float Price[Rotables] = ...;
13 float RotSL[Rotables][Spares] = ...;
14 float SpareQty[Rotables][Spares] = ...;
15 dvar int x[Rotables][Spares] in 0..1;
16 dvar int y[Rotables];
17
18 minimize sum(i in Rotables) Price[i]*y[i];
19
20 subject to {
21
22 forall (i in Rotables)
23   EqualToOne:
24     sum (j in Spares) x[i][j]==1;
25
26 forall (i in Rotables)
27   MinSLSatisfied:
28     sum (j in Spares) RotSL[i][j]*x[i][j] >= 0.8;
29
30   SLConstraint:
31     sum (i in Rotables, j in Spares)
32       RotSL[i][j]*x[i][j] >= numRot*0.96;
33
34   forall (i in Rotables)
35     NumOfSpares:
36       sum (j in Spares)
37         SpareQty[i][j]*x[i][j] <= y[i];
38
39 }
```

Şekil 6. IBM CPLEX 12.8 Değişkenler, Parametreler, Amaç Fonksiyonu ve Kısıtlar

4.5 Modelin Çözümü

Bir önceki başlıkta değinilen amaç fonksiyonu ve kısıtlara göre karışık tam sayı programlama modeli CPLEX programında çalıştırıldığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

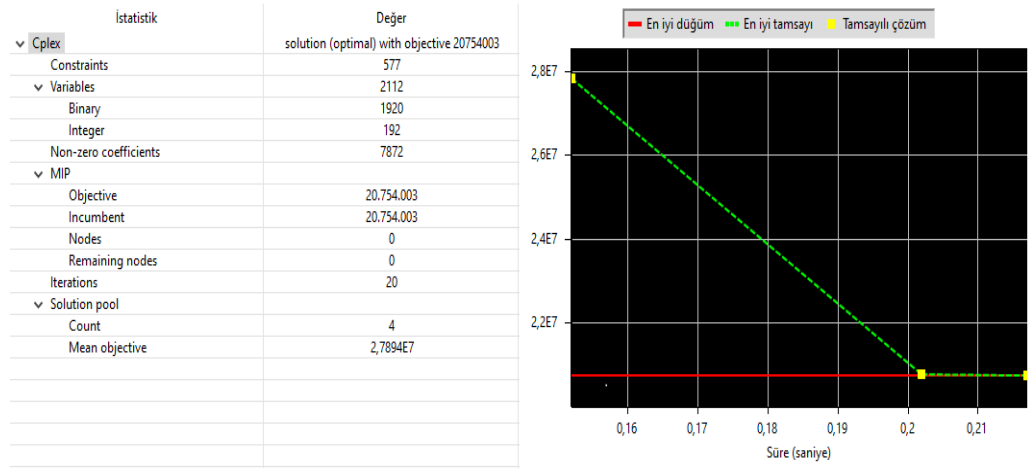
Optimum çözümde satınalma maliyeti 20.754.003 USD olarak gerçekleşmiştir. Yani 2023 yılında firmanın A320 dar gövde 3. parti hizmeti için komponent yatırımı kapsamında harcaması gereken tutar budur.

Optimum çözümde gerçekleşen çözüm ve limit hataları ise çok önemsiz sayılabilecek küsuratlarla ifade edilen cinstendir.

y değişkeni çözüm kümesinde 92 kez 1 değerini almıştır. Yani 192 adet komponentin 92'sinde ortalama %96 servis seviyesini yakalamak için 1 adet yedek artışı gerekli görülmüştür.

x değişkeni değerleri incelendiğinde, y ile ilişkili olduğundan senaryo 1'in neredeyse %50'ye yakın oranda gerçekleştiği görülmektedir. Ayrıca senaryo 10'un hiç gerçekleşmediği ve büyük ekseriyetle senaryo 5 ve öncesi senaryoların gerçekleştiğini belirtmek doğru olacaktır.

577 kısıt ve 2112 değişken (1920 tane ikili, 192 tane tamsayı) kullanılarak çözülmüştür. Çözüm kümesinde, çözüm istatistikleri grafiğinden de anlaşılacağı gibi 4 tane çözüm vardır ve 20 yineleme sonunda > 0,21 saniye sürede optimum çözüme ulaşılmıştır.



Şekil 7. Çözüm istatistikleri

Amaç fonksiyonu, hata istatistikleri ve değişkenlerin (x, y) çözüm kümelerine aşağıda yer verilmiştir.

[0 1 0 0 0 0 0 0 0 0], [0 0 0 1 0 0 0 0 0 0], [0 0 1 0 0 0 0 0 0 0], [0 0 0 1 0 0 0 0 0 0],
 [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0], [0 1 0 0 0 0 0 0 0 0], [0 0 0 0 0 1 0 0 0 0], [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0],
 [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0], [0 0 0 0 0 1 0 0 0 0], [0 0 1 0 0 0 0 0 0 0], [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0],
 [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0], [0 0 0 1 0 0 0 0 0 0], [0 0 0 0 0 1 0 0 0 0], [0 1 0 0 0 0 0 0 0 0],
 [0 1 0 0 0 0 0 0 0 0], [0 0 0 0 0 0 0 0 1 0], [0 0 0 0 1 0 0 0 0 0], [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0],
 [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0], [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0], [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0], [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0],
 [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0], [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0], [0 0 1 0 0 0 0 0 0 0], [0 0 1 0 0 0 0 0 0 0],
 [0 0 0 1 0 0 0 0 0 0], [0 1 0 0 0 0 0 0 0 0], [0 0 0 1 0 0 0 0 0 0], [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0],
 [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0], [0 0 1 0 0 0 0 0 0 0], [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0], [0 0 1 0 0 0 0 0 0 0],
 [0 0 1 0 0 0 0 0 0 0], [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0], [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0], [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
 [0 0 1 0 0 0 0 0 0 0], [0 0 0 0 0 0 0 1 0 0], [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0], [0 0 0 0 0 1 0 0 0 0],
 [0 0 1 0 0 0 0 0 0 0], [0 0 1 0 0 0 0 0 0 0], [0 0 0 0 0 1 0 0 0 0], [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0],
 [0 0 0 0 0 1 0 0 0 0], [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0], [0 0 1 0 0 0 0 0 0 0], [0 1 0 0 0 0 0 0 0 0],
 [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0], [0 0 0 0 0 0 0 0 1 0], [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0], [0 0 0 1 0 0 0 0 0 0],
 [0 1 0 0 0 0 0 0 0 0], [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0], [0 0 1 0 0 0 0 0 0 0], [0 1 0 0 0 0 0 0 0 0],
 [0 0 1 0 0 0 0 0 0 0], [0 0 0 0 1 0 0 0 0 0], [0 0 0 0 0 0 0 0 1 0], [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0],
 [0 0 0 0 0 0 1 0 0 0], [0 0 0 0 0 0 1 0 0 0], [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0], [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0],
 [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0], [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0], [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0], [0 1 0 0 0 0 0 0 0 0],
 [0 0 0 0 0 1 0 0 0 0], [0 0 1 0 0 0 0 0 0 0], [0 0 0 0 0 0 1 0 0 0], [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0],
 [0 0 0 0 0 0 0 1 0 0], [0 0 1 0 0 0 0 0 0 0], [0 0 0 0 0 0 0 0 1 0], [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0],
 [0 0 0 0 0 1 0 0 0 0], [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0], [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0], [0 0 0 0 1 0 0 0 0 0],
 [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0], [0 1 0 0 0 0 0 0 0 0], [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0], [0 0 0 0 1 0 0 0 0 0],
 [0 0 0 0 0 0 1 0 0 0], [0 0 0 0 0 0 1 0 0 0], [0 0 0 1 0 0 0 0 0 0], [0 0 0 0 1 0 0 0 0 0],
 [0 0 1 0 0 0 0 0 0 0], [0 0 0 1 0 0 0 0 0 0], [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0], [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0],
 [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0], [0 0 0 0 0 1 0 0 0 0], [0 0 0 0 0 1 0 0 0 0], [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0],
 [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0], [0 0 0 1 0 0 0 0 0 0], [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0], [0 0 0 0 0 0 0 1 0 0],
 [0 1 0 0 0 0 0 0 0 0], [0 0 0 0 0 1 0 0 0 0], [0 1 0 0 0 0 0 0 0 0], [0 0 0 1 0 0 0 0 0 0],
 [0 0 0 0 1 0 0 0 0 0], [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0], [0 0 0 0 0 1 0 0 0 0], [0 0 1 0 0 0 0 0 0 0],
 [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0], [0 0 0 0 1 0 0 0 0 0], [0 0 0 0 0 1 0 0 0 0], [0 0 0 1 0 0 0 0 0 0]

CPLEX Optimization Studio problem çözümüne dair istatistiklerde ön çözüm, dal ve kesme metodu işlem süreleri aşağıdaki tabloda paylaşılmıştır. 4 tane düğüm seçilmiş ve bunlara uygulanan kesmelerle (akış kesmesi ve sıfır-yarım kesmesi) nihai çözüm elde edilmiştir.

Tablo 1. İşlemci İstatistikleri

Tried aggregator 3 times.
MIP Presolve eliminated 284 rows and 1459 columns.
MIP Presolve modified 3163 coefficients.
Aggregator did 200 substitutions.
Reduced MIP has 93 rows, 407 columns, and 762 nonzeros.
Reduced MIP has 405 binaries, 2 generals, 0 SOSs, and 0 indicators.
Presolve time = 0,02 sec. (9,57 ticks)
Found incumbent of value 4,2250037e+07 after 0,02 sec. (10,51 ticks)
Probing time = 0,00 sec. (0,14 ticks)
Tried aggregator 1 time.
MIP Presolve added 4 rows and 4 columns.
Reduced MIP has 97 rows, 411 columns, and 797 nonzeros.
Reduced MIP has 405 binaries, 6 generals, 0 SOSs, and 0 indicators.
Presolve time = 0,00 sec. (0,83 ticks)
Probing time = 0,00 sec. (0,15 ticks)
Clique table members: 92.
MIP emphasis: balance optimality and feasibility.
MIP search method: dynamic search.
Parallel mode: deterministic, using up to 8 threads.
Root relaxation solution time = 0,00 sec. (0,44 ticks)

Nodes		Cuts/					
Node	Left	Objective	Inf	Best Integer	Best Bound	ItCnt	Gap
*	0+	0	4,22500e+07	1,95540e+07		53,72%	
*	0+	0	2,78091e+07	1,95540e+07		29,68%	
	0	0	2,07540e+07	1	2,78091e+07	2,07540e+07	19 25,37%
*	0+	0	2,07624e+07	2,07540e+07		0,04%	
	0	0	2,07540e+07	4	2,07624e+07	Cuts: 2	20 0,04%
*	0+	0	2,07540e+07	2,07540e+07		0,00%	
	0	0	cutoff	2,07540e+07	2,07540e+07	20	0,00%

Elapsed time = 0,05 sec. (15,35 ticks, tree = 0,01 MB, solutions = 4)

Flow cuts applied: 1
Zero-half cuts applied: 1

Root node processing (before b&c):
Real time = 0,05 sec. (15,47 ticks)
Parallel b&c, 8 threads:
Real time = 0,00 sec. (0,00 ticks)
Sync time (average) = 0,00 sec.
Wait time (average) = 0,00 sec.

Total (root+branch&cut) = 0,05 sec. (15,47 ticks)

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, havacılık bakım onarım sektörünün önemli şirketlerinden birinde 2023 yılı yedek artırım problemi karışık tamsayılı programlama metoduyla ele alınmıştır.

Şirket mevcut durumda bütünsel bir yaklaşımla değil de münferit olarak tüm uçak komponentlerini incelemekte ve Poisson dağılımına göre mevcut hizmet seviyesini hesaplayarak yedek sipariş miktarlarını belirlemektedir. Ayrıca stok yönetimi alanında bir firmadan danışmanlık hizmeti almaktadır. Bu metodoloji ile firmanın stok optimizasyonu yapması mümkün değildir çünkü her bir komponent tek tek bir sistemin parçası değilmiş gibi analiz edilmektedir. Sistemsel bir yaklaşım olan doğrusal programlama kullanılarak stok maliyetlerinin asgari seviyeye indirilmesi mümkün olacaktır ve tezin konusu da budur. 3.parti müşterilere hizmet verirken dar gövde uçak müşterilerine hizmet verilen komponentler incelenmiştir. 2022 Aralık sonu itibariyle yedek eksiği bulunan 192 tane komponent için karışık tamsayılı doğrusal programlama uygulaması yapılmıştır. Uygulama CPLEX 12.8’ de çözülmüştür.

Yedek envanteri için olması gereken miktarı belirlemede şirket danışman bir firmadan hizmet almaktadır. Bu firmanın önerilen yedek sayıları mevcuttur. Ancak önerilen yedek sayılarına göre şirketin yedek yatırımı yapmasının optimal olup olmadığının incelenmesi ve istenilen hizmet seviyesini sağlayan yedek sayılarına göre stok maliyetini de minimize etmesi araştırılmıştır. 192 adet komponent belirlenirken dar gövdeli komponentlere ihtiyaç duyan 3.parti müşterilere sunulan hizmet seviyesinin %96’ dan düşük olduğu komponentler incelenmiştir. Hizmet seviyesi olarak %96’yı karşılayamadığımız komponent sayısı olan 192 adet komponent dikkate alınmıştır. Bu hizmet havuzunda ise toplam 2376 adet komponent bulunmaktadır. Çalışmanın odak noktası hizmet seviyesi %96 dan küçük olan komponentlerdir.

Uygulamada öncelikle, veri toplama fazında şirketin 2022 yılında gerçekleşen A320 tipi uçaklardaki arıza sayıları ve tamir çevrim süreleri edinilmiştir. Daha sonra bu verilerle ortalama atölye yükü hesaplanmıştır. Sonrasında mevcut yedek sayılarına (x) göre Poisson dağılımında ortalama atölye yükü (λ) değerlerinin de yardımıyla Excelde POISSON.DIST formülüyle hizmet seviyeleri bulunmuştur. Ardından

danışman firmanın önerdiği yedek seviyelerindeki hizmet seviyeleriyle mevcut durumdaki hizmet seviyeleri mukayese edilmiştir. Belirlenen 10 tane senaryoya göre (Önerilen Yedek Sayısı – Mevcut Yedek Sayısı) değerleri 10 dilime bölünmüştür. %10, %20, %30, ..., %90, %100 yedek artışı olacak şekilde 10 farklı senaryo hazırlanmış ve bu senaryolar için gereken yedek artışları da yine Poisson dağılımıyla hesaplanmıştır.

Şirketin hedefi ve vizyonu çerçevesinde 2376 adet A320 3. parti hizmet verilen komponentten servis seviyesi %96'nın altında olan 192 komponent için yukarıda bahsedilen adımlar uygulanmıştır.

10 farklı senaryo ve senaryoların uygulanacağı komponentler belirlendikten sonra değişkenler, amaç fonksiyonu ve kısıtlar bölüm 5.4'te tariflendiği gibi CPLEX Optimization Studio programında model olarak oluşturulmuş ve ek kısmında yer alan parametre verileri de programa girilmiştir.

Amaç fonksiyonu, problemin tanımında bahsettiğimiz üzere stok ve satınalma maliyetlerinin optimizasyonu olduğu için minimum olarak seçilmiştir.

x (0-1 değerlerini alan) ve y (tamsayı) olmak üzere iki tane karar değişkeni tanımlanmıştır. x değişkeni hangi senaryonun seçileceğini belirlerken, y değişkeni de yedek artış miktarlarını göstermekte ve amaç fonksiyonunda maliyetin hesaplanmasını sağlamaktadır.

Kısıtlar, 5.4'te bahsedildiği gibi ortalama %96 hizmet seviyesi hedefini ve minimum başarı oranı olan %80 hizmet seviyesini sağlamak üzere kurgulanmıştır. Ayrıca 10 senaryodan birinin seçilmesini sağlayan ve seçilen senaryonun yedek artış miktarını hesaplayan iki farklı kısıt da mevcuttur.

Problem, bu bilgiler ve veriler ışığında çözüldüğünde amaç fonksiyonu 20.754.003 USD olarak optimum çözümde karşımıza çıkmaktadır. Şirketin tekil bazda tüm komponentler için önerilen yedek adetlerine göre stok yatırımı yapması halinde çok ciddi satın alma ve stok maliyetleriyle karşılaşması muhtemeldir. Çünkü, böyle bir durumda şirket kendi komponent envanterini toplu olarak bir sistemin parçası gibi değerlendiremeyecek ve her komponent için ayrı bir yedek hesaplaması yapacaktır. Burada bahsedilen bu problem tezin devamında başka bir proje çalışması olarak ta ele alınabilir.

COVID pandemisi sonrasında hala birçok havayolu firmasının 2019 istatistiklerine ve finansal tablolarına göre geride kaldığı ve karlılığın azaldığı bir ortamda, bakım-onarım sektörünün en önemli gider kalemlerinden biri olan envanter maliyetlerini minimize etmemesi düşünülemez. Bu sebeple, bu probleme getirilen Karışık Tamsayı Programlama çözümü yaklaşımı hem rekabetçi firmada sektördeki şirketlerin envanter maliyet optimizasyonunu sağlayarak karlılıklarına katkıda bulunacak hem de müşteri hizmet seviyelerinin daha etkin yönetilmesi ile beraber 3. parti müşterilerin yedek parça hizmetiyle alakalı memnuniyetlerini de artıracaktır. Ayrıca proaktif arıza önleme, güvenilirlik çalışmaları ve tamir çevriminde lojistik süreçleriyle ilgili iyileştirmeler ile beraber komponentlerin arıza sıklıkları azaltılabilir ve tamir çevrim süreleri de kısaltılarak komponentlerin önerilen yedek seviyeleri düşürülebilir. Yedek seviyelerinin düşmesi de envanter maliyetlerini daha aşağıya çekmeye yardımcı olacaktır.

TSDP yaklaşımını kullanmadan danışman firmanın önerdiği yedek sayılarında komponent yatırımı yapılsaydı 2023 yılı sipariş maliyeti 62.700.839 USD (dolar) olacaktı. Ancak kurulan optimizasyon modelinin çözümü sonucunda yedek yatırım tutarı 20.754.003 USD (dolar) olarak elde edilmiş ve maliyetin çok ciddi ölçüde minimize edildiği ve danışman şirketin tavsiye ettiği yedek komponent miktarlarının fazla olduğu ve haliyle yatırım tutarının da uygun olmadığı ortadadır.

Danışman firmanın önerdiği yedek miktarında sipariş yapıldığında ortalama 0,9855 lik hizmet seviyesi yakalanmaktadır. Doğrusal programlamada ulaştığımız hizmet seviyesi 0,96 dır. Yani danışman firmanın önerdiği yedek miktarı söz konusu olduğunda yüzde 2,5 lik bir hizmet seviyesi artışı olmuştur fakat buna karşılık yüzde 300 civarında yatırım maliyeti artmıştır. Bu durum rasyonel ve optimum değildir. DP maliyet minimizasyonu sağlarken hizmet seviyesini de makul seviyelerde tutmamıza olanak sağlamaktadır. Bu DP nın güçlü bir özelliğidir.

Çalışmanın bu yönüyle; mevcut bir probleme çözüm getirmesi, stok maliyetlerinin optimizasyonunu sağlaması, başarılı bir stok kontrolü sağlaması, kar maksimizasyonu ve maliyet minimize edilebilirlik sağlama, müşteri memnuniyeti ve şirket sürekliliği sağlama ile birlikte hizmet seviyesini karşılayacak düzeyde yedeğe yatırım yapılacak olan miktarın optimum düzeyde belirlenmesi nedenleriyle hem uygulamanın yapıldığı sektöre hem de literatüre katkı sunacağı değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

- Açıklan, A. (1999). *İnsan Kaynağının Yönetimi Geliştirilmesi*. Ankara: PegemA Yayınları.
- Airlinehaber. (2019). *airlinehaber*. www.airlinehaber.com adresinden alındı
- Akça, M., & Karagülle, V. (2012). Havayolu Şirketleri ve Yer Hizmetleri Kuruluşları Arasındaki İlişkinin İncelenmesine Yönelik Bir Araştırma. *Ulusal Havacılık Teknolojisi ve Uygulamaları Kongresi*, 541.
- Aksoy, C., & Dursun, Ö. O. (2018). Türkiye’de Sivil Havacılık Sektörünün Gelişimine Genel Bir Bakış. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*.
- Aksoy, C., & Dursun, Ö. O. (2018, Yaz). *Türkiye’de Sivil Havacılık Sektörünün Gelişimine Genel Bir Bakış*. Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi Electronic Journal of Social Sciences: www.esosder.org adresinden alındı
- Aktepe, C., & Şahbaz, R. (2010). Türkiye’de Havayolu Ulaştırma Sektörünün Gelişimi. 70.
- Aktürk, E., Özkale, C., Fıçalı, N., & Engin, O. (2005). Yavaş Devreden Stok Elemanları İçin Envanter Modelleri Uygulaması. V. *Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu*.
- Akyurt, İ. Z., & Toplu Yaşlıoğlu, D. (2018). Havacılık Sektöründe Ekip Planlama Yönetimi: Bir Türk Havayolu Örneği Crew Planning Management in Aviation Industry: A Turkish Airline Case İstanbul Üniversitesi. *İşletme Araştırmaları Dergisi*(19/1), 424-446. doi: 10.20491/isarder.2018.388
- Alan, M. A., & Yeşilyurt, C. (2004). Doğrusal rogramlama Problemlerinin Excel İle Çözümü. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 5(1), 152-155.
- Alfieri, F. (2014). Aircraft Maintenance and Repair – Rotable Inventory Components.
- Altay, N. (2011). Service Parts Management: Demand Forecasting and Inventory Control. *Springer*.

- Arıkan, İ., & Ahıpaşaoğlu, S. (2005). *Ulaştırma İşletmeleri ve Türkiye'de Düşük Maliyetli Taşıyıcıların Yolcu Profilini Belirlemeye Yönelik Bir Araştırma*. Gazi Kitabevi.
- Arıkan, İ., & Ahıpaşaoğlu, S. (2006). *Ulaştırma İşletmeleri*. Ankara: Gazi Kitabevi.
- Aytekin, M. (1996). *Kantitatif karar verme tekniklerinde doğrusal programlama ve Maksan A.Ş. de bir uygulama*. Sivas: Cumhuriyet Üniversitesi.
- Bahar, E. (2018). Türkiye'de Havayolu İşletmeciliğinin Gelişimi. *İstanbul Arel Üniversitesi İ.İ.B.F. Ekonomi Yönetimi Ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 3(1), 28-29.
- Bahar, E., & Eysad, A. (2018). Türkiye'de Havayolu İşletmeciliğinin Gelişimi. 3(1).
- Can, T. (2015). *Yöneylem Araştırması*. İstanbul: Beta Yayınları.
- COIN-OR. (2020). <https://www.coin-or.org/>, adresinden alındı
- Cömertoğlu Arık, M. (2020). *Doğrusal programlama çözücülerinin performans analizi*. Bursa: Bursa Uludağ Üniversitesi.
- Çevik, O. (2006). *Afyon Kocatepe Üniversitesi, İ.İ.B.F. Dergisi*, 8(1), 158-162.
- Dal, E. (2011). *Tamsayılı doğrusal programlama metodu ile üretim planlama ve bir mobilya*. Kahramanmaraş: Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi.
- Danztig, G. B. (2002). Linear programming. *Operations research*, s. 42-47.
- Danztig, G. B., & Thapa, M. N. (1997). Linear Programming: 1, Introduction. *The simplex method*, s. 63-111.
- Danztig, G. B., & Thapa, M. N. (1997). The Simplex Method. *Linear Programming: 1 Introduction*, s. 70.
- Dinçer, H. (2014). *İşletmelerde doğrusal programlama ve üretim planlamasında bilgisayar*. Ankara: Gazi Üniversitesi.
- Dinçer, S. E., & Ekin, E. (2017). Havacılık Sektöründe Yedek Parça Envanter Yönetimi Problemlerine Doğrusal Programlama ile Çözüm Yaklaşımı. *Journal of Life Economics*, s. 77-102.
- Doğan, İ. (1995). *Yöneylem Araştırması Teknikleri ve İşletme Uygulamaları*. İstanbul: Bilim Teknik Yayınevi.
- DP'ye Giriş. (2023). Açık Ders: <https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/142219> adresinden alındı

- Ecer, A. (2009). *Bulanık Ahp Yöntemi ile Lojistik Yönetimine Çözüm Yaklaşımı ve Bir Uygulama*. Marmara Üniversitesi S.B.E. Yüksek Lisans Tezi.
- G. Edu(2003, 05 21). (http://www1.gantep.edu.tr/~bidb/ofisyardimci/excel/e_bicim.htm. http://www1.gantep.edu.tr/~bidb/ofisyardimci/excel/e_bicim.htm adresinden alındı
- Ekin, E. (2020). *Havacılık Sektöründe Yedek Parça Envanter Problemlerine Simülasyon ve Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Hibrit Bir Çözüm Yaklaşımı*. Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Doktora Tezi.
- Erdoğan, S. (2019). Tam Sayılı Doğrusal Programlama İle Araç Rotalama Problemi Çözümü Ve Bir Servis Ağında Uygulaması. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 34-38.
- Erişkin, E. (2021, Nisan 29). *BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1), 292-299. doi:<https://doi.org/10.35193/bseufbd.885635>
- Esin, A., & Şahin, T. (2012). *Yöneylem Araştırmasında Yararlanılan Karar Yöntemleri*. Ankara: Gazi Kitabevi.
- FICO. (2021). <http://lpsolve.sourceforge.net/5.5/>. FICO: <http://lpsolve.sourceforge.net/5.5/> adresinden alındı
- Genç, R. (2009). *Lojistik Ve Tedarik Zinciri Yönetiminin Yöntem Ve Kavramları*. Ankara: Detay Yayıncılık.
- Gerede, E. (2002). *Havayolu Taşımacılığında Küreselleşme ve Havayolu İşbirlikleri-THY AO'da Bir Uygulama*. Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir.
- Gnu. (2020). <https://www.gnu.org/software/glpk/glpk.html>. <https://www.gnu.org/software/glpk/glpk.html> adresinden alındı
- Göktepe, H. (2007). Hava Taşımacılığı Sektöründe Rekabet Hukuku Kurallarının Uygulanması. 214.
- GUROBI. (2019). <http://www.gurobi.com>. GUROBI Optimizer: <http://www.gurobi.com> adresinden alındı
- Günbey, E. (2016). GEOMETRİK POISSON DAĞILIMININ BAZI ÖZELLİKLERİ. *ORDU ÜNİVERSİTESİ*. <http://earsiv.odu.edu.tr:8080/xmlui/handle/11489/916> adresinden alındı

- Gürdoğan, N. (1981). Üretim Planlamasında Doğrusal Programlama ve Demir Çelik Endüstrisinde Bir Uygulama. *Ankara Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi*.
- Hacısalıhoğlu, H., & Diğerleri. (1992). *Genel Matematik*. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Yayınları .
- Hatipoğlu, S. (2015). Havayolu Ulaşımında Hizmet Kalitesinin Ölçülmesi: İç Hatlarda Bir Uygulama. *KSÜ Sosyal Bilimler Dergisi*, 12(2).
<https://www.lindo.com>. (tarih yok). <https://www.lindo.com/index.php/products/lingo-and-optimization-modeling> adresinden alındı
- Karagülle, A. Ö., & Birgren, T. (2013). *Havayolu Taşımacılığında Uçucu Ekip Yönetimi*. İstanbul: Beta Basım A.Ş.
- Kasap, N., Biçer, İ., & Özkaya, B. (2010). Stokastik Envanter Model Kullanılarak İş Makinelerinin Onarımında Kullanılan Kritik Yedek Parçalar İçin Envanter Yönetim Sistemi Oluşturulması.
- Kaşıkcı, M. İ. (2007). *Kaşıkcı, M. İ. (2007). Globalleşme Sürecinde Uluslararası Hava Taşımacılığı ve Türk Sivil Havayollarının Rekabet Gücü*.
Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Katrancı, A., & Organ, A. (2021, Mayıs 6). İtfaiye Erlerinin Vardiya Çizelgeleme Sorununun Çözümünde Tamsayı Programlama Yaklaşımı. *Pamukkale Üniversitesi İşletme Araştırmaları Dergisi*, 8(1), 131-149.
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/piar> adresinden alındı
- Kilpi, J. (2007). Valuation of Rotable Spare Parts. *Helsinki School of Economics*.
- Kırgız, A., & Arıkan, İ. (2015). *Hava Yolu Ulaştırması*. Ankara Detay Yayıncılık.
- Koçyiğit, M. (2009). Havayolu İşletmelerinin Performansının Tobin Q Oranı İle Ölçülmesi. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*(44), 180.
- Korul, V., & Küçükönel, H. (2003). Türk Sivil Havacılık Sisteminin Yapısal Analizi. *Ege Akademik Bakış Dergisi*.
- Kuyucak, F., & Şengür, Y. (2009). Değer Zincir Analizi: Havayolu İşletmeleri İçin Genel Bir Çerçeve. *Karamanoğlu Mehmet Bey Üniversitesi Sosyal Ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*(1), 138.
- Mathworks. (2022). www.mathworks.com/products/matlab.html.
<https://www.mathworks.com/products/matlab.html> adresinden alındı

- Nash, G., & Sofer, A. (1996). *Linear and Nonlinear Programming*. Singapore: McGraw-Hill Companies.
- Özçiloğlu, M. M. (2009). *Algılayıcı Ağlarda Gözlemnememe Olgusunun Doğrusal Programlama ile İncelenmesi*. TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi.
- Özder, U. (2009). Kobilerde Otomasyona Geçiş Sürecinde Tamsayılı Doğrusal Programlama Yöntemini Kullanarak Karar Verme. *ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ*, 39-54.
- Öztürk, A. (2003). *Yöneylem Araştırması*. Ankara: Ekin Kitabevi.
- Rao, F. (1979). *Optimization Theory and Application*. Willey Easten Limited.
- Sakız, B. (2017). Finansal Oranlar Kullanılarak Risk Yönetimi ve Havayolu Sektörü - Bir Uygulama. *International Conference On Eurasian Economies*, (s. 282-291).
- Sherman, G. D., Owen, K. R., Pincombe, A. H., & Bender, A. (2012). Uncertainty in Availability Generated by Inventory Management Controls in A Generic Repairable Item Sustainment System. 539-560.
- SHGM. (2009). *Faaliyet Raporu*. UAB.
- SHGM. (2013). *Faaliyet Raporu*. UAB.
- SHGM. (2015). *Faaliyet Raporu*. UAB.
- SHGM. (2017, 04 24). SHGM İnternet Sitesi: <http://www.web.shgm.gov.tr> adresinden alındı
- Sipahioğlu, A. (2020). Doğrusal programlamaya giriş. *Yöneylem Araştırması Ders Notları*.
- Şenoğlu, B. (2018). Kesikli Rassal Değişkenler ve Bazı Kesikli Dağılımlar. (s.136-138). Eskişehir.
- Şentürk, Z. (2011). *Havayolları Hizmet Kalitesinin AHS Metoduyla Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Taha, H. (2003). *Operations Research: An Introduction*.
- Taha, H. (2007). *Yöneylem Araştırması*. Literatür Yayıncılık.
- THY. (2016).
- TOBB. (2015). *Türkiye Sivil Havacılık Sektörü Meclis Raporu*.
- Turan, F. (2002, Aralık). Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama ve Bir Uygulama Denemesi. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, 21-31.

UAB. (2018). Ulaşan Ve Erişen Türkiye. *Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 356-448.

Vikipedist. (2023, Şubat 21). Vikipedi Özgür Ansiklopedi sitesi: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Poisson> adresinden alındı

Wensveen, J. (2007). *Air Transportation: A Management Perspective* (6 b.). England: Ashgate Publishing Ltd.

XPRESS. (2021). <https://www.fico.com/en/products/fico-xpress-optimization>. XPRESS Optimization: <https://www.fico.com/en/products/fico-xpress-optimization> adresinden alındı

Yüksel, S., & Gerede, E. (2012). Türkiye’de Havaaracı Bakım Faaliyetlerinde Dış Kaynak Kullanımı Üzerine Bir Araştırma. 143.

EKLER

Tablo 2. 192 Komponent İçin Yedek Parametreleri

PN	TANIM	YILLIK TALEP	ÇEVİRİM SÜRESİ	MEVCUT YEDEK	ÖNERİ	FARK
4-60000H883	DRAIN MAST	138	30,91	13	29	16
10-451701-000	MLG RETRACTION ACTUATOR	45	55,57	10	20	10
114193007	MLG RETRACTION ACTUATOR	45	55,57	10	20	10
114193008	MLG RETRACTION ACTUATOR	45	55,57	10	20	10
114193009	MLG RETRACTION ACTUATOR	45	55,57	10	20	10
114193010	MLG RETRACTION ACTUATOR	45	55,57	10	20	10
201590001	MLG RETRACTION ACTUATOR	45	55,57	10	20	10
125A3	OIL VISUAL INDICATOR	5	62,75	2	3	1
301-799-401-0	OIL VISUAL INDICATOR	5	62,75	2	3	1
1605100-02	OIL VISUAL INDICATOR	5	62,75	2	3	1
612C3001-015	SYNC. LOCKING FEEDBACK ACT.	15	78,58	6	7	1
980-4700-003	FLIGHT DATA RECORDER	30	48,33	0	22	22
S800-3000-00	FLIGHT DATA RECORDER	30	48,33	0	22	22
980-6023-002	COCKPIT VOICE RECORDER	18	49,31	0	21	21
2100-1025-02	COCKPIT VOICE RECORDER	18	49,31	0	21	21
S200-0012-00	COCKPIT VOICE RECORDER	18	49,31	0	21	21
1303A0000-03	FLOW CONTROL VALVE	13	84,46	5	6	1
1806A0000-02	FLOW CONTROL VALVE	44	59,63	0	19	19
262200008-0002	FADEC-PRESSURE SUB SYSTEM (PSS)	4	34	1	3	2
2040081-101	OXYGEN SENSOR	3	56,5	1	2	1
4063-16082-2	ISOLATION VALVE	29	47,31	6	7	1
2496M34P04	FMU	1	120	1	2	1
8378M2	AIR COMPRESSOR	11	74,33	1	5	4
14320-230	FLUSH VALVE	9	61,88	3	6	3
301-790-101-0	IDG OIL COOLER	13	87,81	6	8	2
085225-04645	BRAKE ACCUMULATOR	83	57,34	19	29	10
085878-04645	BRAKE ACCUMULATOR	83	57,34	19	29	10
327155-2	ENGINE ANTI-ICE VALVE	43	34,16	7	8	1
70722365-1	FUEL CONTROL UNIT	49	61,74	8	12	4
465020-0303-0316	ADIRU	24	120	6	11	5
465020-03040316	ADIRU	24	120	6	11	5
600611-00-600	CONTROLLER HEAT	18	71,14	6	7	1
B55968-004	INLET GUIDE VANE ACTUATOR	77	47,62	15	17	2
4950705	APU L/C DISCHARGE SENSOR	40	37,33	3	8	5
9005000-10202	T3CAS COMPUTER	16	92,35	6	7	1
2496M44P01	START AIR VALVE	88	75,11	17	39	22
63216083-1	START AIR VALVE	88	75,11	17	39	22
63216083-2	START AIR VALVE	88	75,11	17	39	22
C90ST-0003	GAUGE TRANSMITTER	4	120	3	4	1
C90ST0003	GAUGE TRANSMITTER	4	120	3	4	1
C12860AA06	CENT.FAULT DISPLAY UNIT	3	37,29	0	2	2
C24837102	NORMAL BRAKE MANIFOLD	22	82,36	5	12	7
CT141	CHECK VALVE	21	76,5	5	6	1
S005-3	CONTROL MODULE	29	67,3	7	8	1
S702Y0202	-	3	46,33	0	2	2
740D8003-23	UPPER FEEDBACK ACTUATOR	13	44,01	2	8	6
740D8003-32	UPPER FEEDBACK ACTUATOR	13	44,01	2	8	6
TY1541-22	UPPER FEEDBACK ACTUATOR	13	44,01	2	8	6
TY1541-50A	UPPER FEEDBACK ACTUATOR	13	44,01	2	8	6
TY1541-51A	UPPER FEEDBACK ACTUATOR	13	44,01	2	8	6
744D8003-13	M.D.U.	8	94,8	3	4	1
TY1544-20E	M.D.U.	8	94,8	3	4	1
Z120H050830B	AFT ATTENDANT PANEL	1	35	0	1	1
201590002	MLG RETRACTION ACTUATOR	45	55,57	10	20	10
201590004	MLG RETRACTION ACTUATOR	45	55,57	10	20	10
980-6032-003	COCKPIT VOICE RECORDER	18	49,31	0	21	21
2474M65P05	FADEC-PRESSURE SUB SYSTEM (PSS)	4	34	1	3	2
6237M106B	SENSOR VIBRATION TURBINE	8	38,8	1	4	3
8062-1157	FMU	1	120	1	2	1
64141-590-1	STANDBY ALTIMETER	18	52,59	5	9	4

430201-1	DEDICATED ALTERNATOR STAT	17	39,87	4	13	9
3886188-2	INLET GUIDE VANE ACTUATOR	77	47,62	15	17	2
3888579-201	APU ECB	1	120	0	1	1
9005000-10204	T3CAS COMPUTER	16	92,35	6	7	1
AR4714-203	STRIKE CENTER	87	84,36	20	46	26
C13043AA04	FMGC	3	25	0	2	2
Z120H030830B	AFT ATTENDANT PANEL	1	35	0	1	1
727-1313-02	MAIN INSTRUMENT PANEL LIGHT	3	59	1	3	2
362-035-803-0	ACTUATOR VBV	21	101,3	8	10	2
441921-4	FUEL CONTROL UNIT	49	61,74	8	12	4
796-815-01-02	PRESELECTOR	46	32,54	6	9	3
2248000-61	OPTICAL QUICK ACCESS REC.	5	56,5	1	2	1
3616140-7	COOLING FAN ASSY	7	57,82	2	4	2
4951546	APU L/C DISCHARGE SENSOR	27	37,33	3	8	5
AR4714-9	STRIKE CENTER	87	84,36	20	46	26
C12860AA04	CENT.FAULT DISPLAY UNIT	3	37,29	0	2	2
TY1541-51	UPPER FEEDBACK ACTUATOR	13	44,01	2	8	6
2100-4045-22	FLIGHT DATA RECORDER	30	48,33	0	22	22
2100-1020-02	COCKPIT VOICE RECORDER	18	49,31	0	21	21
10087-0102	MULTITANK INDICATOR	4	36,67	1	4	3
14320-230-201	FLUSH VALVE	9	61,88	3	6	3
430153	DEDICATED ALTERNATOR STAT	17	39,87	4	13	9
70722365-2	FUEL CONTROL UNIT	49	61,74	8	12	4
23948-01AA	CONTROLLER HEAT	18	71,14	6	7	1
D90ST2002-000	GAUGE TRANSMITTER	4	120	3	4	1
5421-14-932-430-8	-	3	46,33	0	2	2
2LA456509-02	LED WING STROBE LIGHT WHITE-LH	6	54,68	1	11	10
1605100-01	OIL VISUAL INDICATOR	5	62,75	2	3	1
261811055-0303	FADEC-PRESSURE SUB SYSTEM (PSS)	4	34	1	3	2
144-405-000-033	SENSOR VIBRATION TURBINE	8	38,8	1	4	3
114151004	HP RELIEF VALVE	8	120	5	7	2
980-6032-020	COCKPIT VOICE RECORDER	18	49,31	0	21	21
2100-1228-02	COCKPIT VOICE RECORDER	18	49,31	0	21	21
4950944	APU L/C DISCHARGE SENSOR	27	37,33	3	8	5
AR4714-201	STRIKE LOWER/UPPER	120	78,44	28	51	23
AW233030001-111	CDSS MONITOR	6	68,75	2	3	1
C12860AA03	CENT.FAULT DISPLAY UNIT	3	37,29	0	2	2
ED48A200WR	FLTDATA INTERFA&MANA.UNIT	2	38,5	0	2	2
TY1544-20	M.D.U.	8	94,8	3	4	1
102EH2EB	TAT SENSOR	7	72,08	3	4	1
350E053022020	FLIGHT WARNING COMPUTER	25	16,17	2	3	1
612C3501-503	ICU	4	120	3	4	1
980-4750-001	FLIGHT DATA RECORDER	30	48,33	0	22	22
980-4750-009	FLIGHT DATA RECORDER	30	48,33	0	22	22
2100-4043-00	FLIGHT DATA RECORDER	30	48,33	0	22	22
980-6032-001	COCKPIT VOICE RECORDER	18	49,31	0	21	21
14320-230-205	FLUSH VALVE	9	61,88	3	6	3
772181A	INTEGRATED DRIVE GENERATOR	62	47,31	9	15	6
3616140-10	COOLING FAN ASSY	7	57,82	2	4	2
2LA456509-01	LED WING STROBE LIGHT WHITE-LH	6	54,68	1	11	10
930-3001-001	DUAL REDUND.ANTENNA DRIVE	8	70,2	3	4	1
980-4750-003	FLIGHT DATA RECORDER	30	48,33	0	22	22
2100-4245-00	FLIGHT DATA RECORDER	30	48,33	0	22	22
3527W000-001	OXYGEN SENSOR	3	56,5	1	2	1
4A7033B	OIL SCAVENGE FILTER ASSY.	17	91,81	6	9	3
14330-350	VACUUM GENERATOR	79	83,24	25	29	4
2100-4043-02	FLIGHT DATA RECORDER	30	48,33	0	22	22
8378M12	AIR COMPRESSOR	11	74,33	1	5	4
4131020-4	LUBE MODULE	8	58,44	3	5	2
C24993000	SELECTOR VALVE	12	63,89	4	6	2
2LA456509-03	LED WING STROBE LIGHT WHITE-LH	6	54,68	1	11	10
930-1005-001	RP-1 RADAR PROCESSOR	14	43,78	1	5	4
45731-1391	IDG OIL COOLER	13	87,81	6	8	2
3616140-11	COOLING FAN ASSY	7	57,82	2	4	2
87292325V06	VENTILATION COMPUTER	7	38,48	1	3	2
612C3001-017	SYNC. LOCKING FEEDBACK ACT.	15	78,58	6	7	1
2100-4045-00	FLIGHT DATA RECORDER	30	48,33	0	22	22

2496M44P04	START AIR VALVE	88	75,11	17	39	22
C13206AA00	FLIGHT AUGMENTATION COMP.	19	62,79	4	7	3
465020-03030316	ADIRU	24	120	6	11	5
600611-00-601	CONTROLLER HEAT	18	71,14	6	7	1
4133801010	MG TPIS ROTATING MECHANISM	79	52,04	15	29	14
2100-1226-02	COCKPIT VOICE RECORDER	18	49,31	0	21	21
201590002-020	MLG RETRACTION ACTUATOR	45	55,57	10	20	10
2100-1026-02	COCKPIT VOICE RECORDER	18	49,31	0	21	21
63216083-4	START AIR VALVE	88	75,11	17	39	22
C24837102-2	NORMAL BRAKE MANIFOLD	22	82,36	5	12	7
1338-1430	TPIS ROTATING MECH.-NLG	23	38,45	4	9	5
350E053021212	FLIGHT WARNING COMPUTER	76	14,41	0	5	5
1303A0000-04	FLOW CONTROL VALVE	13	84,46	5	6	1
4A7033	OIL SCAVENGE FILTER ASSY.	17	91,81	6	9	3
CT141-1	CHECK VALVE	21	76,5	5	8	3
8100-0083	ACTUATOR VBV	21	101,3	8	10	2
70012-101	SLIDE OFFWING -LH	26	63,53	8	9	1
430201	DEDICATED ALTERNATOR STAT	17	39,87	4	13	9
9005000-11203	T3CAS COMPUTER	16	92,35	6	7	1
C24736100-1	HYDRAULIC CONTROL UNIT	22	76,4	7	9	2
TY1541-50	UPPER FEEDBACK ACTUATOR	13	44,01	2	8	6
64141-580-1	STANDBY ALTIMETER	18	52,59	5	9	4
980-4750-002	FLIGHT DATA RECORDER	30	48,33	0	22	22
6610-20567-01	ACTUATOR	19	43,9	3	7	4
1708897	INTEGRATED DRIVE GENERATOR	62	47,31	9	15	6
1338-1450	PRESSURE TRANSDUCER,NLG	21	39,35	0	8	8
980-6022-001	COCKPIT VOICE RECORDER	18	49,31	0	21	21
4952590	APU L/C DISCHARGE SENSOR	27	37,33	3	8	5
2LA005308-05	STROBE LIGHT UNIT	28	28,91	4	5	1
1806B0000-01	FLOW CONTROL VALVE	44	59,63	0	19	19
S005-4	CONTROL MODULE	29	67,3	7	8	1
Z014H000231B	CIDS DIRECTOR	29	31,96	5	6	1
1806D0000-02	FLOW CONTROL VALVE	44	59,63	0	19	19
4063-16082-3	ISOLATION VALVE	29	47,31	6	7	1
980-6032-023	COCKPIT VOICE RECORDER	18	49,31	0	21	21
VD3920	EXTRACTION FAN	20	34,38	4	5	1
1806D0000-01	FLOW CONTROL VALVE	44	59,63	0	19	19
8ES455967-01	POWER SUPPLY UNIT	34	41,18	5	10	5
796815-02-03	PRESELECTOR	46	32,54	6	9	3
980-4700-042	FLIGHT DATA RECORDER	30	48,33	0	22	22
01N65900	AUTOMATIC FIXED ELT	69	22,64	5	14	9
D30664-513	SLIDE FW LH/RH	59	22,58	4	8	4
D30665-513	SLIDE AFT LH/RH	53	17,81	3	6	3
327155-3	ENGINE ANTI-ICE VALVE	43	34,16	7	8	1
201590003	MLG RETRACTION ACTUATOR	45	55,57	10	20	10
Z014H000333B	CIDS DIRECTOR	48	36,77	8	9	1
1806B0000-02	FLOW CONTROL VALVE	44	59,63	0	19	19
441921-5	FUEL CONTROL UNIT	49	61,74	8	12	4
1706903	INTEGRATED DRIVE GENERATOR	62	47,31	9	15	6
S1821502-02	ELT KANNAD AF	63	44,46	12	13	1
822-0990-003	HF TRANSCEIVER	62	35,86	9	12	3
3886188-3	INLET GUIDE VANE ACTUATOR	77	47,62	15	17	2
1809A0000-01	ACTUATOR - INLET	75	49,59	12	16	4
088256-04644	BRAKE ACCUMULATOR	83	57,34	19	29	10
14330-230	FLUSH VALVE	75	51,5	13	25	12
63216083-3	START AIR VALVE	88	75,11	17	39	22
4133801011	MG TPIS ROTATING MECHANISM	79	52,04	15	29	14
AR4714-11	STRIKE CENTER	87	84,36	20	46	26
14330-375	VACUUM GENERATOR	79	83,24	25	29	4
8055515-4501	MULTI USE PRINTER	97	58,6	19	21	2
4-60000H883-00	DRAIN MAST	138	30,91	13	29	16
70895-1	BOX ASSY	113	22,18	11	14	3
AR4714-7	STRIKE LOWER/UPPER	120	78,44	28	51	23
4133801030	TRANSDUCER,WHEEL PRES MLG	136	31,58	11	27	16
70227A010001	CSAS OZONE CONVERTER	150	61,77	32	35	3

Tablo 3. 192 Komponent İçin Hizmet Seviyesi (10 Farklı Senaryo) ve Fiyat Parametreleri

PN	+%10	+%20	+%30	+%40	+%50	+%60	+%70	+%80	+%90	+%100	FİYAT (USD)
4-60000H883	0,866	0,948	0,970	0,991	0,995	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	13853
10-451701-000	0,953	0,977	0,989	0,995	0,998	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	40565
114193007	0,953	0,977	0,989	0,995	0,998	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	55315
114193008	0,953	0,977	0,989	0,995	0,998	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	55315
114193009	0,953	0,977	0,989	0,995	0,998	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	55315
114193010	0,953	0,977	0,989	0,995	0,998	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	55315
201590001	0,953	0,977	0,989	0,995	0,998	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	55315
125A3	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	2800
301-799-401-0	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	20162
1605100-02	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	20162
612C3001-015	0,982	0,982	0,982	0,982	0,982	0,982	0,982	0,982	0,982	0,982	83498
980-4700-003	0,439	0,789	0,950	0,992	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	3000
S800-3000-00	0,439	0,789	0,950	0,992	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	6100
980-6023-002	0,772	0,962	0,996	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	21016
2100-1025-02	0,772	0,962	0,996	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	10990
S200-0012-00	0,772	0,962	0,996	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	30800
1303A0000-03	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	3600
1806A0000-02	0,026	0,156	0,422	0,704	0,888	0,968	0,993	0,999	1,000	1,000	61211
262200008-0002	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	167300
2040081-101	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	25500
4063-16082-2	0,962	0,962	0,962	0,962	0,962	0,962	0,962	0,962	0,962	0,962	12410
2496M34P04	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	266091
8378M2	0,612	0,612	0,811	0,811	0,811	0,923	0,923	0,973	0,973	0,973	18366
14320-230	0,980	0,980	0,980	0,995	0,995	0,995	0,999	0,999	0,999	0,999	20637
301-790-101-0	0,985	0,985	0,985	0,985	0,985	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	159854
085225-04645	0,974	0,985	0,992	0,996	0,998	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	12840
085878-04645	0,974	0,985	0,992	0,996	0,998	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	12840
327155-2	0,978	0,978	0,978	0,978	0,978	0,978	0,978	0,978	0,978	0,978	94168
70722365-1	0,680	0,680	0,786	0,786	0,786	0,866	0,866	0,921	0,921	0,921	107068
465020-0303-0316	0,468	0,468	0,608	0,608	0,730	0,730	0,827	0,827	0,896	0,896	36837
465020-03040316	0,468	0,468	0,608	0,608	0,730	0,730	0,827	0,827	0,896	0,896	270350
600611-00-600	0,973	0,973	0,973	0,973	0,973	0,973	0,973	0,973	0,973	0,973	33236
B55968-004	0,972	0,972	0,972	0,972	0,972	0,985	0,985	0,985	0,985	0,985	54100
4950705	0,611	0,611	0,771	0,771	0,880	0,880	0,943	0,943	0,976	0,976	4500
9005000-10202	0,946	0,946	0,946	0,946	0,946	0,946	0,946	0,946	0,946	0,946	225000
2496M44P01	0,722	0,849	0,928	0,970	0,989	0,998	0,999	1,000	1,000	1,000	42256
63216083-1	0,722	0,849	0,928	0,970	0,989	0,998	0,999	1,000	1,000	1,000	101129
63216083-2	0,722	0,849	0,928	0,970	0,989	0,998	0,999	1,000	1,000	1,000	101129
C90ST-0003	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989	15613
C90ST0003	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989	13450
C12860AA06	0,962	0,962	0,962	0,962	0,962	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	59789
C24837102	0,767	0,870	0,934	0,934	0,969	0,987	0,987	0,995	0,998	0,998	104996
CT141	0,843	0,843	0,843	0,843	0,843	0,843	0,843	0,843	0,843	0,843	3118
S005-3	0,907	0,907	0,907	0,907	0,907	0,907	0,907	0,907	0,907	0,907	8843
S702Y0202	0,944	0,944	0,944	0,944	0,944	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	10500
740D8003-23	0,926	0,978	0,978	0,995	0,995	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	243408
740D8003-32	0,926	0,978	0,978	0,995	0,995	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	243408
TY1541-22	0,926	0,978	0,978	0,995	0,995	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	243408
TY1541-50A	0,926	0,978	0,978	0,995	0,995	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	243408
TY1541-51A	0,926	0,978	0,978	0,995	0,995	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	243408
744D8003-13	0,940	0,940	0,940	0,940	0,940	0,940	0,940	0,940	0,940	0,940	42382
TY1544-20E	0,940	0,940	0,940	0,940	0,940	0,940	0,940	0,940	0,940	0,940	14824
Z120H050830B	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	4750
201590002	0,953	0,977	0,989	0,995	0,998	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	55350
201590004	0,953	0,977	0,989	0,995	0,998	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	37301
980-6032-003	0,772	0,962	0,996	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	54500
2474M65P05	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	144813
6237M106B	0,945	0,945	0,945	0,989	0,989	0,989	0,998	0,998	0,998	0,998	54350
8062-1157	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	293365
64141-590-1	0,983	0,983	0,995	0,995	0,995	0,999	0,999	1,000	1,000	1,000	4500
430201-1	0,988	0,997	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	16500
3886188-2	0,972	0,972	0,972	0,972	0,972	0,985	0,985	0,985	0,985	0,985	18000

3888579-201	0,956	0,956	0,956	0,956	0,956	0,956	0,956	0,956	0,956	0,956	178225
9005000-10204	0,946	0,946	0,946	0,946	0,946	0,946	0,946	0,946	0,946	0,946	210015
AR4714-203	0,780	0,918	0,964	0,991	0,997	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	2500
C13043AA04	0,982	0,982	0,982	0,982	0,982	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	39000
Z120H030830B	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	8168
727-1313-02	0,987	0,987	0,987	0,987	0,987	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	2409
362-035-803-0	0,927	0,927	0,927	0,927	0,927	0,964	0,964	0,964	0,964	0,964	115591
441921-4	0,680	0,680	0,786	0,786	0,786	0,866	0,866	0,921	0,921	0,921	38000
796-815-01-02	0,943	0,943	0,943	0,975	0,975	0,975	0,990	0,990	0,990	0,990	2200
2248000-61	0,956	0,956	0,956	0,956	0,956	0,956	0,956	0,956	0,956	0,956	8400
3616140-7	0,974	0,974	0,974	0,974	0,974	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	14000
4951546	0,854	0,854	0,938	0,938	0,977	0,977	0,992	0,992	0,998	0,998	3600
AR4714-9	0,780	0,918	0,964	0,991	0,997	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	11171
C12860AA04	0,962	0,962	0,962	0,962	0,962	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	56942
TY1541-51	0,926	0,978	0,978	0,995	0,995	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	11000
2100-4045-22	0,439	0,789	0,950	0,992	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	14000
2100-1020-02	0,772	0,962	0,996	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	11001
10087-0102	0,992	0,992	0,992	0,999	0,999	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	2800
14320-230-201	0,980	0,980	0,980	0,995	0,995	0,995	0,999	0,999	0,999	0,999	20637
430153	0,988	0,997	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	4000
70722365-2	0,680	0,680	0,786	0,786	0,786	0,866	0,866	0,921	0,921	0,921	240136
23948-01AA	0,973	0,973	0,973	0,973	0,973	0,973	0,973	0,973	0,973	0,973	26987
D90ST2002-000	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989	3000
5421-14-932-430-8	0,944	0,944	0,944	0,944	0,944	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	10500
2LA456509-02	0,937	0,987	0,998	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	3057
1605100-01	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	8600
261811055-0303	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	167639
144-405-000-033	0,945	0,945	0,945	0,989	0,989	0,989	0,998	0,998	0,998	0,998	21500
114151004	0,982	0,982	0,982	0,982	0,982	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	1950
980-6032-020	0,772	0,962	0,996	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	40890
2100-1228-02	0,772	0,962	0,996	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	28000
4950944	0,854	0,854	0,938	0,938	0,977	0,977	0,992	0,992	0,998	0,998	7500
AR4714-201	0,868	0,931	0,967	0,991	0,997	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	2000
AW233030001-111	0,972	0,972	0,972	0,972	0,972	0,972	0,972	0,972	0,972	0,972	4500
C12860AA03	0,962	0,962	0,962	0,962	0,962	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	54777
ED48A200WR	0,981	0,981	0,981	0,981	0,981	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	81357
TY1544-20	0,940	0,940	0,940	0,940	0,940	0,940	0,940	0,940	0,940	0,940	3000
102EH2EB	0,986	0,986	0,986	0,986	0,986	0,986	0,986	0,986	0,986	0,986	15495
350E053022020	0,974	0,974	0,974	0,974	0,974	0,974	0,974	0,974	0,974	0,974	8000
612C3501-503	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989	51805
980-4750-001	0,439	0,789	0,950	0,992	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	42500
980-4750-009	0,439	0,789	0,950	0,992	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	33700
2100-4043-00	0,439	0,789	0,950	0,992	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	8250
980-6032-001	0,772	0,962	0,996	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	47150
14320-230-205	0,980	0,980	0,980	0,995	0,995	0,995	0,999	0,999	0,999	0,999	7500
772181A	0,812	0,885	0,885	0,934	0,934	0,965	0,982	0,982	0,991	0,991	390000
3616140-10	0,974	0,974	0,974	0,974	0,974	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	52500
2LA456509-01	0,937	0,987	0,998	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	3062
930-3001-001	0,980	0,980	0,980	0,980	0,980	0,980	0,980	0,980	0,980	0,980	30000
980-4750-003	0,439	0,789	0,950	0,992	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	38697
2100-4245-00	0,439	0,789	0,950	0,992	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	33925
3527W000-001	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	6830
4A7033B	0,931	0,931	0,931	0,969	0,969	0,969	0,988	0,988	0,988	0,988	62711
14330-350	0,971	0,971	0,983	0,983	0,983	0,990	0,990	0,994	0,994	0,994	17000
2100-4043-02	0,439	0,789	0,950	0,992	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	91865
8378M12	0,612	0,612	0,811	0,811	0,811	0,923	0,923	0,973	0,973	0,973	7500
4131020-4	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	102500
C24993000	0,980	0,980	0,980	0,980	0,980	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	5250
2LA456509-03	0,937	0,987	0,998	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	3920
930-1005-001	0,763	0,763	0,910	0,910	0,910	0,972	0,972	0,992	0,992	0,992	100875
45731-1391	0,985	0,985	0,985	0,985	0,985	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	2000
3616140-11	0,974	0,974	0,974	0,974	0,974	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	68491
87292325V06	0,961	0,961	0,961	0,961	0,961	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	7000
612C3001-017	0,982	0,982	0,982	0,982	0,982	0,982	0,982	0,982	0,982	0,982	88967
2100-4045-00	0,439	0,789	0,950	0,992	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	17950
2496M44P04	0,722	0,849	0,928	0,970	0,989	0,998	0,999	1,000	1,000	1,000	101129
C13206AA00	0,887	0,887	0,887	0,951	0,951	0,951	0,981	0,981	0,981	0,981	99376

465020-03030316	0,468	0,468	0,608	0,608	0,730	0,730	0,827	0,827	0,896	0,896	18000
600611-00-601	0,973	0,973	0,973	0,973	0,973	0,973	0,973	0,973	0,973	0,973	1500
4133801010	0,961	0,978	0,994	0,997	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	3250
2100-1226-02	0,772	0,962	0,996	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	26350
201590002-020	0,953	0,977	0,989	0,995	0,998	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	29500
2100-1026-02	0,772	0,962	0,996	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	12700
63216083-4	0,722	0,849	0,928	0,970	0,989	0,998	0,999	1,000	1,000	1,000	92285
C24837102-2	0,767	0,870	0,934	0,934	0,969	0,987	0,987	0,995	0,998	0,998	42000
1338-1430	0,963	0,963	0,988	0,988	0,996	0,996	0,999	0,999	1,000	1,000	2000
350E053021212	0,199	0,199	0,423	0,423	0,647	0,647	0,815	0,815	0,916	0,916	27500
1303A0000-04	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	4575
4A7033	0,931	0,931	0,931	0,969	0,969	0,969	0,988	0,988	0,988	0,988	4250
CT141-1	0,843	0,843	0,843	0,921	0,921	0,921	0,964	0,964	0,964	0,964	2601
8100-0083	0,927	0,927	0,927	0,927	0,927	0,964	0,964	0,964	0,964	0,964	67500
70012-101	0,982	0,982	0,982	0,982	0,982	0,982	0,982	0,982	0,982	0,982	61592
430201	0,988	0,997	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	38504
9005000-11203	0,946	0,946	0,946	0,946	0,946	0,946	0,946	0,946	0,946	0,946	260000
C24736100-1	0,955	0,955	0,955	0,955	0,955	0,980	0,980	0,980	0,980	0,980	32000
TY1541-50	0,926	0,978	0,978	0,995	0,995	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	11000
64141-580-1	0,983	0,983	0,995	0,995	0,995	0,999	0,999	1,000	1,000	1,000	4000
980-4750-002	0,439	0,789	0,950	0,992	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	91865
6610-20567-01	0,918	0,918	0,971	0,971	0,971	0,991	0,991	0,998	0,998	0,998	2000
1708897	0,812	0,885	0,885	0,934	0,934	0,965	0,982	0,982	0,991	0,991	178007
1338-1450	0,339	0,606	0,807	0,920	0,920	0,972	0,991	0,998	0,999	0,999	3300
980-6022-001	0,772	0,962	0,996	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	9500
4952590	0,854	0,854	0,938	0,938	0,977	0,977	0,992	0,992	0,998	0,998	4500
2LA005308-05	0,974	0,974	0,974	0,974	0,974	0,974	0,974	0,974	0,974	0,974	500
1806B0000-01	0,026	0,156	0,422	0,704	0,888	0,968	0,993	0,999	1,000	1,000	20003
S005-4	0,907	0,907	0,907	0,907	0,907	0,907	0,907	0,907	0,907	0,907	8843
Z014H000231B	0,985	0,985	0,985	0,985	0,985	0,985	0,985	0,985	0,985	0,985	51002
1806D0000-02	0,026	0,156	0,422	0,704	0,888	0,968	0,993	0,999	1,000	1,000	39795
4063-16082-3	0,962	0,962	0,962	0,962	0,962	0,962	0,962	0,962	0,962	0,962	3551
980-6032-023	0,772	0,962	0,996	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	41004
VD3920	0,987	0,987	0,987	0,987	0,987	0,987	0,987	0,987	0,987	0,987	2600
1806D0000-01	0,026	0,156	0,422	0,704	0,888	0,968	0,993	0,999	1,000	1,000	38633
8ES455967-01	0,906	0,906	0,958	0,958	0,983	0,983	0,994	0,994	0,998	0,998	7615
796815-02-03	0,943	0,943	0,943	0,975	0,975	0,975	0,990	0,990	0,990	0,990	3350
980-4700-042	0,439	0,789	0,950	0,992	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	4800
01N65900	0,858	0,930	0,969	0,987	0,995	0,998	0,999	1,000	1,000	1,000	6500
D30664-513	0,837	0,837	0,923	0,923	0,923	0,967	0,967	0,987	0,987	0,987	51000
D30665-513	0,879	0,879	0,879	0,952	0,952	0,952	0,983	0,983	0,983	0,983	46829
327155-3	0,978	0,978	0,978	0,978	0,978	0,978	0,978	0,978	0,978	0,978	65000
201590003	0,953	0,977	0,989	0,995	0,998	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	37230
Z014H000333B	0,974	0,974	0,974	0,974	0,974	0,974	0,974	0,974	0,974	0,974	117707
1806B0000-02	0,026	0,156	0,422	0,704	0,888	0,968	0,993	0,999	1,000	1,000	25000
441921-5	0,680	0,680	0,786	0,786	0,786	0,866	0,866	0,921	0,921	0,921	48500
1706903	0,812	0,885	0,885	0,934	0,934	0,965	0,982	0,982	0,991	0,991	320000
S1821502-02	0,975	0,975	0,975	0,975	0,975	0,975	0,975	0,975	0,975	0,975	6078
822-0990-003	0,953	0,953	0,953	0,978	0,978	0,978	0,990	0,990	0,990	0,990	10000
3886188-3	0,972	0,972	0,972	0,972	0,972	0,985	0,985	0,985	0,985	0,985	54109
1809A0000-01	0,850	0,850	0,906	0,906	0,906	0,944	0,944	0,969	0,969	0,969	9000
088256-04644	0,974	0,985	0,992	0,996	0,998	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	8500
14330-230	0,928	0,958	0,977	0,988	0,994	0,999	0,999	1,000	1,000	1,000	1850
63216083-3	0,722	0,849	0,928	0,970	0,989	0,998	0,999	1,000	1,000	1,000	88179
4133801011	0,961	0,978	0,994	0,997	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	4400
AR4714-11	0,780	0,918	0,964	0,991	0,997	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	3800
14330-375	0,971	0,971	0,983	0,983	0,983	0,990	0,990	0,994	0,994	0,994	25000
8055515-4501	0,891	0,891	0,891	0,891	0,891	0,928	0,928	0,928	0,928	0,928	4900
4-60000H883-00	0,866	0,948	0,970	0,991	0,995	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	13853
70895-1	0,976	0,976	0,976	0,989	0,989	0,989	0,995	0,995	0,995	0,995	7927
AR4714-7	0,868	0,931	0,967	0,991	0,997	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	2000
4133801030	0,706	0,861	0,911	0,968	0,982	0,995	0,999	0,999	1,000	1,000	6309
70227A010001	0,941	0,941	0,941	0,960	0,960	0,960	0,973	0,973	0,973	0,973	11450

Tablo 4. 192 Komponent İçin Yedek Yatırımı Parametreleri (10 Farklı Senaryo)

PN	+%10	+%20	+%30	+%40	+%50	+%60	+%70	+%80	+%90	+%100
4-60000H883	2	4	5	7	8	10	12	13	15	16
10-451701-000	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
114193007	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
114193008	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
114193009	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
114193010	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
201590001	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
125A3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
301-799-401-0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1605100-02	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
612C3001-015	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
980-4700-003	3	5	7	9	11	14	16	18	20	22
S800-3000-00	3	5	7	9	11	14	16	18	20	22
980-6023-002	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
2100-1025-02	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
S200-0012-00	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
1303A0000-03	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1806A0000-02	2	4	6	8	10	12	14	16	18	19
262200008-0002	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
2040081-101	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4063-16082-2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2496M34P04	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8378M2	1	1	2	2	2	3	3	4	4	4
14320-230	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3
301-790-101-0	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
085225-04645	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
085878-04645	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
327155-2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
70722365-1	1	1	2	2	2	3	3	4	4	4
465020-0303-0316	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5
465020-03040316	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5
600611-00-600	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
B55968-004	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
4950705	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5
9005000-10202	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2496M44P01	3	5	7	9	11	14	16	18	20	22
63216083-1	3	5	7	9	11	14	16	18	20	22
63216083-2	3	5	7	9	11	14	16	18	20	22
C90ST-0003	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C90ST0003	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C12860AA06	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
C24837102	1	2	3	3	4	5	5	6	7	7
CT141	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S005-3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S702Y0202	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
740D8003-23	1	2	2	3	3	4	5	5	6	6
740D8003-32	1	2	2	3	3	4	5	5	6	6
TY1541-22	1	2	2	3	3	4	5	5	6	6
TY1541-50A	1	2	2	3	3	4	5	5	6	6
TY1541-51A	1	2	2	3	3	4	5	5	6	6
744D8003-13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
TY1544-20E	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Z120H050830B	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
201590002	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
201590004	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
980-6032-003	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
2474M65P05	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
6237M106B	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3
8062-1157	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
64141-590-1	1	1	2	2	2	3	3	4	4	4

430201-1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9
3886188-2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
3888579-201	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9005000-10204	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
AR4714-203	3	6	8	11	13	16	19	21	24	26
C13043AA04	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
Z120H030830B	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
727-1313-02	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
362-035-803-0	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
441921-4	1	1	2	2	2	3	3	4	4	4
796-815-01-02	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3
2248000-61	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3616140-7	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
4951546	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5
AR4714-9	3	6	8	11	13	16	19	21	24	26
C12860AA04	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
TY1541-51	1	2	2	3	3	4	5	5	6	6
2100-4045-22	3	5	7	9	11	14	16	18	20	22
2100-1020-02	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
10087-0102	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3
14320-230-201	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3
430153	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9
70722365-2	1	1	2	2	2	3	3	4	4	4
23948-01AA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
D90ST2002-000	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5421-14-932-430-8	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
2LA456509-02	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1605100-01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
261811055-0303	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
144-405-000-033	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3
114151004	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
980-6032-020	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
2100-1228-02	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
4950944	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5
AR4714-201	3	5	7	10	12	14	17	19	21	23
AW233030001-111	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C12860AA03	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
ED48A200WR	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
TY1544-20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
102EH2EB	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
350E053022020	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
612C3501-503	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
980-4750-001	3	5	7	9	11	14	16	18	20	22
980-4750-009	3	5	7	9	11	14	16	18	20	22
2100-4043-00	3	5	7	9	11	14	16	18	20	22
980-6032-001	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
14320-230-205	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3
772181A	1	2	2	3	3	4	5	5	6	6
3616140-10	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
2LA456509-01	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
930-3001-001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
980-4750-003	3	5	7	9	11	14	16	18	20	22
2100-4245-00	3	5	7	9	11	14	16	18	20	22
3527W000-001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4A7033B	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3
14330-350	1	1	2	2	2	3	3	4	4	4
2100-4043-02	3	5	7	9	11	14	16	18	20	22
8378M12	1	1	2	2	2	3	3	4	4	4
4131020-4	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
C24993000	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
2LA456509-03	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
930-1005-001	1	1	2	2	2	3	3	4	4	4
45731-1391	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
3616140-11	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
87292325V06	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
612C3001-017	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2100-4045-00	3	5	7	9	11	14	16	18	20	22

2496M44P04	3	5	7	9	11	14	16	18	20	22
C13206AA00	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3
465020-03030316	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5
600611-00-601	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4133801010	2	3	5	6	7	9	10	12	13	14
2100-1226-02	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
201590002-020	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2100-1026-02	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
63216083-4	3	5	7	9	11	14	16	18	20	22
C24837102-2	1	2	3	3	4	5	5	6	7	7
1338-1430	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5
350E053021212	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5
1303A0000-04	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4A7033	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3
CT141-1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3
8100-0083	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
70012-101	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
430201	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9
9005000-11203	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C24736100-1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
TY1541-50	1	2	2	3	3	4	5	5	6	6
64141-580-1	1	1	2	2	2	3	3	4	4	4
980-4750-002	3	5	7	9	11	14	16	18	20	22
6610-20567-01	1	1	2	2	2	3	3	4	4	4
1708897	1	2	2	3	3	4	5	5	6	6
1338-1450	1	2	3	4	4	5	6	7	8	8
980-6022-001	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
4952590	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5
2LA005308-05	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1806B0000-01	2	4	6	8	10	12	14	16	18	19
S005-4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Z014H000231B	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1806D0000-02	2	4	6	8	10	12	14	16	18	19
4063-16082-3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
980-6032-023	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
VD3920	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1806D0000-01	2	4	6	8	10	12	14	16	18	19
8ES455967-01	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5
796815-02-03	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3
980-4700-042	3	5	7	9	11	14	16	18	20	22
01N65900	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9
D30664-513	1	1	2	2	2	3	3	4	4	4
D30665-513	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3
327155-3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
201590003	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Z014H000333B	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1806B0000-02	2	4	6	8	10	12	14	16	18	19
441921-5	1	1	2	2	2	3	3	4	4	4
1706903	1	2	2	3	3	4	5	5	6	6
S1821502-02	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
822-0990-003	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3
3886188-3	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
1809A0000-01	1	1	2	2	2	3	3	4	4	4
088256-04644	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
14330-230	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12
63216083-3	3	5	7	9	11	14	16	18	20	22
4133801011	2	3	5	6	7	9	10	12	13	14
AR4714-11	3	6	8	11	13	16	19	21	24	26
14330-375	1	1	2	2	2	3	3	4	4	4
8055515-4501	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
4-60000H883-00	2	4	5	7	8	10	12	13	15	16
70895-1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3
AR4714-7	3	5	7	10	12	14	17	19	21	23
4133801030	2	4	5	7	8	10	12	13	15	16
70227A010001	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3