

**A SINIFI MALZEMELERİN TALEP MODELLEMESİ VE  
STOK KONTROLÜ: BİR YÖNTEM VE UYGULAMA  
ÇALIŞMASI**

**DEMAND MODELING AND INVENTORY CONTROL OF  
CLASS A ITEMS: A METHODOLOGY AND  
IMPLEMENTATION STUDY**

**ELİF ŞEBNEM GENCAN**

**DR. ÖĞRETİM ÜYESİ BANU YÜKSEL ÖZKAYA**  
**Tez Danışmanı**

Hacettepe Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü  
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2024

## İthaf Sayfası

Hayatım boyunca binlerce km tek bir adımla başlar diyerek her şeyi yapabileceğimi ve öğrenmenin gücünü bana öğreten ve hep yanımda olan annem Tülay Demet BALOĞLU, babam Hüseyin BALOĞLU, kardeşim Mükremin Kerem BALOĞLU 'a ve bu yolculukta bana tam destek eşim Erdi GENCAN 'a ithaf ediyorum.

## ÖZET

### A SINIFI MALZEMELERİN TALEP MODELLEMESİ VE STOK KONTROLÜ: BİR YÖNTEM VE UYGULAMA ÇALIŞMASI

**Elif Şebnem GENCAN**

**Yüksek Lisans, Endüstri Mühendisliği Bölümü**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğretim Üyesi Banu YÜKSEL ÖZKAYA**

**Mayıs 2024, 119 sayfa**

Günümüzde, firmaların müşteri isteklerini karşılamaları ve pazar payında istediği yerde kalabilmeleri için hem üretim hem de hizmet ve/veya bakım onarım amaçlı geniş bir yelpazede yedek parça tutmaları gerekmektedir. Firma içerisinde yer alan servis ya da entegre lojistik destek (ELD), satış sonrası hizmetler için yedek parça stok tutulması büyük bir önem arz etmektedir. ELD stok politikasının müşteri ihtiyaçlarını zamanında karşılarlarken müşteri ile yapılmış sözleşme şartları içerisinde maliyeti de minimize etmesi gerekmektedir. Maliyet minimizasyonu amacı gerçekleştirilirken stoksuzluk maliyetine veya kabul edilebilecek maksimum stoksuzluk seviyesine dikkat edilmelidir. Bu nedenle, dikkate alınan malzemeye bağlı olarak belli bir güvenilirlik seviyesini sağlamak gerekmektedir. Stoku tutulan bazı malzemeler firma tarafından üretilirken bazıları ise dış üreticilerden temin edilmektedir. Her iki durum için de firmanın bu malzemeler için tutması gereken en iyi stok miktarlarını belirlemede maliyet minimizasyonu amacına eşlik eden pek çok kısıt bulunmaktadır.

Ele alınan problem çerçevesinde, ELD içerisindeki tüm alımlar tedarik kapsamında değerlendirilmekte olup iç ve dış tedarik olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. İç tedarik firmanın kendi üretimi malzemeler için olan talepler ve dış tedarik ise satın alması yapılan

malzemeler için tedariktir. Her iki gruptaki malzemeler ise maliyet ve taleplere göre çeşitlilik göstermektedir. Proje bazlı çalışan firmalarda stok hesaplama ve kontrollerinde kullandıkları kısıtlar ve parametreler değıştikçe depolanacak adetlerde farklılıklar görünebilir. Bu etkilenmeler malzemenin duyarlılığını ve durumlara karşı esnekliğini gösterir. Envanter sistemlerinin maliyet/getiri anlamında çok büyük kısmını oluşturan ve bunları açıklayabilen A sınıfı malzemelerdir.

Bu tez kapsamında, savunma sanayi entegre lojistik destek birimi faaliyetleri kapsamında seçilen A sınıfı bir yedek parça için müşteri deposu bulunan onarım yapılabilme; gelen taleplerinin dağılımına, malzeme tedariki için değışen tedarik zamanı dağılımı değışimlerine, kurulum, elde bulundurma ve geri ısmarlama maliyetlerinin değışiminden etkilenme ve tüm bu kısıtlara karşı duyarlılığının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda envanter modeli oluşturularak varsayımlar belirlenmiştir. Varsayımlar ışığında oluşturulan denklemler ile Matlab programında birim ve bileşik Poisson'a uygun matematiksel modeller oluşturulmuş ve belirlenmiş parametre senaryoları için optimal parametre değerleri hesaplanarak duyarlılığı analiz edilmek istenen onarım durumu ve taleplerin geliş dağılımları için yine Matlab programında kodlanmış olan simülasyon modellerinde çalıştırılmıştır. Performans ölçütleri kıyaslaması yapılmış ve hipotez testleri kurularak duyarlılıkları incelenmiştir. Sonuçlara göre duyarlılık durumları ve farklılıkları incelenirken güncel politika ile oluşan fark da değerlendirilmiştir. Tüm değerlendirme ve duyarlılık incelemeleri sonucunda uygulama çalışması ve karşılaştırması yapılmıştır. Bu uygulama çalışması, matematiksel ve simülasyon modelleri ile sürece ve ürüne uygun stok politikası kullanımının sayısal olarak etkisi de gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** A sınıfı malzemeler, Stok kontrol, Yedek parça, (s, S) stok politikası

## **ABSTRACT**

### **DEMAND MODELING AND INVENTORY CONTROL OF CLASS A ITEMS: A METHODOLOGY AND IMPLEMENTATION STUDY**

**Elif Şebnem GENCAN**

**Master, Department of Industrial Engineering**

**Supervisor: Dr. Ass. Banu YÜKSEL ÖZKAYA**

**May 2024, 119 pages**

Nowadays, companies need to keep a wide range of spare parts for both production and service and/or maintenance repair purposes in order to meet customer requests and stay where they want in the market share. It is of great importance to keep spare parts in stock for the service or integrated logistics support (ILS), after-sales services within the company. ILS inventory policy should minimize the cost within the terms of the contract concluded with the customer while meeting the customer's needs on time. When realizing the purpose of cost minimization, attention should be paid to the cost of out-of-stock or the maximum acceptable level of out-of-stock. Therefore, it is necessary to provide a certain level of reliability depending on the material being considered. Some of the materials that are kept in stock are produced by the company, while others are supplied from external manufacturers. For both cases, there are many restrictions accompanying the cost minimization goal in determining the best inventory amounts that the company should keep for these materials. Within the framework of the problem under consideration, all purchases within the ILS are evaluated within the scope of procurement and are divided into two groups, internal and external procurement. Internal supply is the demand for the company's own manufactured materials, and external supply is the supply for the purchased materials. The materials in both groups vary according to the costs and demands. In project-based companies, there may be differences in the quantities to be

stored as the restrictions and parameters they use in inventory calculation and control change. These influences indicate the sensitivity of the material and its flexibility to situations. They are class A materials that make up a very large part of inventory systems in terms of cost/return and can explain them.

Within the scope of this thesis, it is aimed to make repairs with a customer warehouse for a class A spare part selected within the scope of defense industry integrated logistics support unit activities; to determine the distribution of incoming requests, changing lead time distribution changes for material supply, being affected by the change of set-up, holding and backorder costs, and its sensitivity to all these restrictions. For this purpose, an inventory model was created and assumptions were determined. Mathematical models suitable for unit and compound Poisson were created in the Matlab program with the equations created in the light of the assumptions, and by calculating the optimal parameter values for the determined parameter scenarios, they were run in the simulation models coded in the Matlab program for the repair situation and demand distributions whose sensitivity was desired to be analyzed. Performance measures were compared and their sensitivity was examined by establishing hypothesis tests. While the sensitivity levels and differences were examined according to the results, the difference with the current policy was also evaluated. As a result of all evaluations and sensitivity reviews, an application study and comparison was made. In this application study, the numerical effect of using a stock policy appropriate to the process and product is also demonstrated through mathematical and simulation models.

**Keywords:** Class A materials, Stock control, Spare parts, (s, S) inventory policy

## TEŞEKKÜR

Bu çalıőmanın gerçekleőtirilmesinde, iki yıl boyunca değerli bilgilerini bizlerle paylaőan, sarf ettikleri her kelimenin hayatıma kattığı önemini asla unutmayacağım saygıdeğer hocalarıma ve çalıőmamda benimle birlikte dűőünen anlayıőıyla mesleğimi bana bir kez daha sevdiren çok sevgili danıőman hocam Dr. Öğr. Banu YÜKSEK ÖZKAYA' ya,

Çalıőmamın her adımında değerli bilgi ve tecrübesi ile yanımda olan yöneticilerim Ahmet Fazıl YAğLI ve Mehmet GÜLLÜ 'ye,

Çalıőmam boyunca yanımda beni hiç yalnız bırakmayan ve çalışma süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen eşim Erdi GENCAN 'a

Hayatımın her evresinde bana destek olup her őeyi başarabileceğimi öğreten hayat hocalarım canım annem Tűlay Demet, babam Hüseyin ve kardeőim Mükremin Kerem BALOęLU 'na

Yüksek lisans hayatının hayatıma kattığı en güzel kalpli dostlar İzel ÖRK, Hira Tuna ÜNLÜ ve Neslihan GÜDEK 'e

Sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Elif şebnem GENCAN

Mayıs 2024, Ankara

# İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE METODOLOJİ .....	3
2.1. Envanter Yönetimi.....	3
2.2. Stok Maliyetleri.....	5
2.3. Stok Politikasının Belirlenmesi .....	6
2.4. A Sınıfı Malzemelerin Belirlenmesi.....	7
2.5. Yedek Parça Tahminleme Çalışmaları.....	10
2.5.1. Güvenilirliğe Dayalı Tahminleme .....	10
2.5.2. Zaman Serilerine Bağlı Tahminleme.....	11
2.5.3. Yargısal Temelli Tahminleme.....	11
2.6. Güvenilirlik.....	12
2.7. Farklı Sektörlerden Uygulama İncelemeleri .....	16
2.7.1. Havacılık Sektöründe Envanter Modelleri Üzerine Çalışma İncelemeleri.....	16
2.7.2. Madencilik Sektöründe Envanter Modelleri Üzerine Çalışma İncelemeleri.....	16
2.8. Tezin Literatüre Katkısı .....	17
3. ENVANTER MODELİ OLUŞTURMA .....	19
3.1. Envanter Modelinin Varsayımları .....	19
3.2. Analitik Model.....	23
3.2.1. Birim Poisson Sürecine Göre Gelen Talep Durumu.....	25
3.2.2. Bileşik Poisson Sürecine göre Gelen Talep Durumu .....	27

3.3. Simülasyon .....	31
3.3.1. Dağılım Farklılıklarının Değerlendirilmesi İçin Oluşturulan Simülasyon Modeli .....	31
3.3.1.1. Kavramsal Model.....	31
3.3.1.2. Simülasyon Süreç Akışı .....	32
3.3.2. Onarım Süreci Dahil Simülasyon .....	33
3.3.2.1. Kavramsal Model.....	34
3.3.2.2. Simülasyon Süreç Akışı .....	35
4. SAYISAL ANALİZ.....	37
4.1. Birim Talep Poisson Sürecine Göre Gelen Talep .....	38
4.1.1. Talep Sürecindeki Dağılım Farklılığının Analizi .....	42
4.1.2. Onarım Süreci Dahil Edildiği Durumun Analizi.....	51
4.2. Bileşik Talep Poisson Sürecine Göre Gelen Talep .....	58
4.2.1. Talep Sürecindeki Dağılım Farklılığının Analizi .....	67
4.2.2. Onarım Süreci Dahil Edildiği Durumun Analizi.....	76
4.3. Uygulama Çalışması .....	84
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME .....	89
6. KAYNAKLAR.....	92
ÖZGEÇMİŞ .....	95

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: RAMS Diyagramı [36] .....	12
Şekil 2.2: Güvenirlik Göstergeleri [38].....	14
Şekil 3.1: A Tipi Malzeme için Envanter Süreç Akış Diyagramı .....	22
Şekil 3.2: A Tipi Malzeme Analitik Model Süreç Akışı.....	23
Şekil 3.3: $t, t + L$ Zaman Skalası .....	24
Şekil 3.4: Envanter Pozisyonu $S$ Olan Durum için Geçiş Diyagramı .....	28
Şekil 3.5: Envanter Pozisyonu $m$ Olan Durum için Geçiş Diyagramı .....	29
Şekil 3.6: Simülasyon Süreç Akış Şeması .....	33
Şekil 3.7: Onarım Süreci Dahil Simülasyon Süreç Akış Şeması .....	36
Şekil 4.1: $\lambda = 8, L = 0,01, A = 400, h = 8, b = 36$ değerlerinde $ACs, S$ grafiği ( $s \in 1, \dots, 10$ ve $S = 1, \dots, 20$ için).....	38
Şekil 4.2: $\lambda = 8, L = 0,01, A = 400, h = 8, b = 36$ değerlerinde $ACs, S$ grafiği ( $s \in 1, \dots, 15$ ve $S = 1, \dots, 50$ için).....	39
Şekil 4.3: Beta Dağılımı ile Gelen Birim Talep $\Delta_{AC}\%$ Kutu Grafiği.....	45
Şekil 4.4: Beta Dağılımı ile Gelen Birim Talep $\Delta_{SM}\%$ Kutu Grafiği.....	45
Şekil 4.5: Beta Dağılımı ile Gelen Birim Talep $\Delta_{GM}\%$ Kutu Grafiği.....	45
Şekil 4.6: Lognormal Dağılımı ile Gelen Birim Talep $\Delta_{AC}\%$ Kutu Grafiği.....	48
Şekil 4.7: Lognormal Dağılımı ile Gelen Birim Talep $\Delta_{SM}\%$ Kutu Grafiği.....	48
Şekil 4.8: Lognormal Dağılımı ile Gelen Birim Talep $\Delta_{GM}\%$ Kutu Grafiği.....	48
Şekil 4.9: Onarımlı Ek Depo için $\Delta_{AC}\%$ Kutu Grafiği.....	57
Şekil 4.10: Onarımlı Ek Depo için $\Delta_{SM}\%$ Kutu Grafiği.....	57
Şekil 4.11: Onarımlı Ek Depo için $\Delta_{GM}\%$ Kutu Grafiği.....	57
Şekil 4.12: $\lambda = 3.2, L = 0,01, A = 400, h = 8, b = 36$ değerlerinde $ACs, S$ grafiği ( $s \in 1, \dots, 10$ ve $S \in 1, \dots, 20$ için).....	59
Şekil 4.13: $\lambda = 3.2, L = 0,01, A = 400, h = 8, b = 36$ değerlerinde $ACs, S$ grafiği ( $s \in 1, \dots, 15$ ve $S \in 1, \dots, 50$ için).....	59
Şekil 4.14: $P1 = P2 = P3 = P4 = 0.25$ değerlerinde $P(IP = k)$ grafiği ( $s = 5$ ve $S = 20$ için) .....	60
Şekil 4.15: $P1 = 0.3, P2 = 0.1, P3 = 0.2, P4 = 0.4$ değerlerinde $P(IP = k)$ grafiği ( $s = 5$ ve $S = 20$ için) .....	60
Şekil 4.16: Bileşik Poisson için $\Delta_{AC}\%$ Kutu Grafiği.....	66
Şekil 4.17: Bileşik Poisson için $\Delta_{SM}\%$ Kutu Grafiği .....	67
Şekil 4.18: Bileşik Poisson için $\Delta_{GM}\%$ Kutu Grafiği.....	67
Şekil 4.19: Beta Dağılımı ile Gelen Bileşik Talep için $\Delta_{AC}\%$ Kutu Grafiği.....	71
Şekil 4.20: Beta Dağılımı ile Gelen Bileşik Talep için $\Delta_{SM}\%$ Kutu Grafiği.....	71
Şekil 4.21: Beta Dağılımı ile Gelen Bileşik Talep için $\Delta_{GM}\%$ Kutu Grafiği .....	72
Şekil 4.22: Lognormal Dağılımı ile Gelen Bileşik Talep için $\Delta_{AC}\%$ Kutu Grafiği .....	74

Şekil 4.23: Lognormal Dağılımı ile Gelen Bileşik Talep için $\Delta_{SM}$ % Kutu Grafiği.....	74
Şekil 4.24: Lognormal Dağılımı ile Gelen Bileşik Talep için $\Delta_{GM}$ % Kutu Grafiği .....	75
Şekil 4.25: Onarımlı Ek Depo Bileşik Talep için $\Delta_{AC}$ % Kutu Grafiği .....	82
Şekil 4.26: Onarımlı Ek Depo Bileşik Talep için $\Delta_{SM}$ % Kutu Grafiği.....	82
Şekil 4.27: Onarımlı Ek Depo Bileşik Talep için $\Delta_{GM}$ % Kutu Grafiği .....	83
Şekil 4.28: Birim Poisson Uygulama Çalışması için $\Delta_{AC}$ % Kutu Grafiği.....	86
Şekil 4.29: Birim Poisson Uygulama Çalışması için $\Delta_{SM}$ % Kutu Grafiği .....	86
Şekil 4.30: Birim Poisson Uygulama Çalışması için $\Delta_{GM}$ % Kutu Grafiği.....	86
Şekil 4.31: Bileşik Poisson Uygulama Çalışması için $\Delta_{AC}$ % Kutu Grafiği.....	87
Şekil 4.32: Bileşik Poisson Uygulama Çalışması için $\Delta_{SM}$ % Kutu Grafiği.....	88



## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1: Envanter Sistemi Bileşenleri ve Tanımları .....	21
Çizelge 3.2: Birim ve Bileşik Poisson Sürecine göre İncelenecek Stok Politikasında Kullanılacak Notasyonlar ve Açıklamaları.....	24
Çizelge 4.1: Matematiksel ve Simülasyon Modelinde Ele Alınan Sistem Parametre Senaryoları.....	38
Çizelge 4.2: $\lambda = 8$ için Birim Poisson Sürecine Göre Gelen Talep için Duyarlılık Analizleri.....	41
Çizelge 4.3: $\lambda = 24$ için Birim Poisson Sürecine Göre Gelen Talep için Duyarlılık Analizleri .....	42
Çizelge 4.4: Beta Dağılımlı Talepler Arası Geliş için Performans Ölçütleri .....	46
Çizelge 4.5: Lognormal Dağılımlı Talepler Arası Geliş için Performans Ölçütleri.....	49
Çizelge 4.6: Beta ve Lognormal Dağılımlı Talepler Arası Geliş için Hipotez Test Sonuçları ( $\alpha = 0,05$ ) .....	50
Çizelge 4.7: Onarımlı Ek Depo için Performans Ölçütleri .....	56
Çizelge 4.8: Onarımlı Ek Depo için Hipotez Test Sonuçları $\alpha = 0,05$ .....	58
Çizelge 4.9: $\lambda = 3.2$ için Bileşik Poisson Sürecine Göre Gelen Talep için Duyarlılık Analizleri.....	61
Çizelge 4.10: $\lambda = 9.6$ için Bileşik Poisson Sürecine Göre Gelen Talep için Duyarlılık Analizleri .....	62
Çizelge 4.11: $\lambda = 3.2$ için Bileşik Poisson için Performans Ölçütleri .....	64
Çizelge 4.12: $\lambda = 9.6$ için Bileşik Poisson için Performans Ölçütleri .....	65
Çizelge 4.13: $\lambda = 3.2$ için Beta Dağılımlı Talepler Arası Geliş için Performans Ölçütleri.....	69
Çizelge 4.14: $\lambda = 9.6$ için Beta Dağılımlı Talepler Arası Geliş için Performans Ölçütleri.....	70
Çizelge 4.15: $\lambda = 3,2$ Lognormal Dağılımlı Talepler Arası Geliş için Performans Ölçütleri .....	72
Çizelge 4.16: $\lambda = 9,6$ Lognormal Dağılımlı Talepler Arası Geliş için Performans Ölçütleri .....	73
Çizelge 4.14: Beta ve Lognormal Dağılımlı Talepler Arası Geliş için Hipotez Test Sonuçları ( $\alpha = 0,05$ ) .....	75
Çizelge 4.15: $\lambda = 3.2$ Onarımlı Ek Depo için Performans Ölçütleri.....	78
Çizelge 4.16: $\lambda = 9.6$ Onarımlı Ek Depo için Performans Ölçütleri.....	79
Çizelge 4.17: Onarımlı Ek Depo için Hipotez Test Sonuçları.....	83
Çizelge 4.18: Birim Poisson Uygulama Çalışması için Performans Ölçütleri.....	85
Çizelge 4.19: Bileşik Poisson Uygulama Çalışması için Performans Ölçütleri .....	87

# 1. GİRİŞ

Günümüzde, firmaların müşteri isteklerini karşılamaları ve pazar payında istediği yerde kalabilmeleri için hem üretim hem de hizmet ve/veya bakım onarım amaçlı geniş bir yelpazede yedek parça tutmaları gerekmektedir. Firma içerisinde yer alan servis ya da entegre lojistik destek (ELD), bir başka deyişle satış sonrası hizmetler için yedek parça stok tutulması büyük bir önem arz etmektedir. ELD stok politikasının müşteri ihtiyaçlarını zamanında karşılarken- müşteri ile yapılmış sözleşme şartları içerisinde - maliyeti en azlaması gerekmektedir. Maliyet en azlaması amacı gerçekleştirilirken kabul edilebilecek maksimum stoksuzluk seviyesine dikkat edilmelidir. Bu nedenle, dikkate alınan malzemeye bağlı olarak belli bir güvenilirlik seviyesini sağlamak gerekmektedir. Stokta tutulan bazı malzemeler firma tarafından üretilirken bazıları ise dış üreticilerden temin edilmektedir. Her iki durum için de firmanın bu malzemeler için tutması gereken en iyi stok miktarlarını belirlemede maliyet en azlamak amacına eşlik eden pek çok kısıt bulunmaktadır.

Bu tez kapsamında, savunma sanayi entegre lojistik destek birimi faaliyetleri kapsamındaki onarım ya da bakım için kullanılacak A sınıfı yedek parçalar için optimal bir stok politikası nasıl olmalıdır değerlendirilmesi yapılmak istenmiştir. A sınıfı malzemeler süreçler içerisinde kontrolünün daha sık yapılması gereken ve maliyet olarak da önem arz eden malzemelerdir. Bir diğer yandan bakım ve onarım süreçlerinde kritik malzemeler olarak da karşımıza çıkarlar. Bu malzemelerin gelen bir talep durumunda depoda bulunmaması müşteri memnuniyetsizliklerine ve servis süresinde gecikmelere sebebiyet verebilir.

Literatür çalışmaları sonrasında çalışmaya en uygun yöntemin (s, S) politikası olduğu tespit edilmiştir. Bu politika kapsamında depo miktarı yeniden sipariş verme noktasına geldiğinde yine politika kapsamında belirlenen en yüksek depo noktasına gelecek şekilde sipariş yaratılarak depoda stoksuz kalmanın önüne geçerken diğer yandan da ortalama maliyetin en azlanması sağlanmıştır.

Politika oluşturulurken taleplerin birim ya da bileşik gelebileceği olasılığı göz önünde bulundurulmuştur. Bu durumları incelemek ve karşılaştırma yapabilmek için hem birim

hem de bileşik Poisson ile gelen talepler için stokastik envanter modelleri oluşturulmuştur. Bu süreçler için karşılaştırmalar, modeli etkileyen farklı senaryolar içeren maliyet parametreleri ile çalıştırılarak optimal yeniden sipariş verme noktası ve en fazla depo noktası hesaplanmıştır. Bunun yanı sıra daha doğru bir karşılaştırma için sadece ortalama maliyet değil aynı zamanda bu parametrelerdeki ortalama stok ve ortalama geri ısmarlama miktarları da hesaplanmıştır.

Süreçteki tek farklılık taleplerin birim ya da bileşik gelmesi olmadığı göz önünde bulundurularak taleplerin dağılımlarının zaman içerisinde değişebileceği farklı dağılımlar ile gelebileceği düşünülmüş ve bu süreç için oluşturulan stokastik envanter modellerinin sonuçlarını değerlendirmek için simülasyon modelleri oluşturularak malzemenin talep dağılımına duyarlılığı gözlemlenmiştir.

İncelenen ELD sürecinde depoda yer alan malzemeler arızalar sonrasında sistemlerin gayri-faal kalmaması amacıyla onarılarak müşteri özelinde depolarda, müşterinin sonraki arızalarında kullanılmak üzere depolanmaktadır. Onarım deposu dahil olarak envanter modellemesinin zorluğu sebebi ile süreç içerisinde onarım durumunun olması belirlenen politikaya ne kadar duyarlı analiz etmek için müşteri onarım deposu içeren bir simülasyon modeli oluşturularak sonuçlar analiz edilmiştir.

Bu tez çalışmasının ikinci bölümünde literatürde yer alan ilgili uygulamalara değinilecektir. Üçüncü bölümde modelde kullanılan notasyon ve varsayımlara, modelin bileşenlerine, kısıtlar altında modelde uygulanabilecek özel durumlara duruma yer verilecektir. Dördüncü bölümde uygulanan yöntem, sayısal analize ve beşinci bölümde çalışmaların sonuçlarına, değerlendirmelere ve gelecekte yapılacak çalışmalara yer verilecektir.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE METODOLOJİ

### 2.1. Envanter Yönetimi

Envanter yönetimi, firmaların ihtiyaç duyduğu ürünlerin sipariş, depolama ve kullanım süreçlerinin tamamının yönetimine verilen isimdir. Onarım ve bakım süreçlerinde stokun fazla olması maliyet yönünden sürece zarar verirken azlığı ise müşteri memnuniyeti yönünden sürece zarar vermektedir. Bu iki uç noktayı dengede tutmak çok kısıtın bulunduğu iş kollarında oldukça zor olmaktadır.

Envanter yönetimi uygulamaları genel olarak firmanın büyüklüğü dikkate alınarak belirlenir. Daha küçük firmalar için manuel takip etme süreci işletilebilirken büyük çaplı firmalarda süreç için dijital yöntemlere başvurulması gerekmektedir.

Verimli envanter yönetim politikası, pek çok özelliğin değerlendirilmesiyle belirlenen karmaşık bir yapıdır. Bu özellikler aşağıda paylaşılmıştır:

**Stok Kontrolü:** Operasyonel sürdürülebilirliği, optimal işletilebilmesi, süreç planlaması, zaman ve maliyet yönetimi konusunda stok kontrolü envanter yönetiminin en önemli bölümüdür. Bazı malzemeler daha sıkı stok kontrolü gerektirirken bazı malzemelerin uzun aralıklarla kontrolün planlanması gerekir.

**Teslimat Yönetimi:** Envanter sürecinin doğru şekilde belirlenip işletilmemesi teslimatların zaman yönetimi konusunda firmaları zor durumda bırakabilir. Her müşterinin onarım veya bakım için aldığı hizmet tadına bir beklentisi vardır. Envanter yönetiminin yapılamaması sonucu stoksuzluk yaşamak müşterinin memnuniyetinin azalmasında büyük rol oynayabilir.

**Planlama ve Tahmin:** Planlama ve tahmin ile ileriye yönelik karşılaşılabilecek malzeme ihtiyaçları belirlenebilir. Bu tahminlemeler sayesinde düğüm noktası oluşturan bazı süreçler tespit edilebilir ve önden önlemi alınarak sürecin sürekliliği korunmuş olur. Örneğin talep tahminlemeleri ile gerekli yedek depolaması yapılırken aynı zamanda bölge depo gereklilikleri ya da tedarikçi performansı gözlemlenebilir.

**Raporlama:** Envanteri sadece yönetmek doğru bir süreç değildir. Müşteri dolayısıyla da süreç ihtiyacı değişiklik gösterebilir. Buna uyum önemlidir. Süreçlerde oluşabilecek değişiklikleri önden tespit edip önlem alabilmek için belli periyotlarda raporlamalar yapmak önemli bir süreçtir.

Envanterin yönetimi farklı envanter modelleri ile belirlenebilir. Popüler dört model bulunmaktadır. Kullanılan modeller arasında genel bir karşılaştırma yapmak doğru olmaz, ancak firmanın süreçlerine modellerden biri daha uygun olabilir.

**Ekonomik Sipariş Miktarı (EOQ):** Modelin ilk amacı, stok maliyetlerini en azlamaktır. Verilecek siparişlerin boyutlarının hesaplanmasını öneren modeldir.

**Stok Üretim Miktarı:** Ekonomik sipariş miktarı envanter modelinin daha iyileştirilmiş versiyonu olarak da tanımlanabilir. İki politikanın en önemli farkı, stok talebinin tedarikçiden bir kısım ya da tamamen karşılanmasıdır. Stok üretim miktarı modelinde taleplerin bir kısmı karşılanabilir.

**ABC Analizi:** ABC analizi modelinde malzemeler kullanım adetleri ve maliyetleri göz önüne alınarak büyükten küçüğe sıralanır ve belli oranlara sahip sınıra gelen malzemeler A, B ve C olmak üzere üç kategoride incelenir. Bu kategorilere göre malzeme için belirlenen kontrol seviyeleri ve stok politikaları değişiklik gösterebilmektedir.

**Anında Yönetim (JIT):** JIT sistemi malzeme depolaması yapılamamasını ya da sifıra yakın yedek tutulmasını, talep durumunda temin edilmesini içerir. Bu yöntemde maliyetler azalırken taleplere verilen cevap sürelerinde uzama, müşteri memnuniyetsizliği veya stoksuzluk sebebi ile sözleşme koşulları sağlanmadığı için cezaya maruz kalma riskleri artar.

Envanter Yönetiminin Faydaları:

- Maliyetlerin azaltılmasında rol oynar.
- Zaman ve iş gücü yönetimini kolaylaştırır.
- Satışları artırır.
- Satış riskini en azlar.

- İnsani hataların elimine edilmesini sağlar.
- Raporlama yapılmasını kolaylaştırır.
- Üretimden kalkan malzemelerin alternatiflerini bulmada zaman kazandırır.
- Envanter sürecinin etkin ve firma süreçlerine uygun uygulanması maliyetlerin azalmasına ve verimlilik artışına sebep olur. Envanterin doğru yönetimi müşterinin memnuniyet sınırları içerisinde hizmet verilmesini sağlar ve pek çok araştırmaya göre ise hizmetten almış olunan memnuniyet satış verilerine de yansıma yapar [1, 2].

## 2.2. Stok Maliyetleri

Envanter yönetiminin odaklandığı değer ortalama maliyet değeridir. Stok maliyetini etkileyen bazı kalemler mevcuttur. Doğru stok politikası ve modeli belirlenerek sürecin verimli işletilmesi maliyetleri de değiştirmektedir. Genel anlamda üç maliyet altında açıklanabilir:

- Sipariş Maliyetleri
- Elde Bulundurma Maliyetleri
- Elde Bulundurmama Maliyetleri [3]

### Sipariş Maliyetleri

Sipariş verildiğinde oluşan maliyettir. Her üretim esnasında kurulum maliyetleri malzeme maliyetleri sipariş maliyeti ile karşılık bulur.

### Elde Bulundurma Maliyetleri

Stokları fiziksel olarak depolamak, satın almak, eskime risklerini karşılamak ve hizmet maliyetlerini sağlamaktan oluşan maliyet kalemidir.

- **Sermaye (Fırsat) Maliyeti:** Gerekli stokun alınması için ayrılan sermayedir. Sermaye başka süreçler için kullanılmak yerine stok için kullanılmasıdır.
- **Depolama Maliyeti:** Deponun tesis olarak maliyetleri (kira, çalışan, elektrik, su, bakım vb.) içerir.
- **Hizmet (Servis) Maliyeti:** Stok için vergi, sigorta, taşıma ve sayım giderlerini içerir.
- **Risk Maliyeti:** Malzemenin teknolojik olarak eskiyerek demode olması durumlarında malzemenin optimal değerinden daha yüksek adetlerde depolama yapılabilir. Bu gibi durumlar karşılaşılabilecek riskleri azaltırken aynı zamanda maliyeti de arttırır.

**Elde Bulundurmama Maliyetleri:** Savuma sanayide projeler sözleşmelerde belirlenen esaslara göre yönetilir. Bu sözleşme koşulları içerisinde istenen ve anlaşılan bir hizmet süresi bulunmaktadır. Bu isteklerin karşılanamaması durumunda belirlenmiş bazı cezai işlemler bulunmaktadır. Cezai süreçler haricinde de stoksuzluk müşteride memnuniyetsizliğe hatta müşteri kayıplarına sebebiyet verebilir [4].

### **2.3. Stok Politikasının Belirlenmesi**

Croston, yedek parçaların stok yönetiminin bu parçaların bazı özelliklerinden dolayı zor olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada, özellikle önemli ve kritik olan yedek parçaların dört özelliği olduğu ifade edilmektedir: Yedek parçalar için aralıklı talep modelleri yaygındır. Bunlar, periyodik olarak incelenen sistemlerde sıfır olmayan taleplerle serpiştirilmiş sıfır talep gözlem dizileri ile karakterize edilir. Bu nedenle, yedek parça talebini tahmin etmek çok zordur. Yedek parçaların sayısı ve çeşitliliği genellikle çok büyüktür. Envanterdeki farklı özelliklere sahip birçok yedek parça bulunmasından dolayı her birinin ihtiyacını karşılayan stok kontrol stratejisini belirlemek oldukça zordur. Yedek parçaların eskimesini azaltmak için çok sayıda stok tutmamak gereklidir. Ancak, bu durumda da stok stratejisi doğru belirlenmez ise fazla stok ile stok kayıplarından ya da stok yetersizliği ile cezai maliyetlerden dolayı sorun yaşanabilir. Yedek parça talepleri, bakım politikaları ve ekipmanın kullanım şartları ile çok bağlantılıdır. Hasar görme, yıpranma ya da bozulma durumlarında yedek parçaya ihtiyaç duyulur. Bu etkileşim sebebi ile tasarım yapılırken bu durumlara dikkat edilmesi önemli bir konudur. İlgili çalışmada, yedek parçaların tüm bu özelliklerinden dolayı üstel yumuşatma kullanılmıştır. Aralıklı tahminlerin neredeyse her zaman yanlış yedek tahmini verdiği sonucuna varılmıştır. Sabit miktarlar için sabit aralıklarla talep, gerçekten ihtiyaç duyulan miktarın iki katına kadar stok seviyeleri oluşturabilmektedir. Bu nedenle, gelecek talebin büyüklüğüne ve sıklığına bağlı ayrı tahminleme kullanarak yukarıda bahsedilen zorlukların üstesinden gelinmeye çalışılmıştır. Stoksuz kalmamak için ise güvenlik stoklarının miktarlarını belirlemek için kurallar oluşturulmaya çalışılmıştır [5].

Van Volkenburg v.d., ürünlerin raf ömrü üzerine bir çalışma yapmıştır. Yaptığı çalışmada raf ömrün dikkate alınmadığında başta güvenilirlik sağladığımız stok miktarında stoksuzluğu yaşatabilecek durumlara kadar varabileceğini göstermiştir [6].

Hu ve Qiwei, yöneylem araştırma (OR) disiplinlerinin yedek parça yönetimini desteklemekteki katkılarını göstermek istemiştir. OR alanında, çok kriterli sınıflandırma, tahmin, optimizasyon ve simülasyon olmak üzere dört ana teknik yaklaşım türü bulunmaktadır. Bu dört yaklaşımın her biri, ekipman yaşam döngüsü sürecinin her aşamasına karşı daha fazla haritalanmaktadır. Aynı zamanda yedek parça planlamasında talep tahmininin çerçevesi de çizilmeye çalışmıştır. Bu çerçevede, ekipmanların yaşamı üç bölüme ayrılmıştır: ilk tedarik, normal çalışma ve yaşam sonu. OR literatürü, matematiksel analize en uygun olanı olduğu için esas olarak normal çalışma aşamasına odaklanmıştır. Bununla birlikte, ürün yaşam döngüsünün ilk ve son aşamalarını da ele almak için umut verici bazı yaklaşımlar belirlenmiştir. İlk aşamada, bazıları güvenilirliğe dayalı tahmin içeren çeşitli envanter modelleri önerilmiştir. Yargılayıcı tahmin yöntemleri genellikle ilk tedarik için kullanılır, ancak bu alanda çok az araştırma katkısı olmuştur. Yaşam sonu aşamasında, çevresel eskime riskini kapalı olarak ele alan, ancak nesnel işlevin bir parçası olarak nadiren bunu açıkça yapan modeller geliştirildiği ifade edilmiştir [7].

#### **2.4. A Sınıfı Malzemelerin Belirlenmesi**

Stok politikalarının önündeki en büyük engel malzeme sayısının ve bu malzemeleri belirleyen ve etkileyen etmenlerin çok fazla olmasıdır. Bu sebepten dolayı doğru ilerlemek ve zamanı, işgücün etkin kullanmak için en etkili yöntemlerden biri sınıflandırmaktır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde bu konuya farklı açılardan yaklaşarak sınıflandırmalar yapılmaya çalışıldığı görülmüştür. Son birkaç on yılda, çoklu ölçüt envanter sınıflandırması (MCIC) problemi için çeşitli yaklaşımlar önerilmiştir. Farklı uygulama amaçları göz önüne alındığında, MCIC yöntemleri iki gruba ayrılabilir: envanter kontrolü için sınıflandırma ve tahmin için sınıflandırma.

Tez çalışmasının bu aşamasında, tahmin için sınıflandırma çalışmalarına odaklanılmıştır: Labib ve Exton ve Exton ve Labib, yedek parçaların mağazalardan çekilme sıklığı ve bir ürünün üretime kritikliği kriterlerine (değişken ve öngörülemeyen talep, ikmal için düzensiz teslim süreleri ve stoklama maliyetleri) göre uygun bir stoklama stratejisi seçmek için bir Karar Verme Izgarası (DMG) tekniği önermişlerdir [8,9].

Exton, bakım için yedek parça envanterinin yönetimi, Bilgisayarlı Bakım Yönetim Sistemi (CMMS) modülünün geliştirilmesi üzerine çalışmıştır. Çalışmadaki ana

düşüncesi pek çok firmanın yüksek maliyetlerle yedek parça stokları tutmasına karşın, çok az araştırma ya da analiz ile bu yedek parçaların pratik bir yaklaşımla nasıl daha iyi yönetilebileceği ve kontrol edilebileceğidir. Bu düşünceye yönelten ise değişken ve görülemeyen talep, düzensiz temin süreleri ve stoklama maliyetlerini belirlemedeki zorluklardı. Çalışmasında bakım sorunu üzerine çalışmış ve CMMS'lerin rolünü ve bunun çalışma zorluklarını incelemiştir [9].

Persson ve Saccani; Persson ve Saccan, yedek parça envanter ve dağıtım sistemlerini değerlendirmek ve yedek parça sınıflandırma kriterlerini analiz etmek için ayırık olay simülasyonunu kullanarak bir model geliştirmiş ve bu model ile envanter politikasının tanımlanmasını sağlamıştır [10,11].

Syntetos v.d. 'ın vaka çalışması, bir elektronik üreticisi için talep değerine göre yedek parçaları karakterize etmek için ABC analizini kullanmıştır. Klasik ABC yönteminin anlaşılması ve uygulanması kolay olmasına rağmen, yalnızca ürün yelpazesi esas olarak tek bir kriter açısından farklılık gösterdiğinde başarılı olduğu ifade edilmiştir.

AHP yaklaşımının en büyük avantajı hem nitel hem de nicel kriterlerin sınıflandırma şemasına dahil edilebilmesiydi [12].

Molenaers, AHP yöntemi ile ekipman kritikliği, ürün arızası olasılığı, ikmal süresi, potansiyel tedarikçi sayısı, teknik şartnamelerin mevcudiyeti ve bakım türü dikkate alınarak hesaplanan ürün kritikliğine dayalı bir yedek parça sınıflandırma yöntemi önermiştir. Çok kriterli bir analizden başlayarak, önerilen model, madde kritikliğini etkileyen ilgili kriterleri, kritiklik seviyesini sunan tek bir puana dönüştürmektedir. Elde edilen kritiklik seviyesi, yedek parça envanter politikasının verimliliğini rasyonelleştirmek için kullanılır. Model, çok kriterli sınıflandırma problemini, AHP 'nin diyagramın farklı karar düğümlerindeki çok kriterli karar alt problemlerini çözmek için kullanıldığı bir mantık karar diyagramında sunar. Klasik ABC sınıflandırması yerine AHP kullanmanın teori ile pratik arasındaki boşluğu giderdiğini göstermek istemiştir.

Tez çalışmasında, AHP kullanımını incelenen sektör için farklı roller için öncelik farklarına sebebiyet olacağı için ilgili tez çalışmasında ABC analizinin kullanımı daha uygun olacağı düşünülmüştür [13].

Moore, güvenilirlik, kapasite hedefleri ve sistematik bir stratejiye dayalı envanter yönetimi yaklaşımı çalışmıştır. Parçaların işlevine göre bir gruplama yaparak her grup için ekonomikliği sağlamak amaçlı kurallar belirlenmesi gerektiğini savunur. Bu çalışma aynı zamanda makine arızası, geçmiş kullanım miktarları, tamamlanma süreleri ve tedarikçi güvenilirliği gibi diğer göstergelere dikkat edilmesini vurgular. Genel anlamda yapılacak tez çalışmasında güvenilirlik sektörel gereklilikler sebebiyle baz alınacak bir konudur. Geçmiş kullanım miktarları ve arızalanmaların ne zaman geldiği verileri, taleplerin geliş dağılımını belirlemede faydalı olacaktır [14].

Foote, havacılık sektöründe yeni bir talep tahmini sistemi üzerine vaka çalışması gerçekleştirmiştir.  $(q, r)$  stok politikası ile çalışmıştır. İstatistiksel ölçüm ve takibin önemli bir verimliliğe sebep olduğu sonucuna ulaşmıştır. Havacılık sektör kısıtları ve riskleri yönünden tez içerisinde incelediğimiz savunma sanayi sektörüne benzerlik göstermektedir [15].

Cohen v.d., talepler için çok maddeli bir hizmet kısıtlı  $(S, s)$  sistemi geliştirmiştir. Hızlı yanıt ve az envanter seviyesi ile müşterinin hizmet desteğini sağlarken rekabet gücünü arttırmayı da hedeflemiştir. Cohen ve ark., aynı zamanda belirli bir ürün veya ürün ailesine odaklanır ve tek konum problemini kullanarak seviyeye göre ayırtırmaya dayalı çok kademeli bir envanter sistemi tanımlar. Bu yöntem sistem bazında üst ürün seviyesi ürünlerin yedek tutulması ve onarım durumları için bölgesel ve yerel tedarikçiler ile çalışmak anlamına gelir. Çalışmada simülasyon yöntemi kullanılarak doğrusal programlama tamsayı çözümü ile ağgözlü algoritma oluşturulmuştur. Bu simülasyon neredeyse optimal  $(s, S)$  politikası sağlamaktadır [16].

Kennedy ve v.d. ve de Muckstad hizmet parçaları için iki takip modeli üzerinde yoğunlaşmışlardır. İlki lot-size/reorder-point  $(q, r)$ , ikincisi ise yeniden sipariş noktası/sipariş-se-seviye  $(s, S)$  modelidir [17,18]. Jalil ve v.d., maliyeti en azlamak amacıyla geçmiş verilere ya da sistem sayısına bağlı tahmin edilmesi üzerine çalışmıştır [19]. Marseguerra v.d., çalışmalarında genetik algoritmalar ve Monte Carlo simülasyonunun birleşimiyle yedek parça temininin çok amaçlı Pareto optimizasyonuna bir çözüm önermiştir. Bu sayede Monte Carlo'nun esnekliğinden yararlanarak iç kısıtların etkilerini azaltmayı hedeflemiştir [20].

## 2.5. Yedek Parça Tahminleme Çalışmaları

### 2.5.1. Güvenilirliğe Dayalı Tahminleme

Güvenilirlik temelli tahmin, güvenilirlik ve bakım özellikleri bilindiği veya tahmin edilebildiği sürece tüm yaşam döngüsü süreci boyunca kullanılabilir.

Ghobbar v.d., talebin kesintili olduğu durumda tahmin yöntemlerini faktör düzeylerine göre karşılaştıran bir öngörücü hata tahmin modeli sunmuşlardır. Ghobbar v.d. ise uçak yedek parçalarına olan talebin kesintili ve birikmesi ardındaki nedensel faktörleri incelemiştir. Ana faktörlerin, uçak kullanım oranı, bileşenin revizyon ömrü ve birincil bakım süreci olduğuna dair kanıtlar bulmuşlardır [21, 22].

Ghodrati, bir sistemin yedek parça ihtiyacının sadece sistemin çalışma saatinden değil, çevresel etkenlerden de (nem, sıcaklık, kirlilik vb.) etkilendiğini ve bir stok politikası oluştururken bu kriterlerin de dikkate alınması gerektiği üzerine çalışmıştır. Çalışmada gelişmiş bir istatistiksel-güvenilirlik (S-R) yaklaşımı kullanılmış olup Poisson süreci ve yenileme süreci ile iki model üzerine çalışılmıştır. Yenileme süreci modelinde, Cox'un orantılı tehlikeler modellemesine (PHM) dayanan çoklu regresyon tipi bir analiz kullanılmıştır. Temel Weibull tehlike fonksiyonları ve zamandan bağımsız eş değişkenler ile parametrik yaklaşımlar dikkate alınmakta ve çalışma ortamı faktörlerinin bu model üzerindeki etkisi analiz edilmektedir. Çalışmada, sistemin çalıştığı ortamın yedek parça tahmininde farklara sebep olduğu ve bazen fazla tutulan yedeklerle fazla maliyete sebep olurken bazı durumlarda ise stoksuzluk ile güvenilirliği etkilediği sonucuna varılmıştır [23].

Teunter, makine arıza sıklığını ve her arıza için gereken benzer parça sayısını parça varış oranına çevirmek için bulanık mantık tabanlı bir kural sistemi geliştirmiştir [24]. Wang ve Syntetos, maliyet etkin ve verimli lojistik desteği sağlamak için birlikte ele alınması gereken ilgili iki lojistik faaliyet olarak yedek parça tedarikini ve planlı bakımı sunmuşlardır. Çalışmada, gecikme Süresi (DT) kavramı kullanılarak sipariş miktarı, sipariş aralığı ve denetim aralığının ortak optimizasyonu ele alınmıştır. Burada, DT tanımlanabilir bir kusurun başlangıç noktasından başarısızlığa kadar geçen süredir olarak tanımlanmıştır. Blok denetimi ve yaş denetimi politikalarını göz önünde bulunduran Wang ise gecikme süresi kavramına dayalı bir yedek parça talebi tahmini modeli oluşturmuştur. Bu araştırma, yedek parça talebinin neden kesintili olduğuna dair yararlı

bilgiler sunmanın yanı sıra, kesintili talebin tahmin edilmesini kolaylaştırmak için bakım araştırmalarında geliştirilen modellerin nasıl kullanılacağını göstermiştir [25].

Barabadi, operasyonel ortamın yedek parça teminine etkisini analiz etmek amacıyla orantılı bir tehlike modeli ve genişletmesini sunmuştur. Daha sonra, Barabadi v.d., matkap uçları için yedek parça temini için kovaryasyonlu güvenilirlik regresyon modellerini uygulamışlardır [26, 27]. Tracht v.d., bir rüzgar santrali yönetim sisteminden gelen durum izleme verilerinden yedek parçaların talep tahmininin nasıl yapılabileceğini göstermiştir [28].

### **2.5.2. Zaman Serilerine Bağlı Tahminleme**

Zaman serilerine bağlı tahminleme geçmiş verileri bulunan yedek parçalar için uygundur ancak yeni piyasaya çıkacak ve verisi bulunmayan yedek parçalar için uygun değildir. Tez çalışmasının bu aşamasında, sadece yedek parça talep tahminlemesi yerine zaman serilerinin farklı uygulamalardaki tahmin çalışmaları incelenmiştir.

Can ve Gerşil, Manisa pamuk fiyatlarının zaman serisi analizi ve yapay sinir ağı yöntemleriyle tahmin etme ve performanslarının kıyaslaması üzerine çalışmıştır. Yapılan tahminleri, Ortalama Mutlak Hata (MAE), Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE) ve Kök Ortalama Kare Hata (RMSE) hata metrik değerleri üzerinden kıyaslayarak yöntemlerden hangisinin daha iyi performans gösterdiği değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda yapay sinir ağı yönteminin daha uygun sonuçlar elde ettiği gözlemlenmiştir [29].

Keskin ve Soyuer, bir çimento fabrikasında istatistiksel zaman serileri yöntemleri ve derin öğrenme ile talep tahmini çalışması yapmıştır. Tahminleme için Basit Mevsimsel Yöntemini (Simple Seasonal Method- SSM) derin öğrenme yöntemlerinden Uzun-Kısa Süreli Bellek (Long-Short Term Memory-LSTM) bazlı modelle karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda LSTM modelinin SSM modeline göre MAPE ölçütünde %34,57, RMSE ölçütünde ise %33,74 iyileştirme sağladığı gözlemlenmiştir [30].

### **2.5.3. Yargısal Temelli Tahminleme**

Yargısal temelli tahminleme ayrı bir yöntemden çok destek yöntem olarak kullanılmaktadır. Teknik ve akademik yöntemlerin sonuçları yanında bazı çalışma ve

alanlar için tecrübe ve yargısal yorumlara ihtiyaç duyulur. Tüm yaşam döngüsü süreci boyunca da kullanılabilir. Genellikle, özellikle yaşam döngüsünün ilk aşamasında ne zaman serisi verileri ne de güvenilirlik ve bakım özellikleri mevcut olmadığında tercih edilir. Nicel bir model tarafından dikkate alınmayan niteliksel bilgiler mevcut olduğunda tahmin sonuçlarını ayarlamak için de kullanılır.

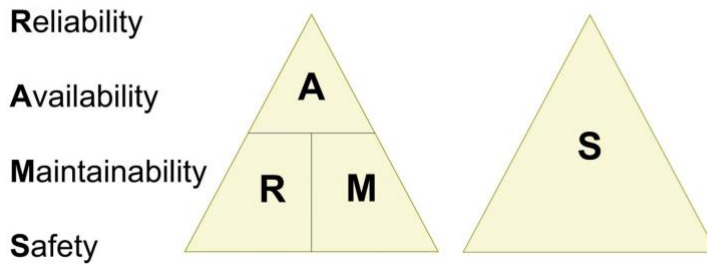
## 2.6. Güvenilirlik

Güvenilirlik, belirlenen kriterlere göre tasarlanan ve satılan ürünün faal kalma olasılığının değeridir. Matematiksel yönüyle güvenilirlik; ürünün beklenen şartları yerine getirerek belirlenen sürelerde faal kalması olasılığı şeklinde ölçülür ve izlenir. Aslında en iyi ifade ile ürünün performansdır [31].

**Güvenilirlik Mühendisliği:** Güvenilirlik mühendisliği bir ürünün güvenilirliğinin değerlendirilmesi ve arızaların en azlanması veya arızaların etkilerinin azaltılması için yapılması gereken süreçleri inceleyen ve yürüten uzmanlık alanıdır [32]. Güvenirlik mühendisliğinin bazı hedefleri aşağıdaki gibidir:

- Mühendislik yöntemlerini kullanarak arızalanma olasılıklarını azaltmak ya da ortadan kaldırmak
- Arızaya sebep olabilecek sebepleri tanımlamak ve iyileştirmeler planlamak
- Hesapladığı geçmiş güvenilirlik verileri ile yeni tasarımlarda güvenilirlik hesaplamalarını yapmak [33].

**Güvenilirlik Karakteristikleri (RAMS):** Güvenilirliğin ana dört bileşeni vardır [34]. RAMS (reliability, availability, maintainability, safety) olarak özetlenebilir [35]. Güvenilirliğin en önemli bölümü güvenilirliğin kendisidir.



Şekil 2.1: RAMS Diyagramı [36]

- **Güvenilirlik (Reliability):** Ürünün güvenilirliğidir.
- **Kullanıma Hazır Olabilirlik (Availability):** Sistemin ihtiyaç duyulduğunda hazır olma olasılığıdır.
- **Bakım Yapılabilirlik (Maintenability):** Sistemin gayri-faal durumda kalmaması için onarımının hızlı ve kolay yapılabilir olması olasılığıdır.
- **Güvenlik (Safety):** Sistemin tehlike yaratmadan çalışmaya uygunluğudur [37].

**Güvenilirlik Göstergeleri:** Sistemin güvenilirlik göstergelerini MTTF, MTTR ve MTBF olarak sayabiliriz. Bu değerler Şekil 2.2 üzerinde tarif edilmiştir.

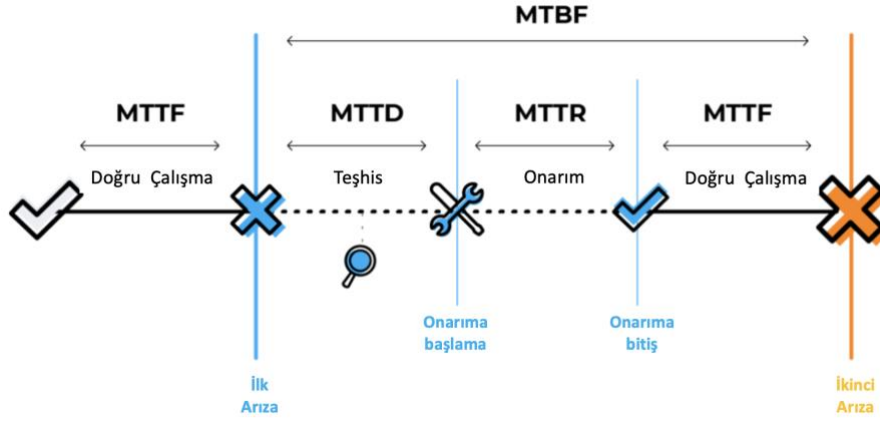
**İlk Arızalanmaya Kadar Geçen Ortalama Süre (MTTF -Mean Time to Failure):** Bir sistemin çalışmaya başladıktan sonra ortaya çıkan ilk arızaya kadar geçen ortalama süredir.

**Onarım Ortalama Süresi (MTTR – Mean Time to Repair):** Bir bakım/onarım faaliyetini gerçekleştirmek için geçen süredir. Farklı etaplardan oluşur. Bunlar;

- kullanıcı tarafından arızalanmanın fark edilmesi için geçen süre,
- arızanın tespit edilmesi için geçen süre,
- onarıma başlamak için geçen servis planlama süresi,
- onarım süresi,
- faal hale gelmesi için geçen süre olarak sayılabilir.

**Ortalama Arızalar Arası Geçen Süre (MTBF -Mean Time Between Failures):** Bir sistemin çalışması sırasında oluşan arızalanmaların arasındaki tahmini süredir. Belli bir aralıktaki çalışma süresinin, gerçekleşen arızalanma sayısına oranıyla hesaplanır.

Bir firma için güvenilirlik ilk aşamada müşteri gözündeki itibarı etkiler. Bu noktada da firmanın rakipleriyle olan farkını gösterme şansı artar. Sistem içerisinde gayri-faal kalma sürelerini azaltmaya çalışan bakımlarını kolaylaştıran ve müşterinin memnun dönemine denk gelecek şekilde gerçekleştirmeye uygun sistem yürüten şirket güvenilirlik sayesinde müşteri memnuniyeti artırır. Güvenirlik sayesinde maliyetlerin de azaltılması sağlanmış olur [39].



Şekil 2.2: Güvenirlilik Göstergeleri [38]

Güvenirlilik mühendisliğinde kullanılan bazı teknikler aşağıda paylaşılmıştır:

- Kök neden analizi (RCA)
- Güvenirlilik merkezli bakım (RCM)
- FMEA ve FMECA
- Başarısızlık fiziği (PoF)
- Bulit-kendi kendine test
- Güvenirlilik blok analizi
- Saha veri analizi
- Hata ağacı analizi
- Tek hata noktasını ortadan kaldırmak (SPOF)
- İnsan hatası analizi
- Operasyonel tehlike analizi
- Arıza oranlarını analiz etmek ve arıza verilerini toplamak için bakım geçmişine bakmak
- Sistemin / bileşenin stres altında nasıl performans gösterdiğini ölçen her türlü veri toplama testi [40].

### MIL-HDBK-217 Güvenirlilik Tahmini

En yaygın olarak bilinen ve kullanılan güvenirlilik tahmin el kitabı MIL-217'dir. Hem ticari şirketler hem de savunma sanayii tarafından kullanılmaktadır ve dünya çapında kabul görmekte ve bilinmektedir. En son revizyon, "Askeri El Kitabı, Elektronik Ekipmanın Güvenirlilik Tahmini", MIL-HDBK-217, Revizyon F, 2'in Şubat ayında

yayınlanan 1995 bildirisidir. Entegre devreler, transistörler, diyotlar, dirençler, kapasitörler, röleler, anahtarlar ve konektörler gibi çok sayıda elektronik bileşen için arıza oranı modelleri içerir. MIL-217, modele daha fazla miktarda veri girilmesini gerektirir. Ayrıca arıza oranı verilerinin hesaplanmasında Bellcore standardından biraz daha serttir. Tipik olarak ancak her zaman değil, MIL-217 hesaplanan sonuçlar, aynı sistem için Bellcore standardından daha yüksek bir arıza oranı gösterecektir. Standartlardaki bu fark açıkça, havacılık ve askeri veya kritik görev uygulamaları için MIL-217 standardının orijinal kullanım amacından kaynaklanmaktadır.

Güvenilirliği korumak ve güvenilirlik mühendisliği sağlamak, modern elektronik sistemlerde temel bir ihtiyaçtır. Elektronik ekipman için güvenilirlik mühendisliği, niceliksel bir temel veya güvenilirlik tahmin analizi için bir araç gerektirir. MIL-217 standardı, askeri ve havacılık uygulamaları için geliştirilmiştir; Ancak, dünya çapında endüstriyel ve ticari elektronik ekipman uygulamaları için yaygın olarak kullanılmaktadır. Güvenilirlik tahmini için MIL-217 standardının kullanılması, tek tek bileşenler, ekipman ve genel sistem için hesaplanan Arıza Oranı ve Arızalar Arasındaki Ortalama Süre (MTBF) sayıları üretir. Hesaplanan nihai tahmin sonuçları, tüm tek tek bileşen arıza oranlarının toplanmasına veya toplanmasına dayanır.

"Askeri El Kitabı; Elektronik Ekipmanın Güvenilirlik Tahmini", Roma Laboratuvarları ve Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı tarafından geliştirilen 2 Aralık 1991 tarihli MIL-HDBK-217F Bildirimi 2. Bu el kitabının geliştirilmesinin amacı, askeri elektronik ekipman ve sistemlerin gerçek güvenilirliğini tahminlemek için tutarlı ve bir tip yöntemler oluşturmak ve sürdürmektir. El kitabı, tasarlanan ekipmanın güvenilirliğini artırmak için özel bir gereklilik değil, bir kılavuz olarak tasarlanmıştır.

El kitabı iki güvenilirlik tahmini yöntemi içerir: Parça Gerilme Analizi ve Parça Sayısı Analizi. İki yöntem, sağlanması gereken bilgi derecesine göre değişir. Parça Gerilme Analizi Yöntemi daha fazla miktarda ayrıntılı bilgi gerektirir ve genellikle sonraki tasarım aşamasına daha uygulanabilir. Parça Sayma Yöntemi, parça miktarları, kalite seviyesi ve uygulama ortamı gibi daha az bilgi gerektirir. En çok bir projenin erken tasarım veya teklif aşamalarında uygulanabilir. Parça Sayma Yöntemi genellikle daha yüksek bir arıza oranına veya daha düşük sistem güvenilirliğine neden olur, bu da Parça Gerdirme Yönteminin üreteceğinden daha muhafazakar bir sonuçtur [41].

## **2.7. Farklı Sektörlerden Uygulama İncelemeleri**

Her sektörün kendisine göre öncelikleri ve spesifik etki alanı ve envanter modelleri vardır. Bu modeller sektörün ihtiyaçlarına göre şekillendirilir. Ancak diğer yandan birbirine benzerlik gösterilen alanları da bulunmaktadır. Bundan kaynaklı benzer ihtiyaçlar bulunan sektörler üzerine de yapılmış çalışmalar incelenmiştir.

### **2.7.1. Havacılık Sektöründe Envanter Modelleri Üzerine Çalışma İncelemeleri**

Havacılık sektöründen güvenilirlik değerinin yüksek olması kritik bir durumdur. Havada arızalanma ve malzeme temin edememe kaynaklı can kaybı da dahil büyük kayıplar yaşanabilir. Bundan dolayı havacılık sektöründe yedekleme modelleri güvenilirliği daha çok ön plana alan modellerdir. Bu yönüyle savunma sanayideki durumu savaş ortamında benzer riskler bulundurma durumu bulunmaktadır ve iki sektör birbirine benzerlik gösterir. Tutulması gereken yedek miktarı hesaplanırken arızalananmalar arasında geçen sürelerin (MTBF) ortalaması dikkate alınır çünkü uçaktaki birimler arızalandığında ihtiyaç oluşmaktadır [42].

Dinçer çalışmasında onarılabılır yedek parçalar üzerine çalışmıştır ve bir havayolu şirketinin B737-800 filosu için yatırım yapılması gereken optimum yedek parça miktarı ve envanter değerini lineer programlamadan yararlanarak hesaplamıştır. Hesaplamalarda komponentler birimler olarak değil sistemin bütünü olarak değerlendirilmiş ve toplam maliyeti düşürülmesi sağlanırken diğer yandan da verilen servis süresini azaltmadan müşteriye memnun olacağı kısıtla içerisinde cevap verilecek bir sistem oluşturmayı amaçlamıştır. Oluşturulan model Poisson dağılımında servis seviyesine bağlı yedek hesaplaması ve doğrusal programlama kısıtlarına bağlı maliyet optimizasyonunu beraber kullanarak daha efektif bir politika fırsatı oluşturmuştur [43].

### **2.7.2. Madencilik Sektöründe Envanter Modelleri Üzerine Çalışma İncelemeleri**

Madencilik sektörü her bir saniyenin maliyet olduğu sektörlerden biridir. Bu sebeple stoksuzluk durumları ciddi maddi kayıplara sebebiyet vermektedir. Diğer bir yandan doğru yedeklerin doğru planlanması ve iş süreçleri güvenlik konusunda hassas bir sektördür. Madencilik sektöründe operasyonel aşamadaki belirsizliğin fazla olduğu

makine performansı bazlı bir sektör olması yönlerinden savunma sanayi süreçlerine benzer hassasiyet göstermektedir.

Şenses Türkiye'nin önemli ölçüde üretim yapan bir madencilik şirketi için, toplam envanter bazlı maliyetlerini en azlamak amacıyla, optimal sipariş miktarı ve zamanlarının belirleyen bir matematiksel modelle envanter politikası belirlemek üzerine çalışmıştır. Yapılan çalışmada maden şirketinin mevcut durum analizi yapılmış ve verilerle endüstriyel yağlar için bir vaka çalışması üzerine çalışılmıştır. Çalışmanın çıkarımı, şirketin mevcut endüstriyel yağ envanter politikasının, yıllık 18.566 ₺'ye kadar tasarrufla finansal fayda sağlayacağı tespit edilmiştir. Çalışma içerisinde bakım onarım için kullanılacak yedeklerin de göz önünde bulundurulması savunma sanayi için yapmakta olduğumuz çalışmayla uyum göstermektedir. Bakım onarım yönetimi ürünlerin arızalanmalarını için önlem oluşturduğu için yedek parça politikasını oldukça etkilemektedir [44]. Genel olarak aradaki ilişki aralıklı talep türü ile ifade edilmektedir [45]. Bu sebeple, yedek parça envanter problemleri, literatürde envanter ve bakım-onarım sistemlerinin entegrasyonu ile ele alınmaktadır. Çalışmada (Q, s) envanter politikası kullanılmıştır [46].

## **2.8. Tezin Literatüre Katkısı**

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde yedek parça stok politikalarının genel olarak üretim odaklı çalışıldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, literatürde ele alınan stok politikaları talep dağılımlarının ya da tahminlerinin bilindiği varsayılarak incelenmiştir. ELD gibi satış sonrası hizmet veren pek çok farklı kısıtı bir arada bulduran birimler ve yapılar için talep tahmin çalışmalarının ise oldukça az olduğu görülmektedir. Üretim sistemlerinden farklı olarak satış sonrası hizmetler planlanan ve yapılan bakım/onarım iyileştirme ve onarım süreci faaliyetlerine göre değişiklik göstermektedir. Ayrıca, metodoloji olarak tanımlanan bazı kuralların fiziki hayat şartlarına entegre edilme ihtiyacı öngörülmektedir. Bu anlamda, bu tez çalışması ile literatüre satış sonrası talep tahmini modellenmesi ile stok kontrolünü iyileştirmek için bir metodoloji oluşturan ve oluşturduğu bu metodolojiyi uygulamaya koyan özgün bir çalışma kazandırmak hedeflenmektedir. Sistem içerisinde ağırlıklı olarak yeni tasarlanan sistemlerde aynı malzemeyi ya da benzer malzemeyi kullanma eğilimi gözlenmektedir. Bu çalışma ile yeni sistemler için ilk yedekler daha doğru hesaplanacaktır. Çalışma ile aynı zamanda maliyet en azlaması ile

müşteri memnuniyeti sağlanırken firmanın rakipleriyle rekabet etme gücünün artırılması sağlanmış olacaktır.



### 3. ENVANTER MODELİ OLUŞTURMA

Bir envanter sisteminde en önemli adımlardan biri organizasyonun ve işin yapısal özelliklerine uygun ve uygulanabilir bir envanter modeli oluşturmaktır. Tezin bu bölümünde bakım onarım sisteminde bulunan kritik bir malzemenin sistemde ne kadar tutulması gerektiğini bulmak için envanter modeli oluşturmak adına takip edilecek adımların detaylarından bahsedilecektir. İncelenen A sınıfı malzeme güvenilirlik tabanlı olarak değerlendirilmiş ve iki tür problem ele alınmıştır. İlk problemde, talepler arası dağılımın farklılaşmasının incelenmesi amaçlanmıştır. İkinci problemde ise süreç içerisinde kullanılan müşteri malzemesi için taleple gelen arızalı ürünün onarımının gerçekleştirilerek ek bir müşteri deposunda depolanması, yönetilmesi ve kullanılması durumlarının incelenmesi hedeflenmiştir.

#### 3.1. Envanter Modelinin Varsayımları

Bakım ve onarım malzeme planlamasında yapısal olarak birçok kısıt ve zorluk bulunur. Envanter modeli oluşturulurken bu kısıt ve zorlukların hepsini dikkate almak bazen mümkün olmamaktadır. Buna bağlı olarak, bazı kısıt ve zorluklar varsayımlarla netleştirilir veya model kapsamından çıkarılır. Bakım onarım için kullanılan bir malzeme için envanter modeli oluşturulmasında karşımıza çıkabilecek bazı zorluk ve kısıtlar aşağıda sunulmaktadır [47].

Müşteri kullanımı yerine bakım/onarım politikaları, yedek parça stoklarına olan ihtiyacı belirler. Örneğin, bir parçası kırılan bir sistemin işlevselliğini geri kazanmanın bir yolu, parçayı tamir etmek veya parça değiştirmektir. Parçayı tamir etme veya değiştirme kararı, malzemenin envanter seviyelerini anlamlı bir şekilde etkilemektedir. Diğer bir karar, bir sisteme dönüştürülecek fazlalık ekipman miktarının seçimidir. Bu tez kapsamında, onarım kararı durumunda envanter sisteminin modellemesi yapılamamaktadır. Onarım kararı verilmeyen envanter sistemi modellemesi yapılarak karşılaştırma yapılması hedeflenmiştir.

Birim içerisinde çok fazla arızalı malzeme varsa, çalışmayan tüm parçaları uygun bir zamanda değiştirmek ve acil durumlar için birkaç birimi hazır bulundurmak mümkün olabilir. Bu çalışma içinde sadece modellemesi yapılan malzeme dikkate alınmıştır, üst

malzeme yedeklemesi üzerine modelleme yapılmamıştır. Buradaki tercih envanter yöneticisi kararına bırakılmıştır. Üst malzeme için hesaplama yapılmak istendiğinde onarım yapılamama ve direk değiştirme durumu halihazırda talep olarak değerlendirilecektir.

Güvenilirlik bilgisi, özellikle yeni ekipman söz konusu olduğunda, genellikle arıza sürelerinin tahmini için gereken düzey bilinmez. Sürekli ekipman izlemenin faydalarından biri, bir operatörün bir ünitenin ne zaman onarıma veya değişime ihtiyaç duyacağını tahmin edilmesini sağlamaktır, ancak bu tür izleme ekipmanının maliyeti çok yüksek olduğu için tüm ekipmana kurulamaz. Bu kısıt çalışmada göz ardı edilerek ilenmiştir ve farklı arıza hızları sayısal çalışmaya dahil edilmiştir.

Parça arızaları genellikle birbiri ile ilişkilidir. Ancak özellikle bu ilişki bilinmiyorsa sorun yaratır. Bu nedenle, parça arızalarının bağımsız olduğu varsayılır. Çalışma sürecinde de arızaların zaman içinde bağımsız olduğu kabulü kullanılmıştır.

Parça talepleri bazen diğer parça veya birimlerin kanibalizmi ile karşılanır. Bir malzemenin kullanımı hem kendi arızasına hem de kullanıldığı üst birimin arızasına bağlı olabilir. Bu çalışma kapsamında kullanım nedeni ayırt edilmeden tüm talepler bir arada değerlendirilmiştir.

Yedek parçaları tasarlanan sistemler eskiyip değiştirildiği için eskime sorunu olabilir. Eskimiş bir sistem için kaç adet parçanın stoklanacağını belirlemek zordur ve kimsenin stokta bulundurmadığı bir parçayı değiştirmek zor olabilir. Bu kısıt çalışmada yok sayılarak ilenmiştir.

Ana ekipman birimi pahalıysa, ekipmanın bileşenlerinin stoklanması, tam birimlerden daha olasıdır ve mümkünse, değişim yerine onarım tercih edilebilir. Bu çalışmada onarım durumu simülasyon modeli ile dikkate alınmış ve duyarlılık analizi yapılmıştır.

Sistemlerin uzun süreli kullanımına devam edilmesi teknolojik gelişmeleri ve malzemelerin üretimden kalkması sebepleriyle temin edilemez durumlar yaratabilir. Bu durumda alternatifler bulmak ya da yeniden tasarım yaparak sistem üzerindeki değişiklikleri sağlayarak yedek parça planlaması tekrar yapılması gerekebilir. Demodelik

yönetimi çalışmamızın bir parçası olarak değerlendirilmemiş ve malzemenin üretiminin devam ettiği varsayılmıştır.

Sektörel olarak proje bazlı üretim yapan firmalarda bakım onarım ya da parça değişimi süreleri sözleşmelere bağlı olarak belirlenir ve sürelere uymama durumunda büyük cezalarla karşılaşılabilir. Ceza katsayısı gibi değerlendirilecek bir yöntem çalışma kapsamında değerlendirilmemiştir.

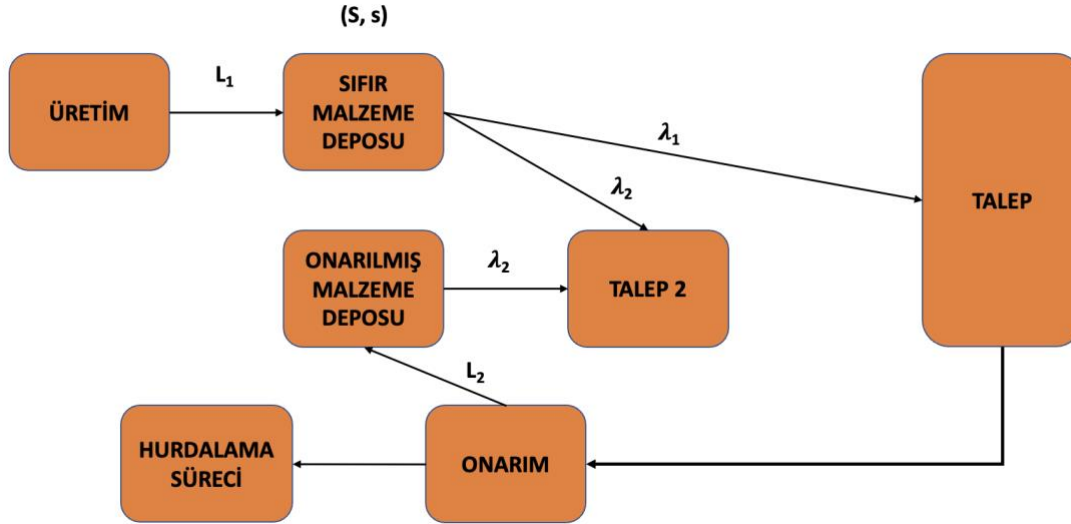
Proje bazlı üretim yapan ve standartları farklı sistemler için üretim ve tedarik süreçleri de uzun zaman alabilmektedir. Bu gecikmeler göz önüne alınarak malzeme stoku tutulması gerekir. Çalışmada tek tedarikçi ve sabit temin süresi kabulüyle ilerlenmiştir.

Kritik ve faaliyet dışı kalmaması gereken sistemler için stoksuzluk durumu kabul edilemez bir durum olabilir. Bu tarz durumlar için yedek planlaması daha da büyük öneme sahiptir.

Bahsedilen bütün bu zorluk ve kısıtları belli varsayımlar içinde problemimize katarak çözmek, bakım ve onarım yedek parçalarının gerçeğe yakın tahmin ve planlamasıyla bir yandan müşteri memnuniyetini artırırken bir yandan da sektör içi rekabette ele alınan sistemi öne geçirecek bir fırsat sunacaktır. Bu kısıtlar/varsayımlar doğrultusunda, ele alınacak bir A tipi malzeme için süreç aşağıda anlatılmakta olup bu süreç içerisindeki bileşenler ise Çizelge 3.1’de verilmektedir:

Çizelge 3.1: Envanter Sistemi Bileşenleri ve Tanımları

Bileşen	Tanım
Üretim	Bakım onarım için üretilecek ya da tedarik edilecek konumdur.
Sıfır Malzeme Deposu	Üretilen/tedarik edilen yeni malzemelerin depolandığı depodur.
Onarılmış Malzeme Deposu	Müşteriye ait onarılan malzemelerin bulunduğu depodur.
Onarım	Sahadan arızalanmış malzemelerin onarım amaçlı geldiği fabrikada bulunan atölyedir.
Hurdalama Süreci	Sahadan arızalı gelen malzemenin imha sürecine verilen isimdir.
Talep	Müşteriden arıza bildirim gelmesi durumudur.
Talep 2	Onarım deposunun kullanılacağı arıza durumudur.
$L_1$	Temin edilme süresidir.
$L_2$	Onarım süresidir.
$\lambda_1$	Sıfır malzeme deposundan kullanım için gelen talep oranıdır.
$\lambda_2$	Onarım malzeme deposundan kullanım için gelen talep oranıdır.
(s, S) politikası	s sipariş verme noktasında deponun S değerine tamamlandığı stok politikasıdır.

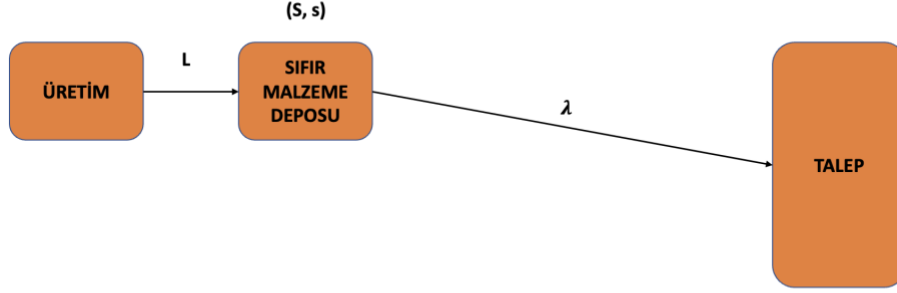


Şekil 3.1: A Tipi Malzeme için Envanter Süreç Akış Diyagramı

İncelemesini yaptığımız A tipi malzeme için envanter süreç akışı Şekil 3.1’de de görselleştirildiği şekilde müşteriden arıza bilgisi gelmesiyle süreç başlar. Arızanın tipine göre gerekli malzemelerle sahaya servis planlanır. Sahadaki arıza, sıfır malzeme deposundan ya da müşteriye ait onarılmış malzeme deposundan (varsa) temin edilerek sistem faal hale getirilir. Faal hale getirilmiş sistemin üzerinden çıkan arızalı malzeme onarım kararı verilmesi için fabrikaya getirilir. Eski malzemenin onarılıp onarılamayacağı kontrol edilir. Onarılamıyor ise gerekli işlemleri yapılarak hurda süreci başlatılır. Onarılabiliyor ise onarılarak onarılmış malzeme deposuna aktarılır. Onarılan malzeme müşteriye ait depoda depolanır. Eğer depoda yeni ya da müşterini kendisine ait onarılmış malzeme bulunmuyor ise müşteriye bilgi verilir, müşteri anlaşması kısıtları altında üretim talebi oluşturulur ve yeni ürün üretilerek üretim tamamlanması sonrası servis planı yapılır. Yeni ürünlerin deposu ayrı takip edilmektedir. Böylelikle yeni ve onarılmış malzemeler farklı işlem görmektedir.

Bu sistemin durum değişkeni, sıfır malzeme deposundaki envanter pozisyonu ile onarılmış malzeme deposundaki her müşteri için ayrılmış envanter pozisyonundan oluşmaktadır. Ancak onarılmış malzeme deposundaki envanter pozisyonu her bir müşteri için ayrı tutulması gerektiği için sistemi karakterize eden durum uzayının eleman sayısı çok büyümekte ve çözümlenebilecek büyüklüğü aşmaktadır. Bu nedenle, ele alınan sistemde analitik envanter modeli oluşturulurken öncelikle onarılmış malzeme deposu

yok sayılmakta ve bu depo simülasyon modeline dahil edilmektedir. Bu doğrultuda, analitik modeli oluşturacak olan envanter sistemi Şekil 3.2 'te verilmekte olup detayları aşağıda sunulmaktadır. Model oluşturulurken onarım süreci dikkate alınmadığı için Şekil 3.1 'te bulunan  $L_1$  ve  $L_2$  değerleri sadece  $L_1$  'e denk gelen  $L$  olarak;  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$  değerleri sadece  $\lambda$  olarak ifade edilmiştir.



Şekil 3.2: A Tipi Malzeme Analitik Model Süreç Akışı

### 3.2. Analitik Model

Ele alınan yedek parça stokunun tek bir tedarikçiden karşılandığı ve tedarik süresinin sabit olduğu varsayılmıştır. Bu varsayım ile yukarıda belirtildiği üzere sistemde  $(s, S)$  *politikası* uygulanmaktadır. Sıfır malzeme deposundaki envanter pozisyonu  $s$  değerinin veya altına düştüğü zaman  $S$  değerine çıkarılacak şekilde sipariş verilir. İncelenen sistemde  $(s, S)$  politikasının tercih edilmesinin sebebi devamlı kontrol gereken sistemlerde esnek olması sebebiyle çoğunlukla uygun bulunmasıdır.

Ele alınan stok politikası birim ve bileşik Poisson sürecine göre incelenecek olup her iki durumda da kullanılacak notasyonlar Çizelge 3.2'de ve gerekli bilgiler aşağıda sunulmaktadır. Depodaki envanter pozisyonu herhangi bir zamanda  $\{s + 1, s + 2, \dots, S\}$  kümesinden değer almaktadır.

$$IP(t) \in \{s + 1, s + 2, \dots, S\}$$



Şekil 3.3:  $[t, t + L]$  Zaman Skalası

- Şekil 3.3'te verilen zaman skalası dikkate alındığında  $t$  anından önce verilen tüm siparişlerin  $t+L$  zamanına kadar geldiği ve  $t$  anından sonra verilen hiçbir siparişin  $t+L$  zamanına kadar gelmediği bilinmektedir.

Çizelge 3.2: Birim ve Bileşik Poisson Sürecine göre İncelenecek Stok Politikasında Kullanılacak Notasyonlar ve Açıklamaları

Notasyon	Açıklama
$IP(t)$	$t$ zamanındaki envanter pozisyonu
$SM(t)$	$t$ zamanındaki elde bulunan stok miktarı
$GM(t)$	$t$ zamanında geri ısmarlanan talep miktarı
$SB$	Sipariş büyüklüğü
$D(t_1, t_2)$	$[t_1, t_2)$ zaman aralığında gelen toplam talep
$N(t_1, t_2)$	$[t_1, t_2)$ zaman aralığında talep gelişi sayısı
$h$	Birim elde bulundurma maliyeti
$K_i$	$i$ . talebin büyüklüğü
$b$	Birim geri ısmarlama maliyeti
$A$	Sipariş vermenin sabit maliyeti

- $D(t, t + L)$  Çizelge 3.2'de verildiği üzere,  $t$  ve  $t + L$  zamanları arasında gelen toplam talep olup aşağıda verilen denklemle ifade edilebilmektedir.

$$D(t, t + L) = \sum_{i=1}^{N(t, t+L)} K_i \quad (1)$$

Buradaki  $K_i$   $i$ . talebin büyüklüğünü  $N(t, t + L)$  ise Poisson sürecine göre gelen talep gelişlerini ifade etmektedir.

- $t+L$  zamanında elde bulunan stok miktarı  $SM(t + L)$ , Denklem (2) ile ifade edilmekte olup  $\{0, 1, 2, \dots, S\}$  kümesinden değer alabilmektedir.

$$SM(t + L) = \max (IP(t) - D(t, t + L), 0) \quad (2)$$

- $t+L$  zamanında geri ısmarlanmış olan miktar,  $GM(t + L)$ , Denklem (3) ile verilmekte ve  $\{0,1,2, \dots \dots\}$  sonsuz kümesinden değer alabilmektedir.

$$GM(t + L) = \max (D(t, t + L) - IP(t), 0) \quad (3)$$

- Sipariş büyüklüğü, envanter pozisyonu  $s$  değerine düştüğünde  $S - s$  olmaktadır. Talebin büyüklüğünün değişken olduğu durumda envanter pozisyonu anlık olarak  $s$  değerinin altına düşebileceği için sipariş büyüklüğü  $S - s$  'ten büyük olabilmektedir.

### 3.2.1. Birim Poisson Sürecine Göre Gelen Talep Durumu

Bu durumda, talepler birim Poisson sürecine göre birim zamanda  $\lambda$  hızı ile gelmektedir. Başka bir ifade ile,  $D(t, t + L) = N(t, t + L)$  olmaktadır. Daha önce bahsedildiği üzere, envanter pozisyonu herhangi bir anda ve dolayısıyla uzun dönemde  $\{s + 1, s + 2, \dots \dots, S\}$  kümesinden değer almaktadır. Ayrıca, birim Poisson sürecine göre talep nedeniyle envanter pozisyonu uzun dönemde belirtilen küme üzerinden tekdüze (düzgün) dağılıma sahiptir [47].

Bu doğrultuda, uzun vadede elde bulunan stok miktarı ( $SM$ ) ve geri ısmarlanan ( $GM$ ) talep miktarının olasılık dağılımları aşağıda verildiği gibi bulunabilmektedir.

$k \in \{0,1,2, \dots \dots, S\}$   $P(SM = k)$  Denklem (4)' te olduğu gibi tanımlansın.

$$P(SM = k) = \lim_{t \rightarrow \infty} P(SM(t + l) = k) \quad (4)$$

Başka bir deyişle, ilgili olasılık uzun dönemde elde bulunan stok miktarının olasılık kütle fonksiyonu olsun. Denklem (2) kullanılarak  $SM$ 'in olasılık kütle fonksiyonu  $k > 0$  için Denklem (5)'teki ifade olarak yazılabilir.

$$P(SM = k) = \lim_{t \rightarrow \infty} \sum_{i=s+1}^S P(IP(t) = i) * P(D(t, t + L) = i - k) \quad (5)$$

Envanter pozisyonunun uzun dönemde tek düze (düzgün) dağılıma sahip olduğu bilgisi kullanılarak Denklem (6)'teki ifade bulunur.

$$P(SM = k) = \begin{cases} \sum_{i=s+1}^S \frac{1}{s-s} * P_0(i - k, \lambda L) & 0 \leq k \leq s \text{ ise} \\ \sum_{i=k}^S \frac{1}{s-s} * P_0(i - k, \lambda L) & k > s \text{ ise} \end{cases} \quad (6)$$

Bu ifadede  $P_0(m, \lambda)$  parametresi  $\lambda$  olan Poisson rassal değişkeninin  $m$ 'deki olasılık kütle fonksiyonudur.

Elde bulunan stok miktarının sıfır olması ele alınan envanter sistemi için hizmet performans ölçütü olarak ele alınabilir ve bu nedenle önemlidir.

$$P(SM = 0) = \lim_{t \rightarrow \infty} \sum_{i=s+1}^S P(IP(t) = i) * P(D(t, t + L) \geq i) \quad (7)$$

Bu nedenle,  $P(SM = 0)$  olasılığı Denklem (8)'de olduğu gibi yazılabilir.

$$P(SM = 0) = \sum_{i=s+1}^S \frac{1}{s-s} * \sum_{k=i}^{\infty} P_0(k, \lambda L) \quad (8)$$

Sıfır stok miktarı ile birlikte stoksuzluk nedeniyle geri ismarlanan talep miktarı da önemli performans ölçülerinden birisidir.

$k \in \{1, 2, \dots\}$  için  $P(GM = k)$  Denklem (9) içinde gösterildiği üzere uzun dönemdeki geri ismarlanan talep miktarının olasılık kütle fonksiyonu olsun.

$$P(GM = k) = \lim_{t \rightarrow \infty} P(BO(t + l) = k) \quad (9)$$

Denklem (3) kullanılarak  $GM$  rassal değişkeninin olasılık kütle fonksiyonu, Denklem (10)'daki gibi ifade edilebilir.

$$P(GM = k) = \lim_{t \rightarrow \infty} \sum_{i=s+1}^{\infty} P(IP(t) = i) * P(D(t, t + L) = i + k) \quad (10)$$

Envanter pozisyonu uzun dönemde tek düze (düzgün) dağılıma sahip olduğu için Denklem (11)'daki gibi bulunabilir.

$$P(GM = k) = \sum_{i=s+1}^S \frac{1}{S-s} * Po(i + k, \lambda L) \quad k = 1, 2, \dots \quad (11)$$

Siparişler arasında geçen zaman  $Y$  rassal değişkeni ile gösterilirse, birim Poisson süreci talep için  $Y$ 'nin parametreleri  $S - s$  ve  $\lambda$  olan Erlang dağılımına sahip olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, siparişler arasında geçen beklenen ortalama zaman  $E(Y) = (S - s)/\lambda$  olarak yazılabilir.

Ele alınan envanter sistemi için  $AC(s, S)$  uzun dönemde birim zamanda gerçekleşen ortalama maliyet ise Denklem (12) ile ifade edilebilir.

$$AC(s, S) = \frac{A}{E(Y)} + h * E[SM] + b * E[GM] \quad (12)$$

Beklenen değerler yerine konulduğu zaman, ele alınan politikanın  $(s, S)$  parametresinde ortalama maliyet fonksiyonu,  $AC(s, S)$  Denklem (13)'deki gibi ifade edilebilir.

$$AC(s, S) = \frac{A}{S-s} + h * \sum_{k=1}^S k * P(SM = k) + b * \sum_{k=1}^{\infty} k * P(GM = k) \quad (13)$$

Ele alınan optimizasyon problemi ise aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\min_{\{s, S\}} AC(s, S)$$

st.

$$s > 0$$

$$S > s$$

$s, S$  tamsayı

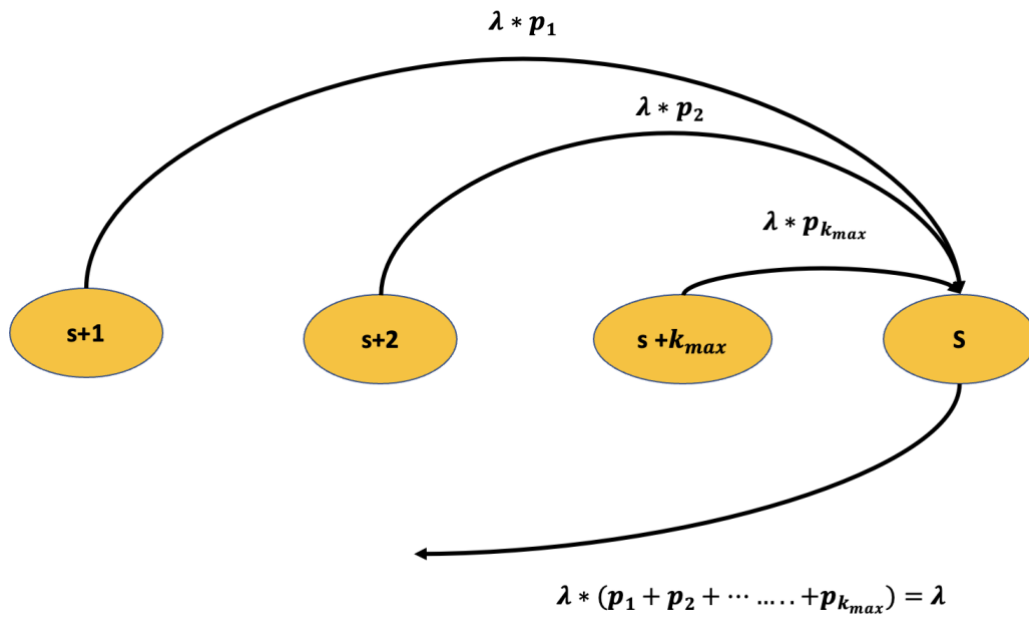
Burada A tipi ürünler için stoksuzluk kabul edilmediği için yeniden sipariş noktası,  $s$  pozitif olarak alınmaktadır. Bu optimizasyon modelinden elde edilen en iyi ortalama maliyet  $AC^*$  ve karşılık gelen en iyi parametreler  $s^*$  ve  $S^*$  olarak gösterilecektir.

### 3.2.2. Bileşik Poisson Sürecine göre Gelen Talep Durumu

Taleplerin bileşik Poisson sürecine göre geldiği durumda talebin gelişi  $\lambda$  hızına sahip Poisson süreci ile modellenirken her gelişte talebin büyüklüğünün gelişlerden bağımsız

rassal bir büyüklüğe sahip olduğu varsayılmaktadır. Ele alınan envanter sisteminde talebin büyüklüğü  $K$  ile gösterilsin.  $K$  sonlu bir rassal değişken olup  $\{1,2,3, \dots, k_{max}\}$  kümesinden  $p_k$  olasılığına göre değer alabilmektedir. Başka bir deyişle,  $P(K = k) = p_k$ ,  $1 \leq k \leq k_{max}$  değerleri için  $k$  rassal değişkeninin olasılık kütle fonksiyonu olsun.

Birim Poisson sürecine göre gelen talep durumu için de anlatıldığı üzere uzun vadede ortalama maliyet fonksiyonunu hesaplayabilmek için öncelikle envanter pozisyonunun uzun önemdeki olasılık kütle fonksiyonuna ihtiyaç duyulmaktadır. Envanter pozisyonu, bileşik Poisson süreçli talep nedeniyle sürekli zaman Markov zinciri ile modellenenmektedir. Durum geçişleri aşağıda anlatıldığı üzere farklı envanter pozisyonları için değerlendirilmiştir. Durum geçişleri, aynı zamanda uzun vadede envanter pozisyonunun dağılımını  $(\pi_k, k = s + 1, s + 2, \dots, S)$  bulmak için kullanılmıştır. Durum değişimleri, Şekil 3.4'te envanter pozisyonunun  $S$  olan durum için durum geçiş diyagramı ile gösterilmektedir.

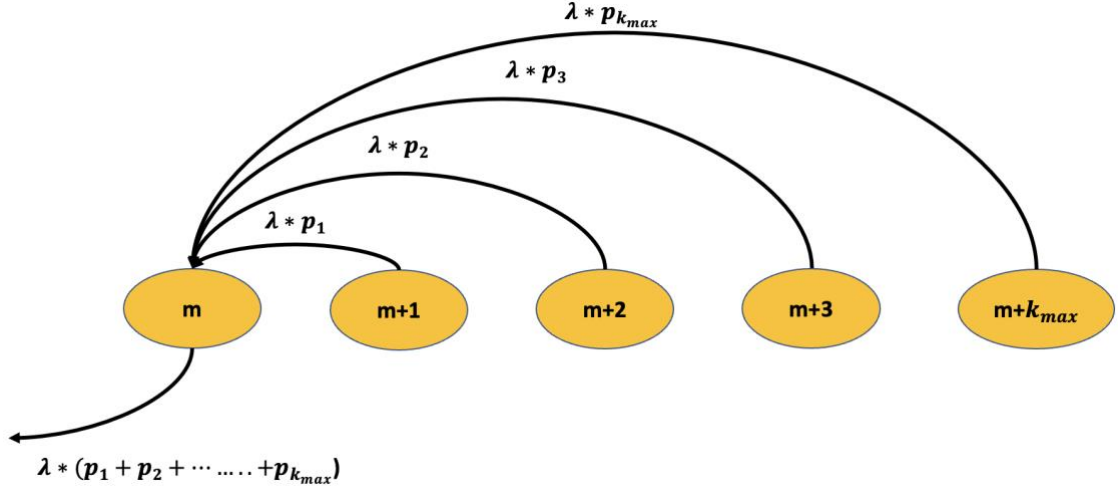


Şekil 3.4: Envanter Pozisyonu  $S$  Olan Durum için Geçiş Diyagramı

Envanter pozisyonunun  $S$  değeri aldığı durum için Denklem (14)'te gösterilmiş olduğu gibi denge denklemi yazılabilir. Envanter pozisyonunun  $S$ 'e geçiş yapması için bir siparişin verilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, bu envanter pozisyonuna girişler  $s + 1$ 'den  $\lambda p_1$  hızıyla,  $s + 2$ 'den  $\lambda p_2$  hızıyla .... ve benzer şekilde  $s + k_{max}$ 'dan  $\lambda p_{k_{max}}$

hızıyla gerçekleşir. Bu envanter pozisyonunda çıkışlar ise herhangi bir büyüklüğü olan  $\lambda$  hızlı talep ile gerçekleşir.

$$\lambda\pi_s = \lambda p_1\pi_{s+1} + \lambda p_2\pi_{s+2} + \dots + \lambda p_{k_{max}}\pi_{s+k_{max}} \quad (14)$$



Şekil 3.5: Envanter Pozisyonu m Olan Durum için Geçiş Diyagramı

$m \in \{s + 1, s + 2, \dots, S - 1\}$  envanter pozisyonu değeri için durum geçiş diyagramı Şekil 3.5'te gösterilmekte olup denge denklemleri Denklem (15)'teki gibi yazılabilir.

$$\lambda\pi_m = \lambda p_1\pi_{m+1} + \lambda p_2\pi_{m+2} + \lambda p_3\pi_{m+3} \dots + \lambda p_{k_{max}}\pi_{m+k_{max}} \quad (15)$$

Envanter pozisyonunun  $m \in \{s + 1, s + 2, \dots, S - 1\}$  değerine geçiş yapması için sistemin başka bir envanter pozisyonunda  $(m + i)$ ,  $i \in \{1, 2, \dots, k_{max}\}$  iken,  $p_i$  olasılıkla büyüklüğü  $i$  olan talebin  $\lambda p_i$  hızıyla gelmesi gerekmektedir. Bu envanter pozisyonundan çıkışlar ise herhangi bir büyüklüğü olan ve  $\lambda$  hızına sahip bir talep ile gerçekleşir.

Denklem (14) ve (15) ile verilen envanter pozisyonunun  $S$  ve  $\{S - 1, S - 2, \dots, s + 1\}$  değerleri için denge denklemleri ile birlikte Denklem (16) ile verilen normalizasyon denklemi kullanılarak envanter pozisyonunun uzun dönem olasılıkları bulunabilir.

$$\pi_{s+1} + \pi_{s+2} + \dots + \pi_s = 1 \quad (16)$$

Bileşik Poisson talep sürecinde ortalama maliyet fonksiyonu bulunurken Denklem (2) ve Denklem (3) ve sonrasında Denklem (5), Denklem (7) ve Denklem (9) kullanılmakta beraber tedarik süresi boyunca gelen talep dağılımı,  $P(D(t, t + L) = k)$  değişmektedir.  $k \in \{0,1,2, \dots \dots \}$  için

$$P(D(t, t + L) = k) = \sum_{i=1}^k (P(D(t, t + L) = k) | N(t, t + L) = i) * P(N(t, t + L) = i)$$

olarak yazılabilir. Buradan

$$P(D(t, t + L) = k) = \sum_{i=1}^k P(\sum_{j=1}^i K_j = k) * p_0(i, \lambda L) \quad (17)$$

elde edilebilir. Burada,

$$P(\sum_{j=1}^i K_j = k) = \sum_{\left\{ \begin{array}{l} i_1+i_2+\dots+i_{k_{max}}=1 \\ \sum_{m=1}^{k_{max}} i_m * m=k \end{array} \right\}} \frac{i!}{i_1! * i_2! * \dots * i_{k_{max}}!} * p_1^{i_1} * p_2^{i_2} * \dots * p_{k_{max}}^{i_{k_{max}}} \quad (18)$$

olarak yazılabilir. Başka bir deyişle,  $i$  tane talep gelişinde toplam  $k$  talebin olması olasılığı belirli koşulları sağlayan ve parametreleri  $(i, p_1, p_2, \dots, p_{k_{max}})$  olan çok terimli olasılıkların toplamı olarak yazılabilir.

Bileşik Poisson süreci için  $AC(s, S)$  maliyet fonksiyonu Denklem (12)'ye benzer şekilde

$$AC(s, S) = \frac{A}{E(Y)} + h * \sum_{k=1}^S k * P(SM = k) + b * \sum_{k=1}^{\infty} k * P(GM = k) \quad (19)$$

olarak yazılabilmektedir.

Buradan optimizasyon problemi aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\min_{\{s,S\}} AC(s, S)$$

*st.*

$$s > 0$$

$$S > s$$

*s, S tamsayı*

### **3.3. Simülasyon**

Tez çalışması kapsamında incelenen A tipi bir malzeme için iki tür problem ele alınmıştır. İlk problemde, talepler arası dağılımın farklılaşmasının incelenmesi amaçlanmıştır. İkinci problemde ise süreç içerisinde kullanılan müşteri malzemesi için taleple gelen arızalı ürünün onarımının gerçekleştirilerek ek bir müşteri deposunda depolanması, yönetilmesi ve kullanılması durumlarının incelenmesi hedeflenmiştir. İki problem için de öncelikle birim/bileşik Poisson sürecine göre gelen talep modeli kullanılarak  $(s, S)$  politikasının kesin çözümü ve optimal parametreleri  $(s^*, S^*)$  elde edilmiştir. Bu parametreler her iki problem için oluşturulan simülasyon modellerinde kullanılarak ilgili sistemlerdeki ortalama maliyetlerin değerlendirilmesi sağlanmıştır.

#### **3.3.1. Dağılım Farklılıklarının Değerlendirilmesi İçin Oluşturulan Simülasyon Modeli**

Matematiksel model oluşturulurken Bölüm 3.1 ve Bölüm 3.2’de anlatıldığı üzere taleplerinin birim/bileşik Poisson sürecine göre geldiği varsayılmıştır. Oluşturulan ilk modeli sürekli gözden geçirilen envanter sistemleri için  $(s, S)$  politikasına odaklanmış ve oluşturulan simülasyon modeli birim/bileşik Poisson sürecine göre gelen talebi içerebildiği gibi farklı talepler arası geliş dağılımları da kullanılabilir.

Simülasyon modelinin ana amacı verilen politika parametrelerinde ve talepler arası geliş dağılımlarında ortalama maliyet fonksiyonu, elde bulunan ortalama stok miktarı, geri ismarlanan ortalama talep miktarını hesaplamaktır.

##### **3.3.1.1. Kavramsal Model**

Kavramsal modeli oluşturmak için öncelikli olarak sistem bileşenleri tanımlanmış ve ele alınan sistemin süreç akışı oluşturulmuştur. Bu bağlamda, sistem bileşenlerinden birim

(entity) taleplerden oluşmaktadır. Sistemdeki olaylar talep gelmesi, sipariş verilmesi ve siparişin gelmesi olarak aşağıdaki şekilde tanımlanabilmektedir.

**Talep gelmesi:** Müşteriden arıza sonucu bakım talebinin gelmesi durumudur. Arızalar arası gelen zaman ile talepler arasındaki geçen zaman denktir.

**Sipariş verilmesi:** Ele alınan politika uyarınca depodaki envanter pozisyonunun belirlenen  $s^*$  değerine ya da altına düşmesi durumunda verilen siparişe karşılık gelmektedir. Verilen bir sipariş henüz ulaşmadıysa yolda olan sipariş olarak adlandırılır.

**Siparişin gelmesi:** Sipariş verildikten sonra tedarik süresi ile belirtilen zaman sonunda verilen siparişin depoya ulaşması anlamına gelmektedir.

Siparişin verilmesi ile gelmesi arasında geçen zaman olan tedarik süresi ise modelde aktivite olarak tanımlanmaktadır.

**Fiziksel depo:** Depoda fiziksel olarak bulunan stok ile stoksuzluk nedeniyle geri ismarlanan miktar arasındaki farktır. Depoda fiziksel olarak stok bulunuyorsa geri ismarlanan miktar sıfır olacağı için pozitif değer alır; stoksuzluk nedeniyle geri ismarlama miktarı bulunuyorsa fiziksel depo negatif değer alır. Başka bir ifadeyle sistemdeki net stok miktarıdır.

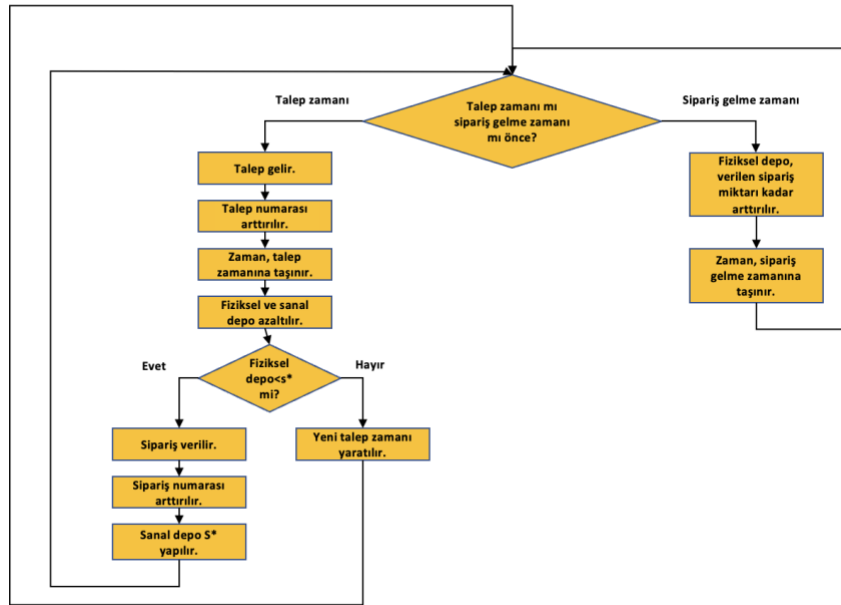
**Sanal depo:** Sistemdeki envanter pozisyonu tanımlamaktadır. Envanter pozisyonu ise fiziksel depo ile verilmiş ama henüz gelmemiş olan siparişteki toplam malzeme sayısıdır. Ele alınan  $(s, S)$  politikası envanter pozisyonu yeni sanal depo üzerinden yürümektedir. Envanter seviyesini ifade etmektedir. Sipariş verilmesi durumunda malzeme depoya girmese dahi depoya gelmiş gibi sanal artım yapılır. Aynı şekilde siparişin gelmediği ancak taleplerle deponun sıfırın altına indiğini gözlemlediğimiz değişkendir.

### 3.3.1.2. Simülasyon Süreç Akışı

Simülasyon süreci ilk talebin oluşturulması ile başlar, sonrasındaki süreç zamanın ilerletileceği değeri belirlemek için talep zamanı ve sipariş gelme zamanı kıyaslaması yapılır. Talep zamanının, sipariş gelme zamanından küçük olduğu durumda talep gelmesi olayı gerçekleşir, talep sayısı arttırılır, zaman değeri talep zamanına ilerletilir ve fiziksel depo ve sanal depo adetleri talep miktarı kadar azaltılır. Yeni talep zamanı üretilir.

Sanal depo kontrol edilir, eğer envanter modelinden elde edilen optimal sipariş noktası  $s^*$ 'dan az ise  $S^*$  ile fiziksel depo arasındaki fark kadar ürün siparişi verilir. Sipariş verilen zaman üzerine tedarik süresi eklenerek siparişin gelme zamanı hesaplanır. İncelenen sistemde tek tedarikçi üzerinden alım yapıldığı varsayıldığı için eklenen değer sabittir. Sanal depo miktarı  $S^*$  değerine getirilir. Sipariş sayısı artırılır. Eğer sanal depo miktarı  $s^*$ 'dan yüksek ise kod başa döner yeni oluşturulan talep zamanı ile sipariş gelme zamanının kıyaslamasını yapar. Kod döngüde devam eder.

Sipariş gelme zamanı, talep zamanından önce ise daha önceden vermiş olduğumuz siparişin geldiği kabul edilir ve fiziksel depo miktarı, verilmiş olan sipariş miktarı kadar artırılır. Zaman değeri, sipariş gelme zamanına ilerletilir. Kod başa döner ve yeni oluşturulan talep zamanı ile sipariş zamanının kıyaslamasını yapar. Kod döngüde devam eder. Replikasyonların tamamlanması sonucunda ortalama maliyeti, ortalama elde tutulan stok miktarı ve ortalama geri ismarlanan talep miktarı elde edilir. Yukarıda anlatılmış olan simülasyon akışının şeması Şekil 3.6 'de paylaşılmıştır.



Şekil 3.6: Simülasyon Süreç Akış Şeması

### 3.3.2. Onarım Süreci Dahil Simülasyon

Matematiksel model oluşturulurken Bölüm 3.1 ve Bölüm 3.2’de anlatıldığı üzere taleplerinin birim Poisson sürecine göre geldiği varsayılmıştır. Oluşturulan ilk model

sürekli gözden geçirilen envanter sistemleri için ( $s, S$ ) politikasına odaklanmış ve oluşturulan simülasyon modeli birim Poisson sürecine göre gelen talebi onarım yapılmadan sadece yenisiyle değiştirme -bozulanı hurdaya ayırma- kararını içerirken sistemde belli bir oranda onarım yapılabilme imkanı da bulunmaktadır. Onarım yapılması sonucunda sektörel gereksinimlerden kaynaklı müşterilere özel depolama yapılması ve bu sebeple örnek uzayının çok büyümesi sebebi ile onarım süreci matematiksel model yerine simülasyona dahil edilerek incelenmiştir. Simülasyon modelinin ana amacı verilen politika parametrelerinde, onarım yapılan sistemde, ek depo yönetimiyle ortalama maliyet fonksiyonu, elde bulunan ortalama stok miktarı, geri ısmarlanan ortalama talep miktarını hesaplamaktır.

### 3.3.2.1. Kavramsal Model

Kavramsal modeli oluşturmak için öncelikli olarak sistem bileşenleri tanımlanmış ve ele alınan sistemin süreç akışı oluşturulmuştur. Bu bağlamda, sistem bileşenlerinden birim (entity) taleplerden oluşmaktadır. Sistemdeki olaylar talep gelmesi, sipariş verilmesi, siparişin gelmesi ve onarımın tamamlanması olarak aşağıdaki şekilde tanımlanabilmektedir.

**Talep gelmesi:** Müşteriden arıza sonucu bakım talebinin gelmesi durumudur. Arızalar arası gelen zaman talepler arasındaki geçen zaman denktir.

**Sipariş verilmesi:** Ele alınan politika uyarınca depodaki envanter pozisyonunun belirlenen  $s^*$  değerine ya da altına düşmesi durumunda verilen siparişe karşılık gelmektedir. Verilen bir sipariş henüz ulaşmadıysa yolda olan sipariş olarak adlandırılır.

**Siparişin gelmesi:** Sipariş verildikten sonra tedarik süresi ile belirtilen zaman sonunda verilen siparişin depoya ulaşması anlamına gelmektedir. Siparişin verilmesi ile gelmesi arasında geçen zaman olan tedarik süresi ise modelde aktivite olarak tanımlanmaktadır.

**Onarımın Tamamlanması:** Onarım olasılığı olan malzemenin, onarım işleminin tamamlanması ve tekrar kullanılabilir durumda müşteri deposuna eklenmesi durumudur.

Talep gelmesi ile onarımın tamamlanması arasında geçen zaman olan onarım süresi ise modelde aktivite olarak tanımlanmaktadır.

**Fiziksel depo:** Depoda fiziksel olarak bulunan stok ile stoksuzluk nedeniyle geri ismarlanan miktar arasındaki farktır. Depoda fiziksel olarak stok bulunuyorsa geri ismarlanan miktar sıfır olacağı için pozitif değer alır; stoksuzluk nedeniyle geri ismarlama miktarı bulunuyorsa fiziksel depo negatif değer alır. Başka bir ifadeyle sistemdeki net stok miktarıdır.

**Sanal depo:** Sistemdeki envanter pozisyonu tanımlamaktadır. Envanter pozisyonu ise fiziksel depo ile verilmiş ama henüz gelmemiş olan siparişteki toplam malzeme sayısıdır. Ele alınan ( $s, S$ ) politikası envanter pozisyonu yeni sanal depo üzerinden yürümektedir. Envanter seviyesini ifade etmektedir. Sipariş verilmesi durumunda malzeme depoya girmese dahi depoya gelmiş gibi sanal artım yapılır. Aynı şekilde siparişin gelmediği ancak taleplerle deponun sıfırın altına indiğini gözlemlediğimiz değişkendir.

**Onarım depo:** Arızalı gelen ve onarım ihtimali olan malzemenin onarımı tamamlandıktan sonra müşterisine özel depolandığı depo yeridir.

### 3.3.2.2. Simülasyon Süreç Akışı

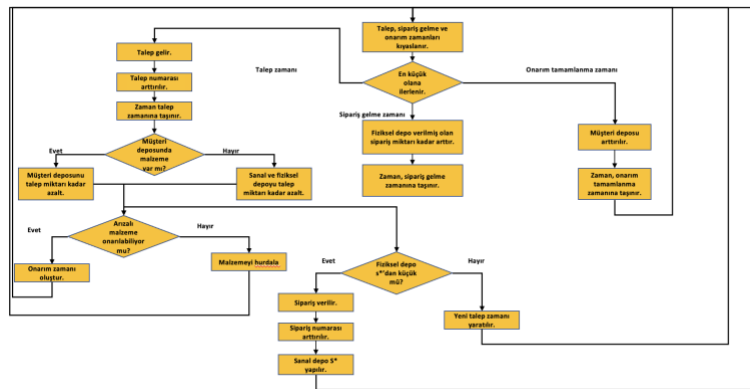
Simülasyon süreci ilk talebin oluşturulması ile başlar, gelen talepteki arızalı ürününün onarım durumu belirlenir. Eğer onarılabilir ise onarım tamamlanma zamanı hesaplanır. Ancak sistemin çalışmasının devamı için sisteme depodan malzeme takılır. Bu sebeple talep gelmesi durumunda müşteri deposundan ya da fiziksel ve sanal depodan malzeme düşümü yapılır. Süreç zamanın ilerletileceği değeri belirlemek için talep zamanı, onarım zamanı ve sipariş gelme zamanlarının kıyaslaması yapılır.

Talep zamanının küçük olduğu durumda talep gelme olayı gerçekleşir, talep sayısı artırılır; zaman değeri talep zamanına ilerletilir, fiziksel ve sanal depo adetleri talep miktarı kadar azaltılır. Yeni talep zamanı üretilir. Taleple gelen arızalı malzemenin onarım ihtimali değerlendirilir onarılabilir ise onarım tamamlanma zamanı hesaplanır. İlk talep zamanı harici oluşan tüm taleplerde fiziksel depo kontrol edilmeden önce müşteriye ait onarım deposu kontrol edilir. Eğer onarım deposunda malzeme bulunuyor ise talep ilk olarak bu malzeme ile karşılanır. Onarım deposunda yedek bulunmuyor ise fiziksel ve sanal depodan düşüm yapılır.

Sanal depo miktarı kontrol edilir, eğer envanter modelinden elde edilen optimal sipariş noktası  $s^*$ 'dan az ise  $S^*$  ile fiziksel depo arasındaki fark kadar ürün siparişi verilir. Sipariş verilen zaman üzerine tedarik süresi eklenerek siparişin gelme zamanı hesaplanır. Tedarik süresi, sabit tek tedarikçiden alındığı ve sürenin sabit olduğu varsayılmıştır. Sanal depo miktarı,  $S^*$  değerine getirilir. Sipariş sayısı arttırılır. Eğer sanal depo miktarı  $s^*$ 'dan yüksek ise kod başa döner yeni oluşturulan talep zamanı, onarım tamamlanma zamanı ile sipariş gelme zamanlarının kıyaslamasını yapar. Kod döngüde devam eder.

Sipariş gelme zamanı önce ise daha önceden vermiş olduğumuz siparişin geldiği kabul edilir ve fiziksel depo miktarı verilmiş olan sipariş miktarı kadar arttırılır. Zaman değeri sipariş gelme zamanına ilerletilir. Kod başa döner ve yeni oluşturulan talep zamanı, onarım tamamlanma zamanı ile sipariş zamanlarının kıyaslamasını yapar. Kod döngüde devam eder. Replikasyonların tamamlanması sonucunda ortalama maliyet, ortalama elde tutulan stok miktarı ve ortalama geri ismarlanan talep miktarı hesaplanır.

Onarım tamamlanma zamanının küçük olduğu durumlarda onarımı tamamlanan ürün müşterisine özel onarım deposuna kaldırılır, onarım depo miktarı arttırılır. Kod başa döner. Oluşturulan simülasyonda talepleri karşılamak için müşteri deposundan kullanılan onarılmış malzeme, sıfır malzeme özelliği gösteriyor varsayılmış, eskime durumu göz ardı edilmiştir. Yukarıda anlatılmış olan simülasyon akışının şeması Şekil 3.7 'da paylaşılmıştır.



Şekil 3.7: Onarım Süreci Dahil Simülasyon Süreç Akış Şeması

## 4. SAYISAL ANALİZ

Sunulan tez çalışması ile yedek parça olarak stoku tutulan A tipi bir malzemenin stok politikası ve bu politikaya ait analitik envanter modelleri Bölüm 3.1 ve Bölüm 3.2’de birim ve bileşik Poisson talepler için oluşturulmuştur. Bu modellerin kullanılmasıyla elde edilen optimal politika parametreleri alınarak Bölüm 3.3’te anlatıldığı üzere analizin detaylandırılması için simülasyon modellerinde çalıştırılmıştır.

Sayısal analiz kapsamında karşılaştırma ve performans değerlendirmesi için kullanılan ölçütler,

1.  $AC^*$  (En iyi ortalama maliyet)
2.  $E[SM]^*$  (Optimal politika parametresinde elde bulunan ortalama stok miktarı)
3.  $E[GM]^*$  (Optimal politika parametresinde geri ismarlanan ortalama talep miktarı)

şeklinde belirlenmiştir.

Kullanılan bu performans ölçütleri ile gerçekleştirilen analizin amaçları şu şekilde belirlenmiştir:

1. Farklı parametre kümelerinde birim ve bileşik Poisson talepler için optimal politika parametrelerinin ve performans ölçülerinin duyarlılığının incelenmesi
2. Birim ve bileşik talep durumlarında, farklı talepler arası dağılımlar için ele alınan performans ölçütlerinin duyarlılığının ve Poisson süreçleriyle farklarının incelenmesi
3. Birim ve bileşik Poisson talep süreçlerinde, malzemenin onarım ile tedarik edilebilirliği durumunun onarım olmadığı temel durum ile karşılaştırılması ve performans ölçütlerinin farklarının değerlendirilmesi

Bu amaçlar doğrultusunda Çizelge 4.1’de bulunan parametreler dikkate alınarak ( $s^*$ ,  $S^*$ ) optimal politika parametreleri elde edilmiş ve belirtilen analizler bu politika parametreleri kullanılarak yapılmıştır. Çizelge 4.1’de sunulan değerler A tipi bir malzemenin olası parametrelerini göstermekte olup parametrelerin geniş bir aralığı temsil etmesi sağlanmıştır. Oluşturulan analitik matematiksel model için Matlab programı kullanılmıştır.

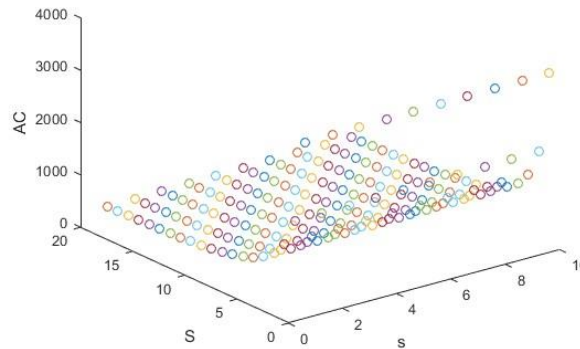
Çizelge 4.1: Matematiksel ve Simülasyon Modelinde Ele Alınan Sistem Parametre Senaryoları

Parametre	Değerler
$\lambda$	8- 24
L	0.01- 0.9
A	400- 900
b	36- 70- 500
h	8- 32
Dağılımlar	Lognormal- Beta

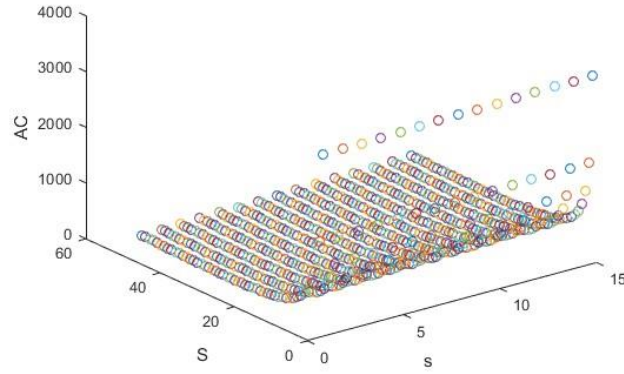
#### 4.1. Birim Talep Poisson Sürecine Göre Gelen Talep

3. Bölümde anlatıldığı üzere  $(s, S)$  politikasının birim Poisson sürecine göre gelen talep altında ortalama maliyet fonksiyonu hesaplanarak optimizasyon modeli oluşturulmuştur. Optimizasyon problemi ise uygun  $(s, S)$  parametrelerinde ayrıntılı arama yöntemi ile çözülmüştür. Bulunan en iyi optimal parametreler uygun alanın sınırlarında çıktığı durumda ise uygun alan genişletilerek problem tekrar çözülmüştür. 4 çekirdekli 8 Gb ram bulunan bilgisayarda Matlab programında koşturulan optimizasyon modeli her parametre seti için ortalama 90 dakikada sonuç vermektedir.

Belirtilen optimizasyon problemi kapsamında öncelikle  $AC(s, S)$  ortalama maliyet fonksiyonu yapısı incelenmiştir. Bunun için farklı parametre kümelerinde uygun  $(s, S)$  değerleri için  $AC(s, S)$  fonksiyonu hesaplatılmış ve bu değerler Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de verilen grafiklerde sunulmuştur.



Şekil 4.1:  $\lambda = 8, L = 0,01, A = 400, h = 8, b = 36$  değerlerinde  $AC(s, S)$  grafiği ( $s \in [1, \dots, 10]$  ve  $S = [1, \dots, 20]$  için)



Şekil 4.2:  $\lambda = 8, L = 0,01, A = 400, h = 8, b = 36$  değerlerinde  $AC(s, S)$  grafiği ( $s \in [1, \dots, 15]$  ve  $S = [1, \dots, 50]$  için)

Verilen grafikler incelendiğinde  $AC(s, S)$  maliyet fonksiyonunun ele alınan uygun  $(s, S)$  değerlerinde konveks ve ünimodüler yapı gösterdiği anlaşılmıştır. Ele alınan bu model literatürde de yer alan en temel model olmakla beraber öncelikle analizin ve çalışmanın amacı doğrultusunda duyarlılık analizi yapılmıştır.

Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3’de sunulan sonuçlar doğrultusunda optimal parametre ve karşılık gelen performans ölçüt değişimleri aşağıdaki gibi özetleyebiliriz:

$\lambda$  arttığı zaman,

- Taleplerin geliş hızı arttığında gelen talepler karşısında stoksuz kalmamak için matematiksel model dengelemek adına hem  $s$  hem de  $S$  değerini arttırarak cevap vermektedir.
- Elde bulundurulan ortalama stok miktarının artması da yukarıda bahsedilen gözlemlerin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır.
- Aynı şekilde hesaplanan ortalama maliyet de artış eğilimi göstermektedir.

$L$  değeri artarsa,

- Geri ısmarlanan ortalama talep miktarını optimal tutmak için matematiksel model  $s^*$  değerini daha arttırma yönünde reaksiyon vermektedir. Çünkü verilen siparişin gelme süresi uzadığında deponun stoksuz kalma ihtimali artmaktadır. Varsayımlarda da bahsedilmiş olduğu gibi incelenen ürünün A tipi bir malzeme

olmasından dolayı sıfır stok olma durumu istenmemektedir. Bu dengeyi sağlamak için matematiksel model sipariş verme noktasında deponun envanter pozisyonu değerinin daha yüksek olmasını sağlayacak şekilde hesaplama yapar.

- Aynı şekilde sipariş verilen ürünün geliş süresi uzun olması sebebiyle  $S^*$  değeri de daha büyük bir değer almaktadır.
- Ortalama elde tutulan stok miktarı değerinde büyük farklar gözlenmezken geri ısmarlanan talep miktarında artış gözlenmektedir, bunun sonucu ortalama maliyet değeri de yükselmektedir.

A değeri büyürse,

- Sipariş vermenin maliyeti artmış olacağı için model sipariş tekrarını azaltacak aksiyonlar alma eğilimindedir.
- Tam tersine sipariş içerisinde verilecek siparişin miktarını arttırarak tek maliyetle daha fazla ürün alma dengeleme politikasıyla ilerlemektedir.
- Bu durumda elde tutulan stok miktarı artarken geri ısmarlanan talep miktarı büyük değişiklik göstermemektedir.
- Bunun sonucunda ortalama maliyet de artmaktadır.

h değeri arttığı zaman ,

- Elde tutmanın maliyeti arttığı için parametreler elde tutulan stok miktarını düşürme yönünde değişmektedir. Örneğin,  $s^*$  sabit kalırken  $S^*$  azalmakta veya  $s^*$  ve  $S^*$  aynı anda azalmaktadır.
- Elde tutmak yerine gerektiğinde sipariş ile karşılama politikasının uygulandığını gözlemlenmiştir.
- Bu sebeple ortalama elde bulundurulan stok miktarı azalırken ortalama geri ısmarlanan talep miktarı artmaktadır.
- Ortalama maliyet de artış eğilimi göstermektedir.

b değeri artarsa,

- $S^*$  değerinde değişimin büyük olmamasına rağmen  $s^*$  değerinde artış olmaktadır. Çünkü geri ısmarlama maliyeti yüksek olduğu için sipariş verme noktasında

deponun envanter pozisyonunun yüksek tutulması ile stokuz kalma ihtimali azaltılmaya çalışılmıştır.

- Geri ismarlanan talep miktarı azalırken elde tutulan stok miktarı artarak ortalama maliyetteki değişikliğin büyük olmamasını sağlamaktadır.

Çizelge 4.2:  $\lambda = 8$  için Birim Poisson Sürecine Göre Gelen Talep için Duyarlılık

Analizleri

$\lambda$	L	A	h	b	s*	S*	AC*	E[SM]*	E[GM]*		
8	0,01	400	8	36	1	29	237,65	15,42	0,00		
				70	1	29	237,65	15,42	0,00		
				500	1	29	237,64	15,42	0,00		
			32	36	1	15	498,01	8,42	0,00		
				70	1	15	498,01	8,42	0,00		
				500	1	15	498,01	8,42	0,00		
			900	8	36	1	43	350,79	22,42	0,00	
					70	1	43	350,79	22,42	0,00	
					500	1	43	350,79	22,42	0,00	
		32		36	1	22	724,30	11,92	0,00		
				70	1	22	724,30	11,92	0,00		
				500	1	22	724,30	11,92	0,00		
		0,9		400	8	36	1	33	209,51	10,92	0,62
						70	4	35	223,18	13,03	0,23
						500	8	38	252,30	16,33	0,03
			32		36	1	18	356,71	3,96	1,16	
					70	1	18	395,12	4,40	1,10	
					500	7	23	519,61	8,40	0,10	
			900		8	36	1	46	313,68	17,24	0,44
						70	2	48	327,53	18,62	0,32
						500	8	52	360,42	23,32	0,02
				32	36	1	24	556,94	6,66	0,86	
					70	1	25	585,41	7,12	0,82	
					500	6	29	722,95	10,92	0,12	

Çizelge 4.3:  $\lambda = 24$  için Birim Poisson Sürecine Göre Gelen Talep için Duyarlılık

Analizleri

$\lambda$	L	A	h	b	s*	S*	AC*	E[SM]*	E[GM]*
24	0,01	400	8	36	1	50	402,00	25,76	0,00
				70	1	50	402,00	25,76	0,00
				500	1	50	402,00	25,76	0,00
			32	36	1	26	824,33	13,76	0,00
				70	1	26	824,33	13,76	0,00
				500	1	26	824,33	13,76	0,00
		900	8	36	1	74	597,97	37,76	0,00
				70	1	61	610,08	31,26	0,00
				500	1	61	602,32	30,26	0,00
			32	36	1	37	1216,11	19,76	0,00
				70	1	37	1216,11	19,76	0,00
				500	1	37	1184,52	18,76	0,00
	0,9	400	8	36	11	66	402,00	25,76	0,00
				70	16	69	402,00	25,76	0,00
				500	24	74	394,30	24,76	0,00
			32	36	5	40	824,33	13,76	0,00
				70	11	43	824,33	13,76	0,00
				500	21	49	824,33	13,76	0,00
		900	8	36	10	70	564,20	20,10	1,20
				70	15	75	588,93	24,38	0,48
				500	24	84	675,59	27,94	0,04
			32	36	1	48	876,08	7,93	4,53
				70	7	52	998,31	10,85	2,45
				500	10	65	1616,60	17,71	1,31

#### 4.1.1. Talep Sürecindeki Dağılım Farklılığının Analizi

A tipi malzemeler içinde bulunduğu envanter sistemleri için çok kritik olduklarından bu malzemelerin doğru modellenmesi oldukça önem taşımaktadır. Bu doğrultuda, bu bölüm içinde sürecin doğru tahmin edilerek doğru dağılımlar ile modellenmesinin öneminin sayısal analizi gerçekleştirilecektir.

Talepler arası dağılımın üssel olmadığı durumda kesin ve tam bir matematiksel model mümkün olmadığı için farklı talepler arası dağılımlarını kullanan ve detayları Bölüm 3.3.1’de verilen simülasyon modeli oluşturulmuştur.

Simülasyon modeli Lognormal ve Beta dağılımları için 100 replikasyon üzerinden çalıştırılmış ve bu dağılımların parametreleri objektif bir karşılaştırma için matematiksel modelde varsayılan üssel dağılımın ortalama ve varyansına eşit olacak şekilde belirlenmiştir. Talepler arası dağılımın doğru modellenmesinin önemini vurgulamak için ise ortalama maliyet, elde bulunan stok miktarı ve geri ısmarlanan ortalama talep miktarı üzerinden bir analiz gerçekleştirilmiştir. 4 çekirdekli 8 Gb ram bulunan bilgisayarda Matlab programında koşturulan simülasyon modelleri her parametre seti için ortalama 8 dakikada sonuç vermektedir. Bu analiz kapsamında aşağıdaki performans ölçütleri dikkate alınmıştır.

$$\Delta_{AC}^F \% = \frac{AC_F(s^*, S^*) - AC^*}{AC^*} \times 100 \quad (15)$$

$$\Delta_{SM}^F \% = \frac{E_F[SM] - E[SM]^*}{E[SM]^*} \times 100 \quad (16)$$

$$\Delta_{GM}^F \% = \frac{E_F[GM] - E[GM]^*}{E[GM]^*} \times 100 \quad (17)$$

Denklem (15) 'te  $AC_F(s^*, S^*)$ , F dağılımı altında  $(s^*, S^*)$  politika parametrelerinde ele alınan politika için simülasyon ile elde edilen ortalama maliyet değerini göstermektedir. Benzer şekilde Denklem (16) ve Denklem (17)'de de  $E_F[SM]$  ve  $E_F[GM]$  ifadeleri ise F dağılımı ile  $(s^*, S^*)$  politika parametrelerinde simülasyon ile elde edilen ortalama stok miktarı ve geri ısmarlanan ortalama talep miktarı olarak tanımlanmaktadır.

Denklem (15), Denklem (16) ve Denklem (17) ile verilen performans ölçütleri ise  $(s^*, S^*)$  politika parametrelerinde farklı dağılımlar ile elde edilen ortalama maliyet, ortalama stok miktarı ve ortalama geri ısmarlanan talep miktarları arasında bulunan oransal farklılıklara karşılık gelir. Bu farkların pozitif olması F dağılımı ile aynı politika parametresinde elde edilen maliyet ya da ortalama stok/geri ısmarlanan talep miktarının daha büyük olduğu anlamına gelir. Benzer şekilde, bu performans ölçütlerinin farklı dağılımlar için çok farklı değerlere sahip olduğunu gösterir. Bu durumların istatistiksel olarak test edilebilmek için ise maliyet ile ilgili aşağıdaki hipotezler kurulmuştur.

Hipotez:

$$H_0: \mu_{AC}^F = \mu_{AC}^{\ddot{U}ssel}$$

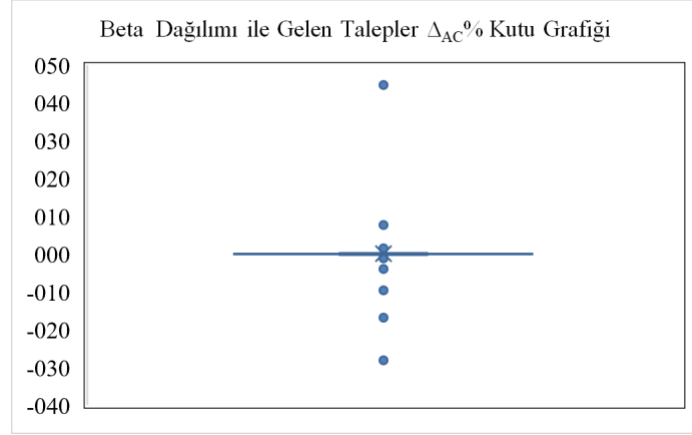
$$H_1: \mu_{AC}^F \neq \mu_{AC}^{\ddot{U}ssel}$$

Ele alınan parametre kümelerinde Denklem (15), Denklem (16) ve Denklem (17) ile verilen performans ölçütleri Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5’de, Hipotez ile ilgili verilen çıkarımları gösteren sonuçlar ise Çizelge 4.6 ‘da verilmektedir. 100 replikasyon çalıştırmış olduğumuz simülasyonların sapmalarını gözlemlemek için  $AC_{std}$  ortalama maliyetin standart sapması hesaplanmıştır. Çizelgeler içerisindeki NA değerleri, Denklem (17) için payda alanında sıfır değeri alan bu sebeple hesaplanamayan değerlerdir.

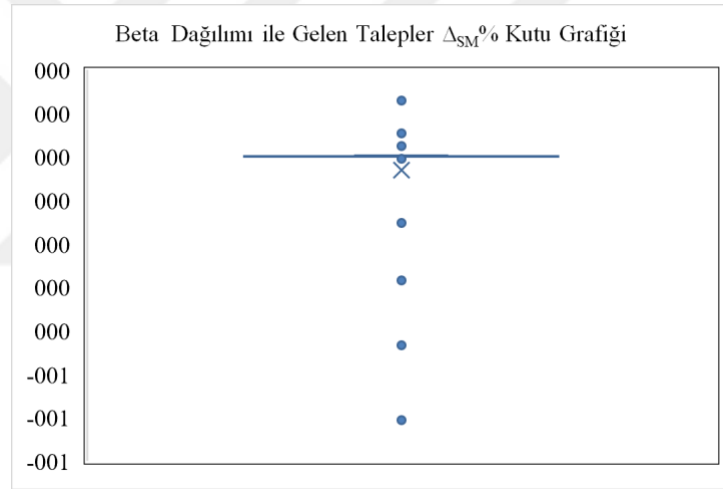
Ele alınan parametre kümelerinde Denklem (15), Denklem (16) ve Denklem (17) ile verilen performans ölçütlerinin Çizelge 4.4 ‘te verilen sonuçlarını aşağıdaki gibi yorumlayabiliriz:

- $\Delta_{SM}^F \% < 0$  iken, performans ölçütlerinde genellikle  $\Delta_{GM}^F \%$  değerleri NA olurken  $E[GM]^*$  değerinin sıfır değeri alması sebebi ile NA değeri ve  $\Delta_{AC}^F \%$  değerinin sıfıra yakın değer aldığı gözlenmektedir.
- $\Delta_{SM}^F \% > 0$  iken performans ölçütlerinde  $\Delta_{GM}^F \%$  değerleri genellikle ya hesaplanamaz (NA) ya da negatif bir değer aldığı gözlenmektedir.
- $\Delta_{GM}^F \% < 0$  iken, performans ölçütlerinde  $\Delta_{SM}^F \%$  değerlerinin genellikle sıfıra yakın ve  $\Delta_{AC}^F \%$  değerinin pozitif değer aldığı gözlenmektedir.
- $\Delta_{GM}^F \% > 0$  iken, performans ölçütlerinde  $\Delta_{SM}^F \%$  değerlerinin ağırlıklı olarak sıfıra yakın ya da negatif ve  $\Delta_{AC}^F \%$  değerinin pozitif değer aldığı gözlenmektedir.
- $\Delta_{AC}^F \% < 0$  iken, performans ölçütlerinde  $\Delta_{SM}^F \%$  değerlerinin genellikle sıfıra yakın ya da negatif;  $\Delta_{GM}^F \%$  değerinin ise hesaplanamaz ya da negatif değer aldığı gözlenmektedir.
- $\Delta_{AC}^F \% > 0$  iken, performans ölçütlerinde  $\Delta_{SM}^F \%$  değerlerinin genellikle sıfır ve sıfıra yakın değerler aldığı ancak  $\Delta_{GM}^F \%$  değerleri için net bir eğilim tespit edilemediği gözlenmektedir.
- Genel anlamda performans ölçütlerinin değişimine göre verilen tepki ise üssel dağılımdakine benzer şekilde seyretmektedir.

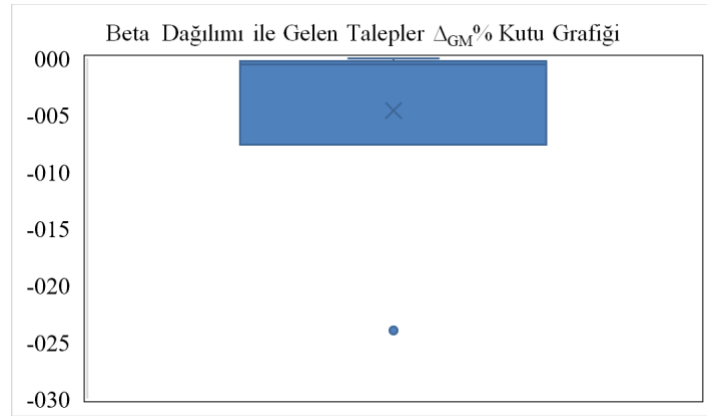
- Talebin beta ya da üssel dağılımı ile modellemesindeki tek fark talep oluşturulurken kullanılan koddur.



Şekil 4.3: Beta Dağılımı ile Gelen Birim Talep  $\Delta_{AC}\%$  Kutu Grafiği



Şekil 4.4: Beta Dağılımı ile Gelen Birim Talep  $\Delta_{SM}\%$  Kutu Grafiği



Şekil 4.5: Beta Dağılımı ile Gelen Birim Talep  $\Delta_{GM}\%$  Kutu Grafiği

Çizelge 4.4: Beta Dağılımlı Talepler Arası Geliş için Performans Ölçütleri

$\lambda$	L	A	h	b	$AC_{std}$	$AC_F(S^*, S^*)$	$E_F[SM]$	$E_F[GM]$	$\Delta_{AC}^F\%$	$\Delta_{SM}^F\%$	$\Delta_{GM}^F\%$
8	0,01	400	8	36	1,31	237,80	15,42	0,00	0,06	0,00	NA
				70	1,37	237,87	15,43	0,00	0,09	0,00	NA
				500	1,39	237,78	15,42	0,00	0,06	0,00	NA
			32	36	2,95	497,67	8,42	0,00	-0,07	0,00	NA
				70	2,85	498,71	8,43	0,00	0,14	0,00	NA
				500	2,61	498,64	8,43	0,00	0,13	0,00	NA
		900	8	36	2,28	351,10	22,42	0,00	0,09	0,00	NA
				70	2,45	351,02	22,42	0,00	0,06	0,00	NA
				500	2,40	351,48	22,44	0,00	0,20	0,00	NA
			32	36	4,33	725,64	11,93	0,00	0,19	0,00	NA
				70	4,67	725,77	11,93	0,00	0,20	0,00	NA
				500	4,50	726,35	11,94	0,00	0,28	0,00	NA
	0,9	400	8	36	1,55	210,50	10,14	0,83	0,47	-0,07	34,61
				70	1,41	223,94	13,06	0,23	0,34	0,00	1,37
				500	3,25	254,43	16,33	0,03	0,85	0,00	11,75
			32	36	1,93	357,80	3,96	1,17	0,30	0,00	0,81
				70	2,51	395,96	4,42	1,09	0,21	0,01	-0,14
				500	5,30	523,06	8,43	0,11	0,66	0,00	5,00
		900	8	36	1,79	314,61	17,27	0,44	0,30	0,00	0,75
				70	2,34	328,33	18,65	0,32	0,25	0,00	1,02
				500	3,03	362,18	23,40	0,02	0,49	0,00	9,59
			32	36	2,93	558,24	6,67	0,86	0,23	0,00	0,63
				70	3,37	587,08	7,15	0,83	0,29	0,00	0,57
				500	6,28	727,42	10,95	0,13	0,62	0,00	5,14
24	0,01	400	8	36	1,45	402,06	25,74	0,00	0,01	0,00	NA
				70	1,48	402,03	25,76	0,00	0,01	0,00	NA
				500	1,48	402,41	25,76	0,00	0,10	0,00	NA
			32	36	2,86	824,48	13,76	0,00	0,02	0,00	NA
				70	3,14	824,43	13,76	0,00	0,01	0,00	NA
				500	3,14	824,43	13,76	0,00	0,01	0,00	NA
		900	8	36	2,32	598,40	37,77	0,00	0,07	0,00	NA
				70	2,34	610,45	31,28	0,00	0,06	0,00	NA
				500	2,34	610,45	31,28	0,00	1,35	0,03	NA
			32	36	4,06	1217,80	19,77	0,00	0,14	0,00	NA
				70	4,22	1216,40	19,77	0,00	0,02	0,00	NA
				500	4,22	1216,40	19,77	0,00	2,69	0,05	NA
	0,9	400	8	36	1,22	363,25	18,55	1,11	0,00	-0,28	NA
				70	1,39	386,24	21,86	0,43	0,00	-0,15	NA
				500	2,26	431,15	27,99	0,03	-0,01	0,13	NA
			32	36	2,20	685,27	5,43	3,99	0,00	-0,61	NA
				70	5,15	684,85	7,81	1,92	0,00	-0,43	NA
				500	6,08	887,06	14,10	0,19	-0,01	0,03	NA
		900	8	36	2,87	564,57	20,14	1,20	0,07	0,00	-0,74
				70	2,45	589,40	24,41	0,48	0,08	0,00	-0,81
				500	3,96	675,21	27,99	0,04	-0,05	0,00	-5,80
			32	36	2,97	876,53	7,95	4,50	0,05	0,00	-0,38
				70	3,93	998,62	10,85	2,43	0,03	0,00	-0,35
				500	17,62	1614,10	17,74	1,31	-0,15	0,00	0,00

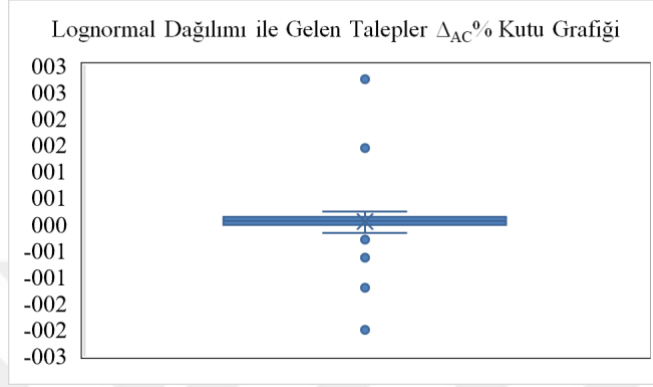
Şekil 4.3, Şekil 4.4'te hem negatif hem de pozitif alanda uç değerler gözlenmektedir. Şekil 4.4'te negatif alanda sapma daha yüksektir. Şekil 4.5'te ise 0 ile -0.5 değerleri arasında yoğunlaştığını görmekteyiz.

Ele alınan parametre kümelerinde Denklem (15), Denklem (16) ve Denklem (17) ile verilen performans ölçütlerinin Çizelge 4.4'te verilen sonuçlarını aşağıdaki gibi yorumlayabiliriz:

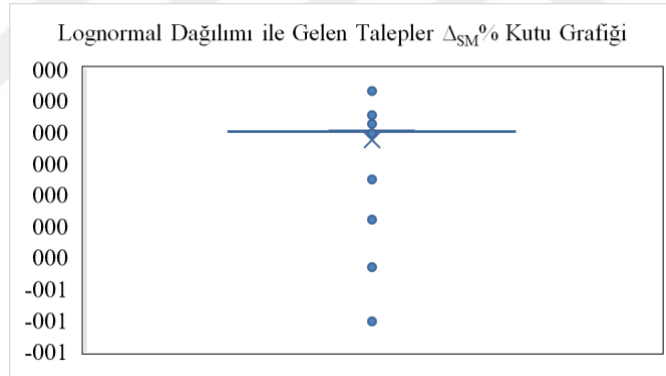
- $\Delta_{SM}^F \% < 0$  iken, performans ölçütlerinde  $\Delta_{GM}^F \%$  değerleri hesaplanamaz (NA) değerini aldığı gözlenmektedir. Bu değerlerin hesaplanamaz değeri almasının en önemli nedeni  $E[GM]^*$  değerinin bu performans ölçütlerinde sıfır değerini almasıdır. Denklem (17)'den görebileceğimiz gibi değer bölümünde yer aldığı için sonucu hesaplanamaz kılmaktadır. Aynı zamanda  $\Delta_{AC}^F \%$  değerinin negatif değer aldığı gözlenmiştir.
- $\Delta_{SM}^F \% > 0$  iken, performans ölçütlerinde  $\Delta_{GM}^F \%$  değerleri hesaplanamaz (NA) değeri aldığı gözlenmektedir. Bu değerlerin hesaplanamaz değeri almasının en önemli nedeni yine  $E[GM]^*$  değerinin bu performans ölçütlerinde sıfır değerini almasıdır. Denklem (17)'den görebileceğimiz gibi değer bölümünde yer aldığı için sonucu hesaplanamaz kılmaktadır. Aynı zamanda  $\Delta_{AC}^F \%$  değerinin pozitif değer aldığı gözlenmiştir.
- $\Delta_{GM}^F \% < 0$  iken, performans ölçütlerinde  $\Delta_{SM}^F \%$  değerlerinin genellikle sıfıra yakın ve  $\Delta_{AC}^F \%$  değerlerinin negatif değer aldığı gözlenmektedir.
- $\Delta_{GM}^F \% > 0$  değer aldığı bir performans ölçüsü hesaplanmamıştır.
- $\Delta_{GM}^F \%$  değerinin sıfıra yakın değer aldığı performans ölçütlerinde  $\Delta_{SM}^F \%$  değerlerinin de sıfıra yakın değeri aldığı gözlenmektedir.
- $\Delta_{AC}^F \% < 0$  iken, performans ölçütlerinde  $\Delta_{SM}^F \%$  değerlerinin genellikle sıfır değeri ya da negatif;  $\Delta_{GM}^F \%$  değerinin ise hesaplanamaz ya da negatif değer aldığı gözlenmektedir.
- $\Delta_{AC}^F \% > 0$  iken, performans ölçütlerinde  $\Delta_{SM}^F \%$  değerlerinin genellikle sıfır ve sıfıra yakın değerler aldığı ancak  $\Delta_{GM}^F \%$  değerinin ise hesaplanamaz ya da negatif değer aldığı gözlenmektedir.
- Genel anlamda performans ölçütlerinin değişimine göre verilen tepki ise üssel dağılımdakine benzer şekilde seyretmektedir.

- Talebin lognormal ya da üssel dağılımı ile modellenmesindeki tek fark talep oluşturulurken kullanılan koddur.

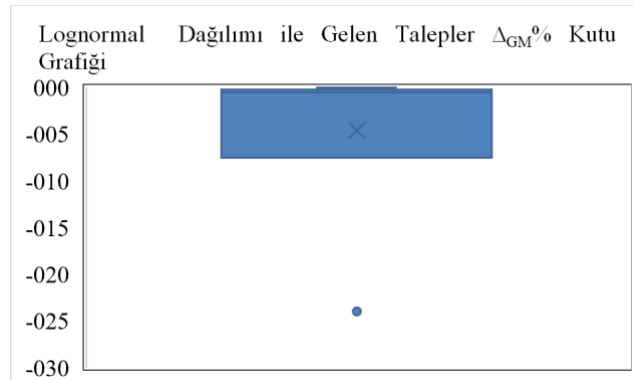
Şekil 4.6’da ortama sıfır çevresinde değer almaktadır, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de hem negatif hem de pozitif alanda uç değerler gözlenmektedir. Şekil 4.8’de ise 0 ile -0.5 değerleri arasında yoğunlaştığını görmekteyiz.



Şekil 4.6: Lognormal Dağılımı ile Gelen Birim Talep  $\Delta_{AC}\%$  Kutu Grafiği



Şekil 4.7: Lognormal Dağılımı ile Gelen Birim Talep  $\Delta_{SM}\%$  Kutu Grafiği



Şekil 4.8: Lognormal Dağılımı ile Gelen Birim Talep  $\Delta_{GM}\%$  Kutu Grafiği

Çizelge 4.5: Lognormal Dağılımlı Talepler Arası Geliş için Performans Ölçütleri

$\lambda$	L	A	h	b	$AC_{std}$	$AC_F(s^*, S^*)$	$E_F[SM]$	$E_F[GM]$	$\Delta_{AC}^F\%$	$\Delta_{SM}^F\%$	$\Delta_{GM}^F\%$
8	0,01	400	8	36	1,55	237,80	15,42	0,00	0,07	0,00	NA
				70	1,59	237,96	15,44	0,00	0,13	0,00	NA
				500	1,59	237,96	15,44	0,00	0,14	0,00	NA
			32	36	2,93	498,63	8,43	0,00	0,12	0,00	NA
				70	2,85	498,90	8,43	0,00	0,18	0,00	NA
				500	2,85	498,90	8,43	0,00	0,18	0,00	NA
		900	8	36	2,15	351,20	22,43	0,00	0,12	0,00	NA
				70	2,32	351,49	22,44	0,00	0,2	0,00	NA
				500	2,32	351,49	22,44	0,00	0,2	0,00	NA
			32	36	5,24	725,95	11,94	0,00	0,23	0,00	NA
				70	4,20	725,81	11,92	0,00	0,21	0,00	NA
				500	4,20	725,81	11,92	0,00	0,21	0,00	NA
	0,9	400	8	36	1,21	209,36	10,94	0,60	-0,07	0,00	-2,00
				70	1,15	222,50	13,05	0,21	-0,30	0,00	-5,74
				500	8,24	252,53	16,35	0,03	0,09	0,00	0,00
			32	36	1,82	356,35	3,94	1,15	-0,10	0,00	-1,13
				70	2,56	394,00	4,40	1,08	-0,28	0,00	-1,73
				500	3,10	509,16	8,37	0,08	-2,01	0,00	-19,80
		900	8	36	2,11	314,29	17,27	0,43	0,19	0,00	-1,94
				70	2,21	327,72	18,65	0,31	0,06	0,00	-2,44
				500	2,30	358,10	23,39	0,01	-0,64	0,00	-29,60
			32	36	3,09	557,26	6,67	0,84	0,06	0,00	-2,04
				70	2,99	585,27	7,13	0,81	-0,02	0,00	-1,59
				500	4,27	714,20	10,95	0,10	-1,21	0,00	-15,10
24	0,01	400	8	36	1,47	402,42	25,76	0,00	0,10	0,00	NA
				70	1,42	402,23	25,76	0,00	0,06	0,00	NA
				500	1,42	402,23	25,76	0,00	0,06	0,00	NA
			32	36	2,57	824,33	13,76	0,00	0,00	0,00	NA
				70	2,72	824,13	13,76	0,00	-0,02	0,00	NA
				500	2,72	824,13	13,76	0,00	-0,02	0,00	NA
		900	8	36	2,48	598,51	37,79	0,00	0,09	0,00	NA
				70	2,40	610,93	31,28	0,00	0,14	0,00	NA
				500	2,40	610,93	31,28	0,00	1,43	0,03	NA
			32	36	4,39	1216,7	19,76	0,00	0,05	0,00	NA
				70	4,36	1216,9	19,77	0,00	0,06	0,00	NA
				500	4,36	1216,9	19,77	0,00	2,73	0,05	NA
	0,9	400	8	36	1,22	363,25	18,55	1,11	-0,10	-0,28	NA
				70	1,39	386,24	21,86	0,43	-0,04	-0,15	NA
				500	2,26	431,15	27,99	0,03	0,09	0,13	NA
			32	36	2,20	591,92	5,43	3,99	-0,28	-0,61	NA
				70	2,56	685,27	7,81	1,92	-0,17	-0,43	NA
				500	5,15	887,06	14,10	0,19	0,08	0,02	NA
		900	8	36	2,47	564,80	20,13	1,2	0,11	0,00	-0,38
				70	2,55	588,67	24,42	0,47	-0,04	0,00	-2,11
				500	3,24	671,71	27,96	0,03	-0,57	0,00	-24,00
			32	36	2,85	876,67	7,946	4,511	0,07	0,00	-0,32
				70	3,55	998,80	10,888	2,43	0,05	0,00	-0,68
				500	3,55	1616,6	17,71	1,31	0,00	0,00	0,00

Çizelge 4.6: Beta ve Lognormal Dağılımlı Talepler Arası Geliş için Hipotez Test Sonuçları ( $\alpha = 0,05$ )

$\lambda$	L	A	h	b	Lognormal Hipotez	Beta Hipotez	$\lambda$	L	A	h	b	Lognormal Hipotez	Beta Hipotez
8	0,01	400	8	36	Reddetme	Reddetme	24	0,01	400	8	36	Reddet	Reddetme
				70	Reddet	Reddetme					70	Reddetme	Reddetme
				500	Reddet	Reddetme					500	Reddetme	Reddet
			32	36	Reddet	Reddetme				36	Reddetme	Reddetme	
				70	Reddet	Reddet				70	Reddetme	Reddetme	
				500	Reddet	Reddet				500	Reddetme	Reddetme	
		900	8	36	Reddetme	Reddetme			36	Reddet	Reddetme		
				70	Reddet	Reddetme			70	Reddet	Reddetme		
				500	Reddet	Reddet			500	Reddet	Reddet		
			32	36	Reddet	Reddet			36	Reddetme	Reddet		
				70	Reddet	Reddet			70	Reddetme	Reddetme		
				500	Reddet	Reddet			500	Reddet	Reddet		
	0,9	400	8	36	Reddetme	Reddet	24	0,9	400	8	36	Reddet	Reddet
				70	Reddet	Reddet					70	Reddet	Reddet
				500	Reddetme	Reddet					500	Reddet	Reddet
			32	36	Reddet	Reddet				36	Reddet	Reddet	
				70	Reddet	Reddet				70	Reddet	Reddet	
				500	Reddet	Reddet				500	Reddet	Reddet	
		900	8	36	Reddet	Reddet			36	Reddet	Reddetme		
				70	Reddetme	Reddet			70	Reddetme	Reddetme		
				500	Reddet	Reddet			500	Reddet	Reddetme		
			32	36	Reddetme	Reddet			36	Reddet	Reddetme		
				70	Reddetme	Reddet			70	Reddetme	Reddetme		
				500	Reddet	Reddet			500	Reddetme	Reddetme		

Ele alınan parametre kümelerinde Hipotez ile verilen performans ölçütlerinin Çizelge 4.6'da verilen sonuçları aşağıdaki gibi yorumlayabiliriz:

- Lognormal hipotez değeri, incelenen senaryolarla  $\alpha = 0,05$  güvenlik seviyesi ile hesaplandığında %35 reddetme, %65 reddet değeri vermektedir. Bu sonuçlara göre talepler arası birim Poisson ile geliş kabulü ile oluşturulan matematiksel model ve stok politikası birbirine duyarlıdır. Talepler arası geliş dağılımı lognormal olan bir sistem için dağılıma uygun olacak yeni matematiksel modelin oluşturulması gerekmektedir.
- Beta hipotez değeri, incelenen senaryolarla  $\alpha = 0,05$  güvenlik seviyesi ile hesaplandığında %42 reddetme, %58 reddet değeri vermektedir. Bu sonuçlara

göre lognormalde olduğu gibi talepler arası geliş dağılım beta olan yeni matematiksel model yazmak daha sağlıklı olacaktır, ancak oransal farklar birbirine çok yakın olduğu ve farklı senaryoların eklenmesi durumunda analizin değişebileceği durumu dikkate alındığında birim Poisson ile oluşturulan matematiksel modele yakın sonuçlar elde edilebileceği öngörülebilir.

- Üssel dağılımla beta ve lognormal dağılımlar arasında çok az fark çıkması durumunda beklediğimiz durumun daha yüksek oranda reddetme değeri vermesi olmasına karşın güvenilirlik düzeyinin yüksek alınması ve hipotezin eşitlik üzerine kurulması sebebiyle pek çok senaryo reddedilmiştir.

#### **4.1.2. Onarım Süreci Dahil Edildiği Durumun Analizi**

A tipi malzemeler içinde bulunduğu envanter sistemleri için çok kritik olduklarından bu malzemelerin doğru modellenmesi oldukça önem taşımaktadır. Bu doğrultuda, bu bölüm içinde sürecin doğru tahmin edilerek doğru ek depo yönetimi ile modellemesinin önemini sayısal analizi gerçekleştirilecektir.

Envanter sisteminde incelenen A tipi malzemenin matematiksel modellemesi yapılırken onarım imkanı olmadığı varsayımı ile her talepte sıfır malzeme kullanımı varsayılmıştır. Onarım durumu göz önüne alındığında incelenen malzemenin savunma sanayide müşteriye özel ve gizli olması sebebi ile her müşteri için onarılan malzemeler farklı tanımlanmış depolarda tutulmaktadır. Bu durum müşteri sayısının çok olması sebebiyle örnek uzayını büyütmede ve kesin ve tam bir matematiksel model mümkün olmadığı (zor olduğu) için sıfır depolarının yanında ek müşteri deposunun da bulunduğu ve detayları Bölüm 3.3.2’de verilen simülasyon modeli oluşturulmuştur.

Simülasyon modeli üssel dağılımı ile sıfır deposuna ek bir müşteri deposu için 100 replikasyon üzerinden çalıştırılmış ve bu değişimin parametreleri objektif bir karşılaştırma için matematiksel modelde varsayılan üssel dağılımın ortalama ve varyansına eşit olacak şekilde belirlenmiştir. Talepler arası dağılımın doğru modellemesinin önemini vurgulamak için ise ortalama maliyet, elde bulunan stok miktarı ve geri ismarlanan ortalama talep miktarı üzerinden bir analiz gerçekleştirilmiştir.

Bu analiz kapsamında daha önce tanımlanmış olan Denklem (15), Denklem (16) ve Denklem (17) performans ölçütleri dikkate alınarak incelenmiştir.

Denklem (15) 'te  $AC_F(s^*, S^*)$ , onarım sürecinin dahil edildiği süreç için  $(s^*, S^*)$  politika parametrelerinde ele alınan politika için simülasyon ile elde edilen ortalama maliyet değerini göstermektedir. Benzer şekilde Denklem (16) ve Denklem (17)'de de  $E_F[SM]$  ve  $E_F[GM]$  ifadeleri ise onarım sürecinin dahil edildiği süreç için  $(s^*, S^*)$  politika parametrelerinde simülasyon ile elde edilen ortalama stok miktarı ve geri ısmarlanan ortalama talep miktarı olarak tanımlanmaktadır.

Denklem (15), Denklem (16) ve Denklem (17) ile verilen performans ölçütleri ise  $(s^*, S^*)$  politika parametrelerinde ek depo eklenmiş envanter sistemi ile elde edilen ortalama maliyet, ortalama stok miktarı ve ortalama geri ısmarlanan talep miktarları arasında bulunan oransal farklılıklara karşılık gelir. Bu farkların pozitif olması onarım sürecinin dahil edildiği süreç için aynı politika parametresinde elde edilen maliyet ya da ortalama stok/geri ısmarlanan talep miktarının daha büyük olduğu anlamına gelir. Benzer şekilde, bu performans ölçütlerinin ek müşteri deposu için çok farklı değerlere sahip olduğunu gösterir. Bu durumların istatistiksel olarak test edilebilmek için ise maliyet ile ilgili aşağıdaki hipotezler kurulmuştur.

Hipotez:

$$H_0: \mu_{AC}^F = \mu_{AC}^{\ddot{U}ssel}$$

$$H_1: \mu_{AC}^F \neq \mu_{AC}^{\ddot{U}ssel}$$

Ele alınan parametre kümelerinde Denklem (15), Denklem (16) ve Denklem (17) ile verilen performans ölçütleri Çizelge 4.7'de, Hipotez ile ilgili verilen çıkarımları gösteren sonuçlar ise Çizelge 4.8 'da verilmektedir. 100 replikasyon çalıştırmış olduğumuz simülasyonların sapmalarını gözlemlemek için  $AC_{std}$  ortalama maliyetin standart sapması hesaplanmıştır. 4 çekirdekli 8 Gb ram bulunan bilgisayarda Matlab programında koşturulan simülasyon modeli her parametre seti için ortalama 60 dakikada sonuç vermiştir.

Çizelge 4.7'de sunulan sonuçlar doğrultusunda optimal parametre ve karşılık gelen performans ölçüt değişimleri aşağıdaki gibi özetleyebiliriz:

$\lambda$  arttığı zaman,

- Taleplerin geliş hızı arttığında gelen talepler karşısında stoksuz kalmamak için matematiksel model dengelemek adına hem  $s^*$  hem de  $S^*$  değerini arttırarak cevap vermektedir.
- Elde bulundurulmuş ortalama stok miktarının artması da yukarıda bahsedilen gözlemlerin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Gelen taleplerin karşılanmasında ek onarım deposunun kullanımına öncelik verilmesi sebebi ile onarım olarak hesaplanan elde tutulan ortalama stok miktarları arasında değer farkları oluşmaktadır.
- Ortalama geri ısmarlanan talep miktarında düşüş gözlenmektedir.
- Aynı şekilde hesaplanan ortalama maliyet de artış eğilimi göstermektedir. Bu noktada ortalama maliyetin artışına sebep olan ek bir faktör daha göze çarpmaktadır. Onarım deposuna malzemeleri kaldırmak için ek olarak onarım maliyeti de ortaya çıkmaktadır.

L değeri artarsa,

- Geri ısmarlanan ortalama talep miktarını optimal tutmak için matematiksel model  $s^*$  değerini daha arttırma yönünde reaksiyon vermektedir. Çünkü verilen siparişin gelme süresi uzadığında deponun stoksuz kalma ihtimali artmaktadır. Varsayımlarda da bahsedilmiş olduğu gibi incelenen ürünün A tipi bir malzeme olmasından dolayı sıfır stok olma durumu istenmemektedir. Bu dengeyi sağlamak için matematiksel model sipariş verme noktasında deponun envanter pozisyonu değerinin daha yüksek olmasını sağlayacak şekilde hesaplama yapar.
- Aynı şekilde sipariş verilen ürünün geliş süresi uzun olması sebebiyle  $S^*$  değeri de daha büyük bir değer almaktadır.
- Ortalama elde tutulan stok miktarı değerinde azalma gözlenmektedir.  $S^*$  değeri artarken bu değer azalmasının önemli nedenlerinden biri onarımı yapılarak ek müşteri deposundan karşılanan talep olasılığıdır.
- Ortalama geri ısmarlanan talep sayısında artış olmaktadır. Bu durumun sebebi temin etme süresinin artışının etkisinin yansımalarıdır.

A değeri büyürse,

- Sipariş vermenin maliyeti artmış olacağı için model sipariş tekrarını azaltacak aksiyonlar alma eğilimindedir. Bu sebeple  $S^*$  değerini arttırmaktadır. Buna karşın  $s^*$  değerinde artış gözlenmemektedir. Taleplerin bir kısmının onarılmış malzemelerden karşılanmasının etkilerini bu değerde görebiliriz.
- Bu durumda elde tutulan stok miktarı artarken geri ısmarlanan talep miktarı azalmaktadır.
- Bunun sonucunda ortalama maliyet de artmaktadır.

h değeri arttığı zaman ,

- Elde tutmanın maliyeti arttığı için parametreler elde tutulan stok miktarını düşürme yönünde değişmektedir. Örneğin,  $s^*$  sabit kalırken  $S^*$  azalmakta veya  $s^*$  ve  $S^*$  aynı anda azalmaktadır.
- Elde tutmak yerine gerektiğinde sipariş ile karşılama politikasının uygulandığını gözlemlenmiştir.
- Bu sebeple ortalama elde bulundurulan stok miktarı azalırken ortalama geri ısmarlanan talep miktarı artmaktadır.
- Ortalama maliyet de artış eğilimi göstermektedir.

b değeri artarsa,

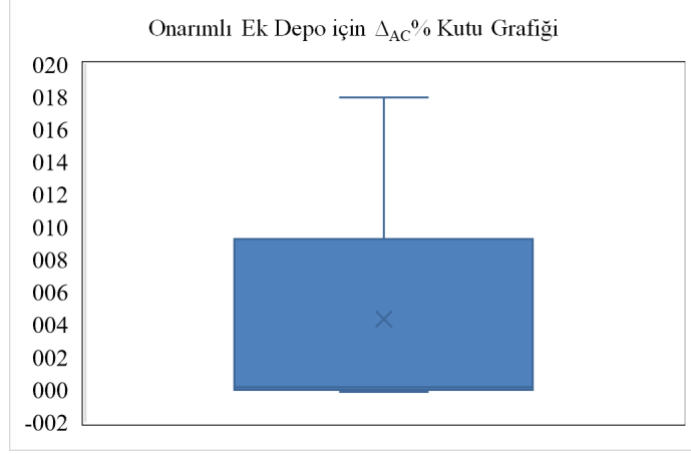
- $S^*$  değerinde azalma olmasına rağmen  $s^*$  değerinde artış olmaktadır. Çünkü geri ısmarlama maliyeti yüksek olduğu için sipariş verme noktasında deponun envanter pozisyonunun yüksek tutulması ile stoksuz kalma ihtimali azaltılmaya çalışılmıştır.
- Geri ısmarlanan talep miktarı azalırken elde tutulan stok miktarında azalma gözlenmektedir. Onarım durumunun etkisi, ek olarak müşteri deposunda bulunan yedekler ile talepler karşılanabilmesi ile bu noktada gözlemlenebilmektedir.
- Geri ısmarlanan talep de elde tutulan stok miktarı da düşmesine rağmen ortalama maliyette artış göz çarpmaktadır. Çünkü onarım yapılan malzemeler için ek bir onarım maliyeti de ortalama maliyete eklenmektedir.

Ele alınan parametre kümelerinde Denklem (15), Denklem (16) ve Denklem (17) ile verilen performans ölçütlerinin Çizelge 4.7 'de verilen sonuçlarını aşağıdaki gibi yorumlayabiliriz:

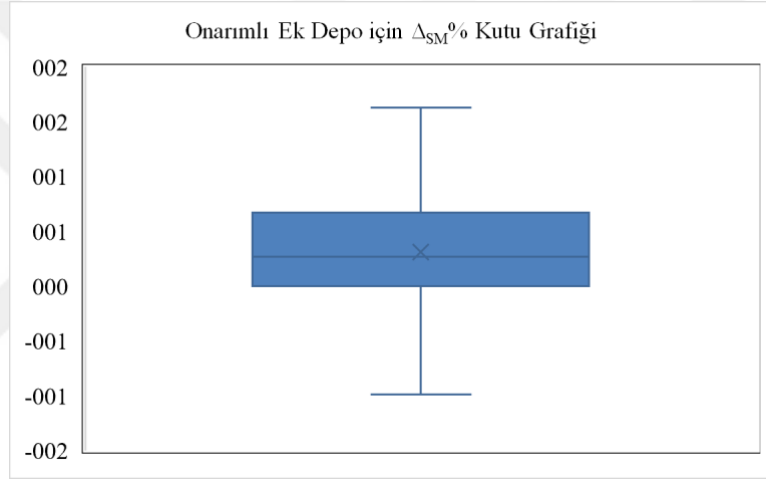
- $\Delta_{SM}^F \% < 0$  iken, performans ölçütlerinde genellikle  $\Delta_{GM}^F \%$  değerlerinin NA değeri,  $\Delta_{AC}^F \%$  değerinin ise pozitif değer aldığı gözlemlenmektedir.
- $\Delta_{SM}^F \% > 0$  iken, performans ölçütlerinde  $\Delta_{GM}^F \%$  değerleri genellikle ya hesaplanamaz (NA) ya da negatif değer,  $\Delta_{AC}^F \%$  değerinin ise pozitif değer aldığı gözlemlenmektedir.
- $\Delta_{SM}^F \%$  değeri sıfıra yakın değer alırken, performans ölçütlerinde  $\Delta_{GM}^F \%$  değerleri genellikle hesaplanamaz (NA),  $\Delta_{AC}^F \%$  değerinin ise negatif değer aldığı gözlemlenmektedir.
- $\Delta_{GM}^F \% < 0$  iken, performans ölçütlerinde  $\Delta_{SM}^F \%$  ve  $\Delta_{AC}^F \%$  değerlerinin genellikle pozitif değer aldığı gözlemlenmektedir.
- $\Delta_{AC}^F \%$  değerinin negatif değer aldığı performans ölçütlerinde  $\Delta_{SM}^F \%$  değerlerinin genellikle sıfır değeri ya da pozitif;  $\Delta_{GM}^F \%$  değerinin ise hesaplanamaz ya da negatif değer aldığı gözlenmektedir.
- $\Delta_{AC}^F \%$  değerinin pozitif değer aldığı performans ölçütlerinde  $\Delta_{SM}^F \%$  değerlerinin genellikle pozitif değer aldığı ancak  $\Delta_{GM}^F \%$  değerlerinin negatif değer aldığı gözlenmektedir.

Çizelge 4.7: Onarımlı Ek Depo için Performans Ölçütleri

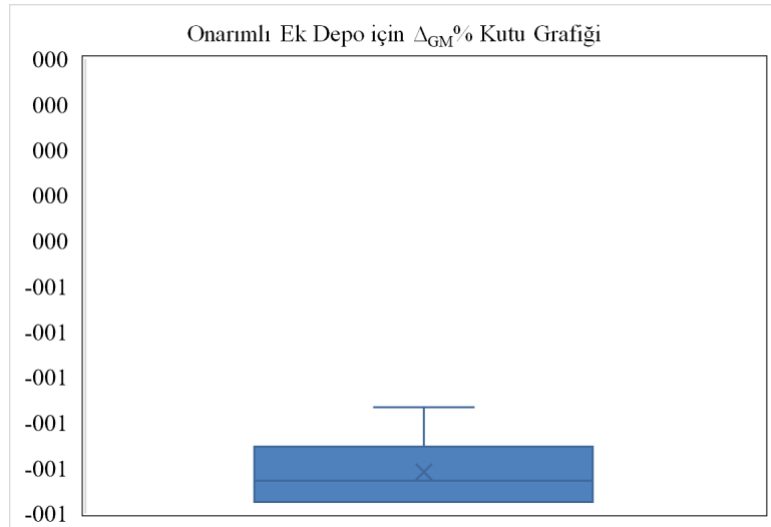
A	L	A	h	b	AC <sub>std</sub>	AC <sub>F</sub> (S*,S*)	E <sub>F</sub> [SM]	E <sub>F</sub> [GM]	ΔAc%	Δsm%	Δgm%
8	0,01	400	8	36	4,24	261,84	15,43	0,00	0,10	0,00	NA
				70	3,96	261,51	15,41	0,00	0,10	0,00	NA
				500	3,98	261,53	15,42	0,00	0,10	0,00	NA
			32	36	6,76	461,63	8,39	0,00	-0,07	0,00	NA
				70	7,10	463,75	8,45	0,00	-0,07	0,00	NA
				500	7,15	463,78	8,47	0,00	-0,07	0,01	NA
		900	8	36	5,99	345,06	22,40	0,00	-0,02	0,00	NA
				70	5,34	345,09	22,38	0,00	-0,02	0,00	NA
				500	5,34	345,09	22,38	0,00	-0,02	0,00	NA
			32	36	10,61	627,76	11,85	0,00	-0,13	-0,01	NA
				70	11,91	628,88	11,88	0,00	-0,13	0,00	NA
				500	11,92	628,89	11,89	0,00	-0,13	0,00	NA
	0,9	400	8	36	2,04	250,53	14,22	0,15	0,20	0,30	-0,76
				70	1,94	255,41	14,22	0,15	0,14	0,09	-0,36
				500	2,11	295,98	20,05	0,00	0,17	0,23	-0,95
			32	36	3,15	402,62	6,83	0,28	0,13	0,72	-0,76
				70	3,19	411,32	6,82	0,28	0,04	0,55	-0,75
				500	3,57	568,68	12,06	0,01	0,09	0,44	-0,94
		900	8	36	2,63	330,03	20,73	0,10	0,05	0,20	-0,76
				70	2,30	340,05	22,09	0,06	0,04	0,19	-0,80
				500	2,47	379,64	27,09	0,00	0,05	0,16	-0,95
			32	36	4,02	553,70	9,74	0,20	-0,01	0,46	-0,76
				70	4,26	569,25	10,24	0,20	-0,03	0,44	-0,76
				500	4,70	704,53	14,55	0,01	-0,03	0,33	-0,92
24	0,01	400	8	36	44,04	5508,16	67,68	0,39	12,70	1,63	NA
				70	45,65	5519,43	67,60	0,39	12,73	1,62	NA
				500	61,67	5547,06	43,49	0,68	12,80	0,69	NA
			32	36	47,03	6160,05	34,50	0,23	6,47	1,51	NA
				70	47,45	6165,75	34,53	0,23	6,48	1,51	NA
				500	46,57	5745,08	22,21	0,35	5,97	0,61	NA
		900	8	36	98,19	11049,90	33,17	0,50	17,48	-0,12	NA
				70	85,35	11232,47	50,78	0,43	17,41	0,62	NA
				500	97,48	11413,45	53,31	0,71	17,95	0,76	NA
			32	36	95,43	12550,75	51,07	0,32	9,32	1,58	NA
				70	95,71	12552,39	51,10	0,31	9,32	1,59	NA
				500	100,81	11951,27	32,87	0,50	9,09	0,75	NA
	0,9	400	8	36	55,40	5814,90	0,37	0,94	13,46	-0,99	NA
				70	51,63	6310,77	0,29	0,77	14,70	-0,99	NA
				500	78,71	7363,23	0,18	0,58	17,67	-0,99	NA
			32	36	40,83	5604,72	0,33	2,05	5,80	-0,98	NA
				70	60,79	6560,91	0,29	1,55	6,96	-0,98	NA
				500	79,28	8610,82	0,10	0,60	9,45	-0,99	NA
		900	8	36	2,76	668,26	30,26	0,09	0,18	0,51	-0,93
				70	2,83	704,89	35,17	0,01	0,20	0,44	-0,98
				500	2,96	773,40	44,15	0,00	0,14	0,58	-0,98
			32	36	4,74	1011,50	15,72	1,05	0,15	0,98	-0,77
				70	5,25	1138,60	19,94	0,29	0,14	0,84	-0,88
				500	6,81	1373,20	27,75	0,09	-0,15	0,57	-0,93



Şekil 4.9: Onarımlı Ek Depo için  $\Delta_{AC}\%$  Kutu Grafiği



Şekil 4.10: Onarımlı Ek Depo için  $\Delta_{SM}\%$  Kutu Grafiği



Şekil 4.11: Onarımlı Ek Depo için  $\Delta_{GM}\%$  Kutu Grafiği

Şekil 4.9 ve Şekil 4.10 'da pozitif alanda, Şekil 4.11'de negatif alanda değer almaktadır. Üç grafikte de uç değere rastlanmamıştır.

Çizelge 4.8: Onarımlı Ek Depo için Hipotez Test Sonuçları ( $\alpha = 0,05$ )

$\lambda$	L	A	h	b	Onarım Hipotez	$\lambda$	L	A	h	b	Onarım Hipotez
8	0,01	400	8	36	Reddet	24	0,01	400	8	36	Reddet
				70	Reddet					70	Reddet
				500	Reddet					500	Reddet
			32	36	Reddet				32	36	Reddet
				70	Reddet					70	Reddet
				500	Reddet					500	Reddet
		900	8	36	Reddet			900	8	36	Reddet
				70	Reddet					70	Reddet
				500	Reddet					500	Reddet
			32	36	Reddet				32	36	Reddet
				70	Reddet					70	Reddet
				500	Reddet					500	Reddet
	0,9	400	8	36	Reddet		0,9	400	8	36	Reddet
				70	Reddet					70	Reddet
				500	Reddet					500	Reddet
			32	36	Reddet				32	36	Reddet
				70	Reddet					70	Reddet
				500	Reddet					500	Reddet
		900	8	36	Reddet			900	8	36	Reddet
				70	Reddet					70	Reddet
				500	Reddet					500	Reddet
			32	36	Reddet				32	36	Reddet
				70	Reddet					70	Reddet
				500	Reddet					500	Reddet

Ele alınan parametre kümelerinde Hipotez ile verilen performans ölçütlerinin Çizelge 4.8'de verilen sonuçları aşağıdaki gibi yorumlayabiliriz:

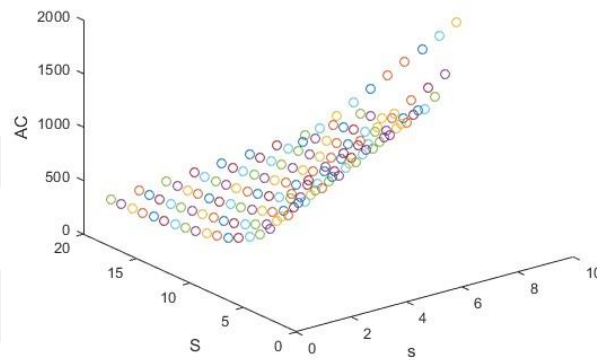
- Onarımlı hipotez değeri, incelenen senaryolarla  $\alpha = 0,05$  güvenlik seviyesi ile hesaplandığında %100 reddet değeri vermektedir. Bu sonuca göre onarım durumu elimine edilen envanter sistemi için oluşturulan ile onarım ek deposu eklenen sistem, matematiksel model ve stok politikası birbirine duyarlıdır. Hem onarım için oluşan ek maliyet hem de onarılmış ürünlerin depolandığı müşteri deposunun sisteme etkilerini yansıtan uygun yeni matematiksel modelin oluşturulması gerekmektedir.

#### 4.2. Bileşik Talep Poisson Sürecine Göre Gelen Talep

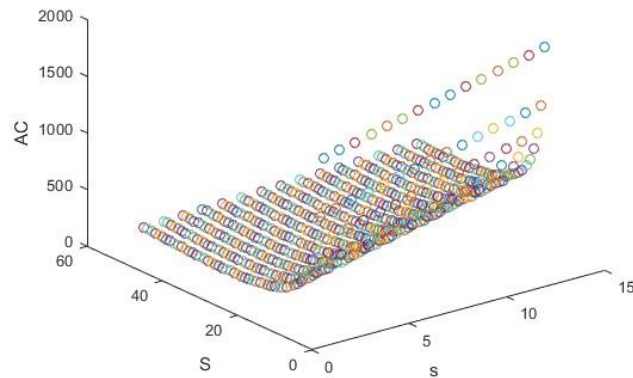
3. Bölümde anlatıldığı üzere  $(s, S)$  politikasının bileşik Poisson sürecine göre gelen talep altında ortalama maliyet fonksiyonu hesaplanarak optimizasyon modeli oluşturulmuştur. Optimizasyon problemi ise uygun  $(s, S)$  parametrelerinde ayrıntılı arama yöntemi ile çözülmüştür. Bulunan en iyi optimal parametreler uygun alanın sınırlarında çıktığı

durumda ise uygun alan genişletilerek problem tekrar çözülmüştür. 4 çekirdekli 8 Gb ram bulunan bilgisayarda Matlab programında koşturulan optimizasyon modeli her parametre seti için ortalama 210 dakikada sonuç vermektedir.

Belirtilen optimizasyon problemi kapsamında öncelikle  $AC(s, S)$  ortalama maliyet fonksiyonu yapısı incelenmiştir. Bunun için farklı parametre kümelerinde uygun  $(s, S)$  değerleri için  $AC(s, S)$  fonksiyonu hesaplatılmış ve bu değerler Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te verilen grafiklerde sunulmuştur.

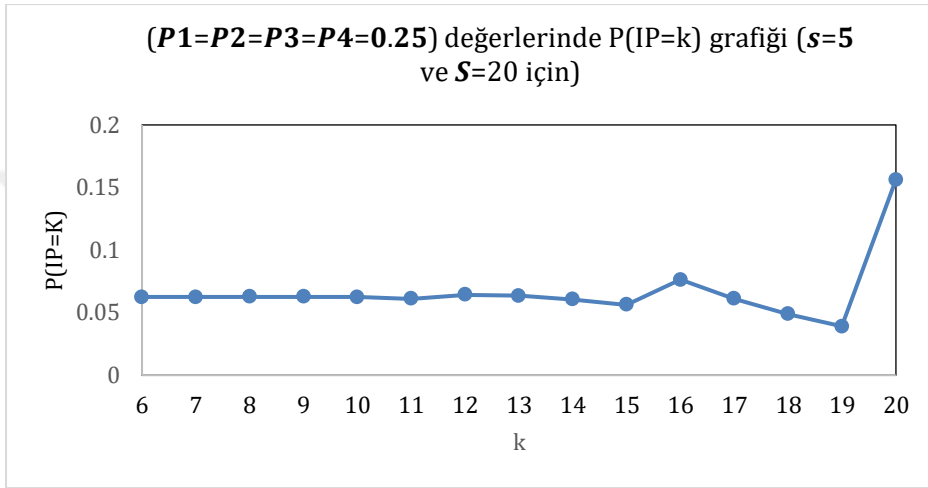


Şekil 4.12:  $\lambda = 3.2, L = 0,01, A = 400, h = 8, b = 36$  değerlerinde  $AC(s, S)$  grafiği ( $s \in [1, \dots, 10]$  ve  $S \in [1, \dots, 20]$  için)

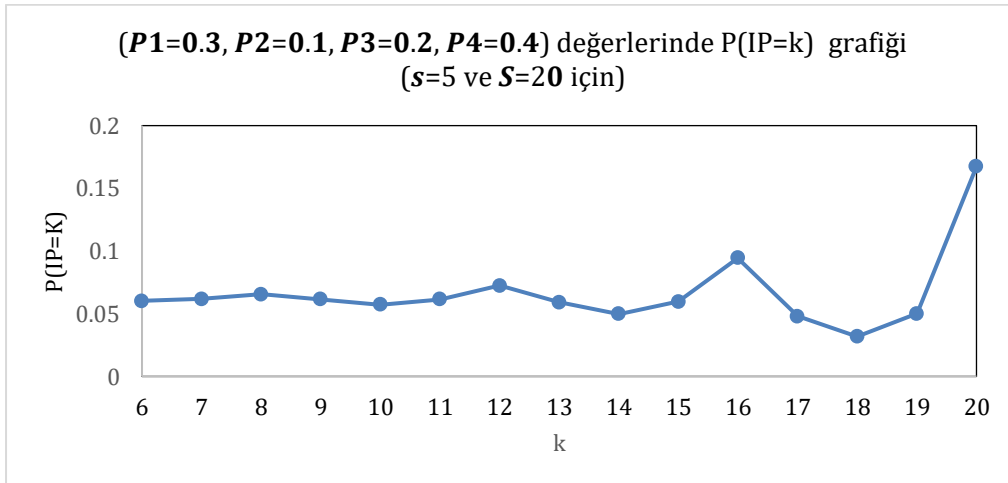


Şekil 4.13:  $\lambda = 3.2, L = 0,01, A = 400, h = 8, b = 36$  değerlerinde  $AC(s, S)$  grafiği ( $s \in [1, \dots, 15]$  ve  $S \in [1, \dots, 50]$  için)

Daha önce Bölüm 3.2.1’de de bahsedildiği üzere, envanter pozisyonu herhangi bir anda ve dolayısıyla uzun dönemde  $\{s + 1, s + 2, \dots, S\}$  kümesinden değer almaktadır. Belirtilen optimizasyon problemi kapsamında diğer bir bakış açısıyla  $P(IP = k)$  envanter pozisyonunun herhangi bir anda almış olduğu değerlerin olasılıklarının yapısı incelenmiştir. Bunun için belirlenen farklı çoklu talep gelme oranları için  $P(IP = k)$  fonksiyonu hesaplatılmış ve bu değerler Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’te verilen grafiklerde sunulmuştur.



Şekil 4.14:  $(P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = 0.25)$  değerlerinde  $P(IP = k)$  grafiği ( $s = 5$  ve  $S = 20$  için)



Şekil 4.15:  $(P_1 = 0.3, P_2 = 0.1, P_3 = 0.2, P_4 = 0.4)$  değerlerinde  $P(IP = k)$  grafiği ( $s = 5$  ve  $S = 20$  için)

Verilen grafikler incelendiğinde  $AC(s, S)$  maliyet fonksiyonunun ele alınan uygun  $(s, S)$  değerlerinde konveks yapı gösterdiği anlaşılmıştır. Ele alınan bu model literatürde de yer alan ayrıntılı çalışın olmamakla beraber öncelikle analizin ve çalışmanın amacı doğrultusunda duyarlılık analizi yapılmıştır.  $P(IP = k)$  grafikleri incelendiğinde ise genelleştirme yapılamayacağı gözlenmiştir, bu sebeple model kapalı formda yazılamamıştır. Toplam talep hızı önceki birim Poisson ile aynı alınmıştır.

Çizelge 4.9:  $\lambda = 3.2$  için Bileşik Poisson Sürecine Göre Gelen Talep için Duyarlılık

Analizleri

$\lambda$	L	A	h	b	S*	s*	AC*	E[SM]*	E[GM]*
3,2	0,01	400	8	36	28	1	237,56	15,40	0,00
				70	28	1	237,60	15,40	0,00
				500	28	1	238,13	15,40	0,00
			32	36	14	1	496,99	8,39	0,00
				70	14	1	497,08	8,39	0,00
				500	14	1	498,15	8,39	0,00
		900	8	36	42	1	350,73	22,41	0,00
				70	42	1	350,76	22,41	0,00
				500	42	1	351,11	22,41	0,00
			32	36	21	1	723,65	11,90	0,00
				70	21	1	723,70	11,90	0,00
				500	21	1	724,41	11,90	0,00
	0,9	400	8	36	33	1	219,07	11,60	0,81
				70	36	4	238,63	14,19	0,40
				500	42	10	290,62	19,85	0,07
			32	36	18	1	383,71	4,76	1,49
				70	19	1	433,15	5,19	1,41
				500	25	9	632,18	10,96	0,19
		900	8	36	46	1	320,53	17,87	0,58
				70	48	2	339,21	19,25	0,46
				500	55	10	392,21	26,34	0,05
			32	36	24	1	577,03	7,40	1,12
				70	25	1	614,55	7,85	1,07
				500	31	8	821,02	13,46	0,18

Çizelge 4.10:  $\lambda = 9.6$  için Bileşik Poisson Sürecine Göre Gelen Talep için Duyarlılık

Analizleri

$\lambda$	L	A	h	b	S*	s*	AC*	E[SM]*	E[GM]*
9,6	0,01	400	8	36	49	1	402,02	25,75	0,00
				70	49	1	402,11	25,75	0,00
				500	49	1	403,16	25,75	0,00
			32	36	24	1	823,99	13,24	0,01
				70	24	1	824,17	13,24	0,01
				500	25	1	826,24	13,75	0,00
		900	8	36	24	1	823,99	13,24	0,01
				70	24	1	824,17	13,24	0,01
				500	25	1	826,24	13,75	0,00
			32	36	37	1	1216,00	19,75	0,00
				70	37	1	1217,40	19,75	0,00
				500	37	1	1215,89	19,75	0,00
	0,9	400	8	36	68	11	379,37	20,32	1,43
				70	72	17	412,15	24,53	0,64
				500	82	29	491,39	34,96	0,07
			32	36	40	4	631,53	6,21	4,82
				70	43	11	750,56	8,89	2,50
				500	54	25	1075,95	19,17	0,29
		900	8	36	75	6	559,64	21,98	2,09
				70	75	13	608,88	24,40	1,01
				500	96	27	676,81	40,97	0,08
			32	36	48	1	906,34	8,77	4,88
				70	53	6	1045,22	11,94	3,05
				500	64	23	1372,40	22,17	0,30

Çizelge 4.9 ve Çizelge 10'da sunulan sonuçlar doğrultusunda optimal parametre ve karşılık gelen performans ölçüt değişimleri aşağıdaki gibi özetleyebiliriz:

$\lambda$  arttığı zaman,

- Taleplerin geliş hızı arttığında gelen talepler karşısında stoksuz kalmamak için matematiksel model dengelemek adına hem  $s^*$  hem de  $S^*$  değerini arttırarak cevap vermektedir.
- Elde bulundurulan ortalama stok miktarının ve geri ısmarlanan talep miktarının artması da yukarıda bahsedilen gözlemlerin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır.
- Aynı şekilde hesaplanan ortalama maliyet de artış eğilimi göstermektedir.

L değeri artarsa,

- Geri ısmarlanan ortalama talep miktarını optimal tutmak için matematiksel model  $s^*$  değerini daha arttırma yönünde reaksiyon vermektedir. Çünkü verilen siparişin gelme süresi uzadığında deponun stoksuz kalma ihtimali artmaktadır. Varsayımlarda da bahsedilmiş olduğu gibi incelenen ürünün A tipi bir malzeme olmasından dolayı sıfır stok olma durumu istenmemektedir. Bu dengeyi sağlamak için matematiksel model sipariş verme noktasında deponun envanter pozisyonu değerinin daha yüksek olmasını sağlayacak şekilde hesaplama yapar.
- Aynı şekilde sipariş verilen ürünün geliş süresi uzun olması sebebiyle  $S^*$  değeri de daha büyük bir değer almaktadır.
- Ortalama elde tutulan stok miktarı değerinde büyük değişim görünmezken, ortalama maliyette ve geri ısmarlanan talep miktarında artış gözlenmektedir.

A değeri büyürse,

- Sipariş vermenin maliyeti artmış olacağı için model sipariş tekrarını azaltacak aksiyonlar alma eğilimindedir.
- Tam tersine sipariş içerisinde verilecek siparişin miktarını arttırarak tek maliyetle daha fazla ürün alma dengeleme politikasıyla ilerlemektedir.
- Bu durumda elde tutulan stok miktarında büyük değişimler gözlenmezken geri ısmarlanan talep miktarı artmaktadır.
- Bunun sonucunda ortalama maliyet de artmaktadır.

h değeri arttığı zaman ,

- Elde tutmanın maliyeti arttığı için parametreler elde tutulan stok miktarını düşürme yönünde değişmektedir. Örneğin,  $s^*$  sabit kalırken  $S^*$  azalmakta veya  $s^*$  ve  $S^*$  aynı anda azalmaktadır.
- Elde tutmak yerine gerektiğinde sipariş ile karşılama politikasının uygulandığını gözlemlenmiştir.
- Bu sebeple ortalama elde bulundurulan stok miktarı azalırken ortalama geri ısmarlanan talep miktarı artmaktadır.
- Ortalama maliyet de artış eğilimi göstermektedir.

b değeri artarsa,

- $S^*$  ve  $s^*$  değerinde artış olmaktadır. Çünkü geri ısmarlama maliyeti yüksek olduğu için sipariş verme noktasında deponun envanter pozisyonunun yüksek tutulması ile stoksuz kalma ihtimali azaltılmaya çalışılmıştır.
- Geri ısmarlanan talep miktarı azalırken elde tutulan stok miktarı ve ortalama maliyetinde artış gözlenmektedir.

Çizelge 4.11:  $\lambda = 3.2$  için Bileşik Poisson için Performans Ölçütleri

$\lambda$	L	A	h	b	AC*	E[SM]*	E[GM]*	$\Delta_{AC}\%$	$\Delta_{SM}\%$	$\Delta_{GM}\%$		
3,2	0,01	400	8	36	237,56	15,40	0,00	0,00	0,00	0,00	NA	
				70	237,60	15,40	0,00	0,00	0,00	0,00	NA	
				500	238,13	15,40	0,00	0,00	0,00	0,00	NA	
			32	36	496,99	8,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	NA
				70	497,08	8,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	NA
				500	498,15	8,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	NA
		900	8	36	350,73	22,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	NA
				70	350,76	22,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	NA
				500	351,11	22,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	NA
			32	36	723,65	11,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	NA
				70	723,70	11,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	NA
				500	724,41	11,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	NA
	0,90	400	8	36	219,07	11,60	0,81	0,05	0,06	0,32		
				70	238,63	14,19	0,40	0,07	0,09	0,79		
				500	290,62	19,85	0,07	0,15	0,22	1,32		
			32	36	383,71	4,76	1,49	0,08	0,20	0,28		
				70	433,15	5,19	1,41	0,10	0,18	0,29		
				500	632,18	10,96	0,19	0,22	0,30	0,84		
		900	8	36	320,53	17,87	0,58	0,02	0,04	0,33		
				70	339,21	19,25	0,46	0,04	0,03	0,45		
				500	392,21	26,34	0,05	0,09	0,13	1,44		
			32	36	577,03	7,40	1,12	0,04	0,11	0,31		
				70	614,55	7,85	1,07	0,05	0,10	0,31		
				500	821,02	13,46	0,18	0,14	0,23	0,49		

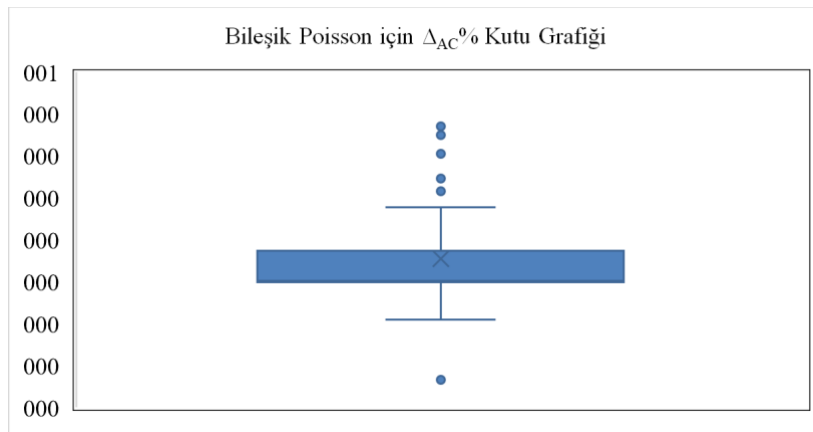
Çizelge 4.12:  $\lambda = 9.6$  için Bileşik Poisson için Performans Ölçütleri

$\lambda$	L	A	h	b	AC*	E[SM]*	E[GM]*	$\Delta_{AC}\%$	$\Delta_{SM}\%$	$\Delta_{GM}\%$
9,6	0,01	400	8	36	402,02	25,75	0,00	0,00	0,00	NA
				70	402,11	25,75	0,00	0,00	0,00	NA
				500	403,16	25,75	0,00	0,00	0,00	NA
			32	36	823,99	13,24	0,01	0,00	-0,04	NA
				70	824,17	13,24	0,01	0,00	-0,04	NA
				500	826,24	13,75	0,00	0,00	0,00	NA
		900	8	36	823,99	13,24	0,01	0,38	-0,65	NA
				70	824,17	13,24	0,01	0,35	-0,58	NA
				500	826,24	13,75	0,00	0,37	-0,55	NA
			32	36	1216,00	19,75	0,00	0,00	0,00	NA
				70	1217,40	19,75	0,00	0,00	0,00	NA
				500	1215,89	19,75	0,00	0,03	0,05	NA
	0,90	400	8	36	379,37	20,32	1,43	-0,06	-0,21	NA
				70	412,15	24,53	0,64	0,03	-0,05	NA
				500	491,39	34,96	0,07	0,25	0,41	NA
			32	36	631,53	6,21	4,82	-0,23	-0,55	NA
				70	750,56	8,89	2,50	-0,09	-0,35	NA
				500	1075,95	19,17	0,29	0,31	0,39	NA
		900	8	36	559,64	21,98	2,09	-0,01	0,09	0,73
				70	608,88	24,40	1,01	0,03	0,00	1,09
				500	676,81	40,97	0,08	0,00	0,47	1,02
			32	36	906,34	8,77	4,88	0,03	0,11	0,08
				70	1045,22	11,94	3,05	0,05	0,10	0,25
				500	1372,40	22,17	0,30	0,18	-0,20	3,41

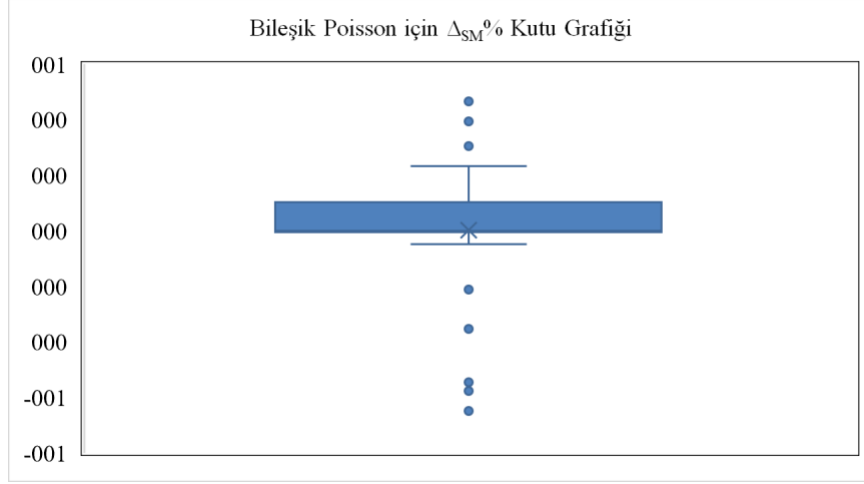
Ele alınan parametre kümelerinde Denklem (15), Denklem (16) ve Denklem (17) ile verilen performans ölçütlerinin Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12’de verilen sonuçlarını aşağıdaki gibi yorumlayabiliriz:

- $\Delta_{SM}^F \% < 0$  iken, performans ölçütlerinde  $\Delta_{GM}^F \%$  değerleri hesaplanamaz (NA) değerini aldığı gözlenmektedir. Bu değerlerin hesaplanamaz değeri almasının en önemli nedeni  $E[GM]^*$  değerinin bu performans ölçütlerinde sıfır değerini almasıdır. Denklem (17)’den görebileceğimiz gibi değer bölümünde yer aldığı için sonucu hesaplanamaz kılmaktadır. Aynı zamanda  $\Delta_{AC}^F \%$  değerinin pozitif değer aldığı gözlenmiştir.
- $\Delta_{SM}^F \% > 0$  iken, performans ölçütlerinde  $\Delta_{GM}^F \%$  ve  $\Delta_{AC}^F \%$  değerlerinin pozitif değer aldığı gözlenmektedir.

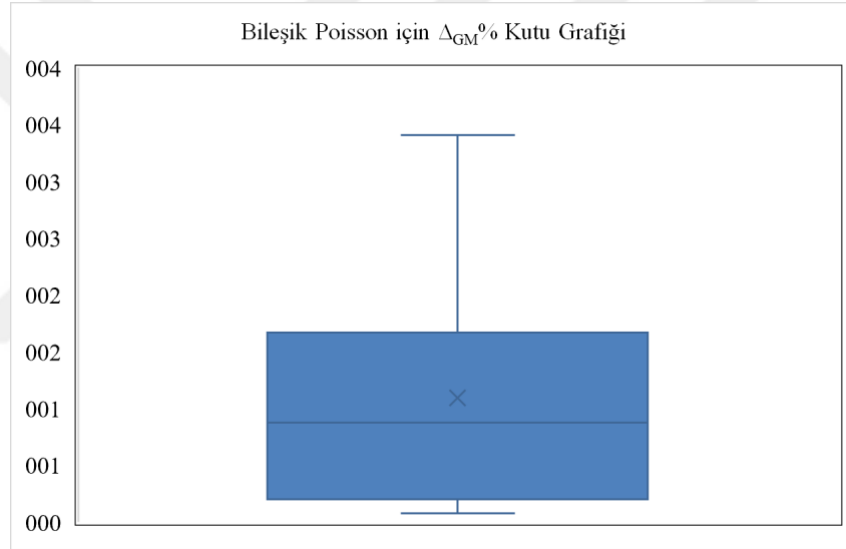
- $\Delta_{SM}^F$  % değerinin sıfıra yakın değerler aldığı performans ölçütlerinde  $\Delta_{GM}^F$  % değerleri hesaplanamaz ve  $\Delta_{AC}^F$  % sıfıra yakın değerler almaktadır.
- $\Delta_{GM}^F$  % > 0 değer aldığı bir performans ölçülerinde  $\Delta_{SM}^F$  % ve  $\Delta_{AC}^F$  % sıfıra yakın değer aldığı gözlenmektedir.
- $\Delta_{AC}^F$  % < 0 iken, performans ölçütlerinde  $\Delta_{SM}^F$  % değerlerinin genellikle negatif;  $\Delta_{GM}^F$  % değerinin ise hesaplanamaz değer aldığı gözlenmektedir.
- $\Delta_{AC}^F$  % > 0 iken, performans ölçütlerinde  $\Delta_{SM}^F$  % değerlerinin genellikle pozitif değerler aldığı,  $\Delta_{GM}^F$  % değerinin ise hesaplanamaz ya da pozitif değer aldığı gözlenmektedir.
- $\Delta_{AC}^F$  % değeri sıfıra yakın değerde iken, performans ölçütlerinde  $\Delta_{SM}^F$  % sıfıra yakın,  $\Delta_{GM}^F$  % değerinin ise hesaplanamaz değer aldığı gözlenmektedir.
- Genel anlamda performans ölçütlerinin değişimine göre verilen tepki ise üssel dağılımına benzer şekilde seyretmektedir.
- $\Delta_{AC}^F$  % değeri genel anlamda pozitif değer almaktadır, bunun nedeni bileşik Poisson ile hesaplanmış olduğumuz ortalama maliyet değerlerinin genel olarak birim Poisson değerlerinden daha yüksek olduğunu göstermektedir.
- $\Delta_{GM}^F$  % değeri, NA hesaplanamaz değeri almadığı durumlarda pozitif değer almaktadır, bu sonuçla  $\Delta_{AC}^F$  % değerinde olduğu gibi bileşik Poisson ile hesaplanmış olduğumuz ortalama geri ısmarlanan talep miktarının birim Poisson değerlerinden daha yüksek olduğunu göstermektedir. NA değerleri ise birim Poisson için hesaplanan ortalama geri ısmarlanan talep miktarı değerleri sıfıra yakın olması ve Denklem (17) 'de paydada bulunması sebebiyle hesaplanamaz değeri almaktadır.



Şekil 4.16: Bileşik Poisson için  $\Delta_{AC}$  % Kutu Grafiği



Şekil 4.17: Bileşik Poisson için  $\Delta_{SM}\%$  Kutu Grafiği



Şekil 4.18: Bileşik Poisson için  $\Delta_{GM}\%$  Kutu Grafiği

Şekil 4.16 ve Şekil 4.17 'de pozitif alanda değer almaktadır, uç noktalar gözlemlenmektedir. Şekil 4.18'da uç değer gözlenmemiştir.

#### 4.2.1. Talep Sürecindeki Dağılım Farklılığının Analizi

A tipi malzemeler içinde bulunduğu envanter sistemleri için çok kritik olduklarından bu malzemelerin doğru modellenmesi oldukça önem taşımaktadır. Bu doğrultuda, bu bölüm içinde sürecin doğru tahmin edilerek doğru dağılımlar ile modellenmesinin öneminin sayısal analizi gerçekleştirilecektir.

Talepler arası dağılımın üssel olmadığı durumda kesin ve tam bir matematiksel model mümkün olmadığı için farklı talepler arası dağılımlarını kullanan ve detayları Bölüm 3.3.1’de verilen simülasyon modeli oluşturulmuştur.

Simülasyon modeli Lognormal ve Beta dağılımları için 100 replikasyon üzerinden çalıştırılmış ve bu dağılımların parametreleri objektif bir karşılaştırma için matematiksel modelde varsayılan üssel dağılımın ortalama ve varyansına eşit olacak şekilde belirlenmiştir. Talepler arası dağılımın doğru modellemesinin önemini vurgulamak için ise ortalama maliyet, elde bulunan stok miktarı ve geri ısmarlanan ortalama talep miktarı üzerinden bir analiz gerçekleştirilmiştir. Bu analiz kapsamında daha önce paylaşılan Denklem (15), Denklem (16) ve Denklem (17) performans ölçütleri dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Denklem (15) ‘te  $AC_F(s^*, S^*)$ , F dağılımı altında  $(s^*, S^*)$  politika parametrelerinde ele alınan politika için simülasyon ile elde edilen ortalama maliyet değerini göstermektedir. Benzer şekilde Denklem (16) ve Denklem (17)’de de  $E_F[SM]$  ve  $E_F[GM]$  ifadeleri ise F dağılımı ile  $(s^*, S^*)$  politika parametrelerinde simülasyon ile elde edilen ortalama stok miktarı ve geri ısmarlanan ortalama talep miktarı olarak tanımlanmaktadır.

Denklem (15), Denklem (16) ve Denklem (17) ile verilen performans ölçütleri ise  $(s^*, S^*)$  politika parametrelerinde farklı dağılımlar ile elde edilen ortalama maliyet, ortalama stok miktarı ve ortalama geri ısmarlanan talep miktarları arasında bulunan oransal farklılıklara karşılık gelir. Bu farklılıkların pozitif olması F dağılımı ile aynı politika parametresinde elde edilen maliyet ya da ortalama stok/geri ısmarlanan talep miktarının daha büyük olduğu anlamına gelir. Benzer şekilde, bu performans ölçütlerinin farklı dağılımlar için çok farklı değerlere sahip olduğunu gösterir. Bu durumların istatistiksel olarak test edilebilmek için ise maliyet ile ilgili aşağıdaki hipotezler kurulmuştur.

Hipotez:

$$H_0: \mu_{AC}^F = \mu_{AC}^{\text{Üssel}}$$

$$H_1: \mu_{AC}^F \neq \mu_{AC}^{\text{Üssel}}$$

Ele alınan parametre kümelerinde Denklem (15), Denklem (16) ve Denklem (17) ile verilen performans ölçütleri Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5’de, Hipotez ile ilgili verilen çıkarımları gösteren sonuçlar ise Çizelge 4.6 ‘da verilmektedir. 100 replikasyon çalıştırmış olduğumuz simülasyonların sapmalarını gözlemlemek için  $AC_{std}$  ortalama maliyetin standart sapması hesaplanmıştır. 4 çekirdekli 8 Gb ram bulunan bilgisayarda Matlab programında koşturulan simülasyon modelleri her parametre seti için ortalama 10 dakikada sonuç vermektedir.

Çizelge 4.13:  $\lambda = 3.2$  için Beta Dağılımlı Talepler Arası Geliş için Performans Ölçütleri

$\lambda$	L	A	h	b	AC <sub>std</sub>	AC <sub>F</sub> (s*,S*)	E <sub>F</sub> [SM]	E <sub>F</sub> [GM]	$\Delta AC\%$	$\Delta SM\%$	$\Delta GM\%$
3,2	0,01	400	8	36	72,14	239,28	15,47	0,00	0,01	0,00	0,61
				70	71,51	237,17	15,42	0,00	0,00	0,00	0,45
				500	71,93	238,55	15,31	0,00	0,00	-0,01	0,61
			32	36	150,29	498,44	8,35	0,00	0,00	0,00	0,57
				70	149,96	497,34	8,44	0,00	0,00	0,01	0,21
				500	150,28	498,42	8,40	0,00	0,00	0,00	0,21
		900	8	36	105,63	350,30	22,33	0,00	0,00	0,00	0,57
				70	106,42	352,95	22,34	0,00	0,01	0,00	0,69
				500	105,40	349,57	22,45	0,00	0,00	0,00	0,57
			32	36	218,26	723,84	11,90	0,00	0,00	0,00	0,21
				70	218,01	723,04	11,86	0,00	0,00	0,00	0,21
				500	219,11	726,67	11,93	0,00	0,00	0,00	0,21
	0,9	400	8	36	66,44	220,32	11,62	0,83	0,01	0,00	0,02
				70	73,47	243,65	14,28	0,45	0,02	0,01	0,12
				500	91,55	303,56	19,97	0,10	0,04	0,01	0,36
			32	36	116,46	386,24	4,82	1,52	0,01	0,01	0,02
				70	131,97	437,66	5,23	1,45	0,01	0,01	0,03
				500	199,73	662,30	11,13	0,24	0,05	0,02	0,29
		900	8	36	97,28	322,63	18,07	0,60	0,01	0,01	0,03
				70	102,50	339,95	19,35	0,48	0,00	0,01	0,04
				500	122,05	404,64	26,52	0,07	0,03	0,01	0,40
			32	36	174,73	579,49	7,46	1,15	0,00	0,01	0,03
				70	186,48	618,47	7,98	1,10	0,01	0,02	0,02
				500	256,23	849,76	13,42	0,24	0,04	0,00	0,32

Çizelge 4.14:  $\lambda = 9.6$  için Beta Dağılımlı Talepler Arası Geliş için Performans Ölçütleri

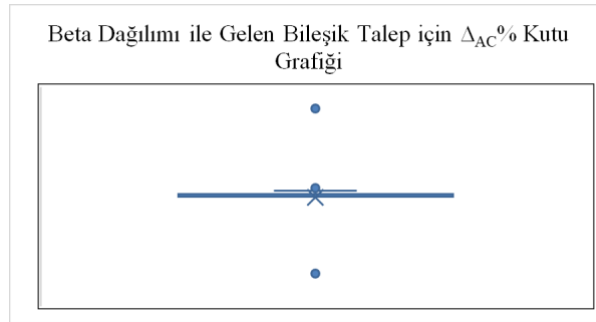
$\lambda$	L	A	h	b	AC <sub>Std</sub>	AC <sub>F</sub> (S*,S*)	E <sub>F</sub> [SM]	E <sub>F</sub> [GM]	$\Delta_{AC}\%$	$\Delta_{SM}\%$	$\Delta_{GM}\%$
9,6	0,01	400	8	36	121,00	401,32	25,66	0,00	0,00	0,00	0,10
				70	121,21	402,00	25,69	0,03	0,00	0,00	9,99
				500	121,55	403,11	25,82	0,00	0,00	0,00	0,06
			32	36	248,31	823,56	13,21	0,01	0,00	0,00	0,12
				70	247,98	822,46	13,25	0,01	0,00	0,00	0,10
				500	248,46	824,06	13,73	0,01	0,00	0,00	0,06
		900	8	36	180,49	598,60	37,76	0,00	-0,27	1,85	-0,64
				70	180,62	599,06	37,88	0,00	-0,27	1,86	-0,64
				500	180,54	598,79	37,79	0,00	-0,28	1,75	-0,63
			32	36	367,91	1220,20	19,79	0,00	0,00	0,00	0,14
				70	367,19	1217,80	19,80	0,00	0,00	0,00	0,08
				500	366,84	1216,70	19,76	0,00	0,00	0,00	0,11
	0,9	400	8	36	115,11	381,76	20,21	1,48	0,01	-0,01	0,04
				70	124,92	414,30	24,57	0,65	0,01	0,00	0,02
				500	148,59	492,79	35,05	0,06	0,00	0,00	-0,12
			32	36	191,03	633,58	6,26	4,83	0,00	0,01	0,00
				70	227,08	753,13	8,86	2,53	0,00	0,00	0,01
				500	326,89	1084,10	19,15	0,30	0,01	0,00	0,05
		900	8	36	169,90	563,49	21,92	2,14	0,01	0,00	0,02
				70	184,17	610,81	24,42	1,03	0,00	0,00	0,01
				500	206,13	683,58	40,90	0,09	0,01	0,00	0,12
			32	36	273,81	908,12	8,73	4,93	0,00	0,00	0,01
				70	315,80	1047,40	12,00	3,04	0,00	0,01	0,00
				500	547,54	1815,50	18,56	1,67	0,32	-0,16	4,61

Ele alınan parametre kümelerinde Denklem (15), Denklem (16) ve Denklem (17) ile verilen performans ölçütlerinin Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14 'te verilen sonuçlarını aşağıdaki gibi yorumlayabiliriz:

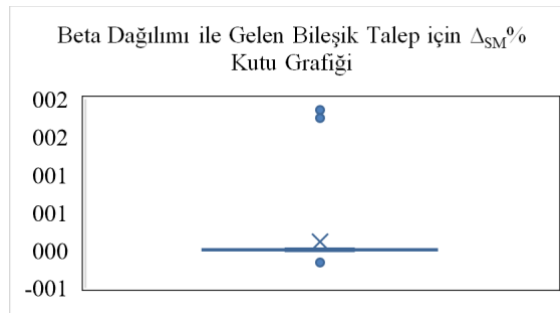
- $\Delta_{SM}^F\% < 0$  iken, performans ölçütlerinde genellikle  $\Delta_{GM}^F\%$  ve  $\Delta_{AC}^F\%$  değerleri pozitif değer almaktadır.
- $\Delta_{SM}^F\% > 0$  iken performans ölçütlerinde  $\Delta_{GM}^F\%$  değerinin pozitif değer aldığı gözlenmektedir.
- $\Delta_{SM}^F\%$  sifıra yakın değer aldığı performans ölçütlerinde  $\Delta_{GM}^F\%$  değerinin pozitif ve  $\Delta_{AC}^F\%$  değeri sifıra yakın değer aldığı gözlenmektedir.

- $\Delta_{GM}^F \% < 0$  iken, performans ölçütlerinde  $\Delta_{SM}^F \%$  değerleri pozitif,  $\Delta_{AC}^F \%$  değerinin negatif değer aldığı gözlenmektedir.
- $\Delta_{GM}^F \% > 0$  iken, performans ölçütlerinde  $\Delta_{SM}^F \%$  ve  $\Delta_{AC}^F \%$  değerlerinin ağırlıklı olarak sifıra yakın değer aldığı gözlenmektedir.
- $\Delta_{GM}^F \%$  sifıra yakın değer aldığı performans ölçütlerinde  $\Delta_{SM}^F \%$  ve  $\Delta_{AC}^F \%$  değeri sifıra yakın değer aldığı gözlenmektedir.
- $\Delta_{AC}^F \% < 0$  iken, performans ölçütlerinde  $\Delta_{SM}^F \%$  değerlerinin pozitif,  $\Delta_{GM}^F \%$  değerinin negatif değer aldığı gözlenmektedir.
- $\Delta_{AC}^F \% > 0$  iken, performans ölçütlerinde  $\Delta_{SM}^F \%$  değerlerinin genellikle sifıra yakın değerler aldığı ancak  $\Delta_{GM}^F \%$  değerleri için pozitif eğilim gözlemlenmektedir.
- $\Delta_{AC}^F \%$  sifıra yakın değer aldığı performans ölçütlerinde  $\Delta_{GM}^F \%$  değerinin pozitif ve  $\Delta_{SM}^F \%$  değeri sifıra yakın değer aldığı gözlenmektedir.
- Genel anlamda performans ölçütlerinin değişimine göre verilen tepki ise üssel dağılımdakine benzer şekilde seyretmektedir.

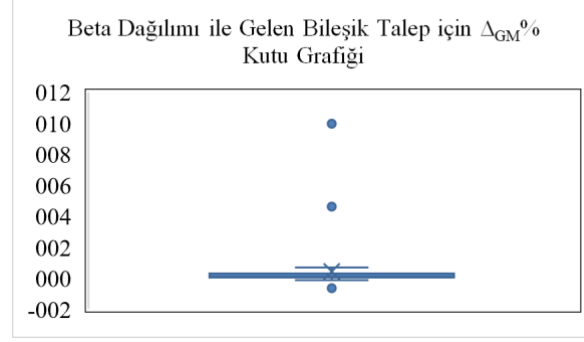
Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21 'de pozitif alanda değer almaktadır, uç noktalar gözlemlenmektedir.



Şekil 4.19: Beta Dağılımı ile Gelen Bileşik Talep için  $\Delta_{AC}\%$  Kutu Grafiği



Şekil 4.20: Beta Dağılımı ile Gelen Bileşik Talep için  $\Delta_{SM}\%$  Kutu Grafiği



Şekil 4.21: Beta Dağılımı ile Gelen Bileşik Talep için  $\Delta_{GM}^{\circ}$  Kutu Grafiği

Çizelge 4.15:  $\lambda = 3,2$  Lognormal Dağılımlı Talepler Arası Geliş için Performans Ölçütleri

$\lambda$	L	A	h	b	AC <sub>Std</sub>	AC <sub>F</sub> (s*,S*)	E <sub>F</sub> [SM]	E <sub>F</sub> [GM]	$\Delta_{AC}^{\circ}$	$\Delta_{SM}^{\circ}$	$\Delta_{GM}^{\circ}$
3,2	0,01	400	8	36	71,78	238,09	15,39	0,00	0,00	0,00	-0,03
				70	71,44	236,94	15,42	0,00	0,00	0,00	-0,11
				500	71,84	238,25	15,44	0,00	0,00	0,00	-0,11
			32	36	5,39	497,26	8,39	0,00	0,00	0,00	-0,07
				70	4,88	496,98	8,39	0,00	0,00	0,00	-0,20
				500	4,83	498,74	8,39	0,00	0,00	0,00	-0,20
		900	8	36	3,68	351,06	22,40	0,00	0,00	0,00	-0,15
				70	3,61	351,07	22,39	0,00	0,00	0,00	-0,15
				500	3,82	351,75	22,43	0,00	0,00	0,00	-0,15
			32	36	8,81	725,10	11,90	0,00	0,00	0,00	-0,09
				70	8,61	724,56	11,90	0,00	0,00	0,00	-0,09
				500	8,19	725,52	11,90	0,00	0,00	0,00	-0,09
	0,9	400	8	36	2,42	217,08	11,57	0,76	-0,01	0,00	-0,06
				70	2,85	235,50	14,19	0,36	-0,01	0,00	-0,11
				500	4,04	278,89	19,84	0,05	-0,04	0,00	-0,34
			32	36	3,41	379,23	4,70	1,41	-0,01	-0,01	-0,05
				70	4,33	426,00	5,11	1,33	-0,02	-0,01	-0,06
				500	7,98	603,55	10,93	0,13	-0,05	0,00	-0,30
		900	8	36	3,10	319,83	17,91	0,55	0,00	0,00	-0,06
				70	3,86	336,92	19,26	0,42	-0,01	0,00	-0,08
				500	4,18	384,60	26,38	0,03	-0,02	0,00	-0,40
			32	36	5,40	574,74	7,36	1,06	0,00	-0,01	-0,06
				70	6,23	609,75	7,82	1,01	-0,01	0,00	-0,06
				500	10,00	799,84	13,42	0,14	-0,03	0,00	-0,23

Çizelge 4.16:  $\lambda = 9,6$  Lognormal Dağılımlı Talepler Arası Geliş için Performans Ölçütleri

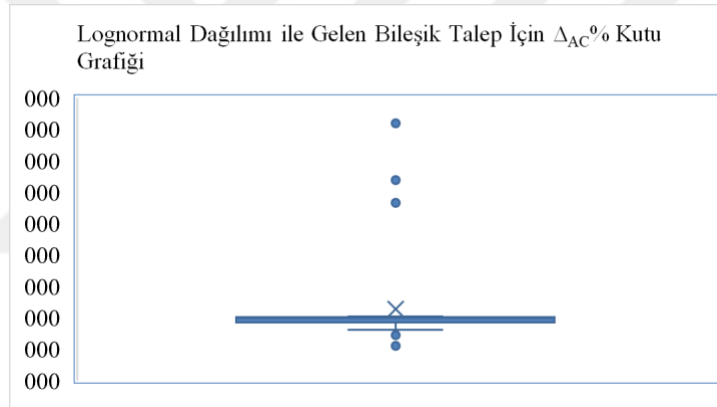
$\lambda$	L	A	h	b	AC <sub>Std</sub>	AC <sub>F</sub> (s*,S*)	E <sub>F</sub> [SM]	E <sub>F</sub> [GM]	$\Delta_{AC}\%$	$\Delta_{SM}\%$	$\Delta_{GM}\%$
9,6	0,01	400	8	36	2,84	402,16	25,76	0,00	0,00	0,00	-0,19
				70	2,43	402,39	25,74	0,00	0,00	0,00	-0,19
				500	2,64	403,13	25,76	0,00	0,00	0,00	-0,19
			32	36	4,46	824,09	13,25	0,00	0,00	0,00	-0,20
				70	5,24	824,81	13,25	0,00	0,00	0,00	-0,20
				500	4,72	825,55	13,74	0,00	0,00	0,00	-0,19
		900	8	36	9,26	1004,90	13,25	0,00	0,22	0,00	-0,74
				70	10,51	1006,70	13,25	0,00	0,22	0,00	-0,74
				500	10,14	977,49	13,76	0,00	0,18	0,00	-0,19
			32	36	6,85	1215,80	19,78	0,00	0,00	0,00	-0,20
				70	6,87	1216,60	19,74	0,00	0,00	0,00	-0,20
				500	7,80	1218,30	19,77	0,00	0,00	0,00	-0,20
	0,9	400	8	36	2,43	377,90	20,30	1,38	0,00	0,00	-0,03
				70	2,88	409,64	24,50	0,59	-0,01	0,00	-0,07
				500	3,89	481,68	34,94	0,05	-0,02	0,00	-0,30
			32	36	3,87	629,20	6,18	4,77	0,00	0,00	-0,01
				70	5,08	744,28	8,83	2,44	-0,01	-0,01	-0,03
				500	10,96	1045,70	19,10	0,23	-0,03	0,00	-0,20
		900	8	36	4,56	559,84	21,98	2,06	0,00	0,00	-0,01
				70	5,40	606,28	24,43	0,96	0,00	0,00	-0,05
				500	5,55	667,65	41,00	0,06	-0,01	0,00	-0,25
			32	36	5,74	904,69	8,76	4,82	0,00	0,00	-0,01
				70	6,10	1042,10	11,93	3,00	0,00	0,00	-0,02
				500	27,11	1797,10	18,55	1,63	0,31	-0,16	4,50

Ele alınan parametre kümelerinde Denklem (15), Denklem (16) ve Denklem (17) ile verilen performans ölçütlerinin Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16 'da verilen sonuçlarını aşağıdaki gibi yorumlayabiliriz:

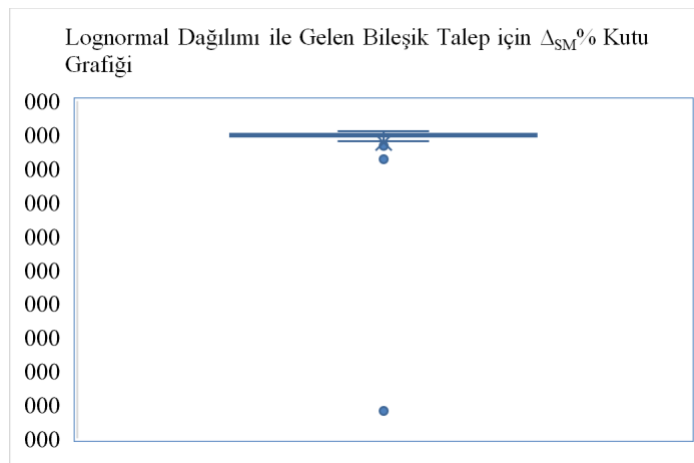
- $\Delta_{SM}^F\% < 0$  iken, performans ölçütlerinde genellikle  $\Delta_{GM}^F\%$  ve  $\Delta_{AC}^F\%$  değerleri negatif değer almaktadır.
- $\Delta_{SM}^F\% > 0$  iken performans ölçütlerinde genellikle  $\Delta_{GM}^F\%$  ve  $\Delta_{AC}^F\%$  değerleri negatif değer almaktadır.
- $\Delta_{SM}^F\%$  sifıra yakın değer aldığı performans ölçütlerinde  $\Delta_{GM}^F\%$  değerinin negatif ve  $\Delta_{AC}^F\%$  değeri sifıra yakın değer aldığı gözlenmektedir.
- $\Delta_{GM}^F\% < 0$  iken, performans ölçütlerinde  $\Delta_{SM}^F\%$  ve  $\Delta_{AC}^F\%$  değerinin sifıra yakın değer aldığı gözlenmektedir.

- $\Delta_{GM}^F \% > 0$  iken, performans ölçütlerinde  $\Delta_{SM}^F \%$  negatif değer alırken  $\Delta_{AC}^F \%$  pozitif değer almaktadır.
- $\Delta_{AC}^F \% < 0$  iken, performans ölçütlerinde  $\Delta_{SM}^F \%$  değerlerinin sıfıra yakın,  $\Delta_{GM}^F \%$  değerlerinin negatif değer aldığı gözlenmektedir.
- $\Delta_{AC}^F \% > 0$  iken, performans ölçütlerinde  $\Delta_{SM}^F \%$  değerlerinin negatif değer alırken  $\Delta_{GM}^F \%$  değerleri için pozitif eğilim gözlemlenmektedir.
- $\Delta_{AC}^F \%$  sıfıra yakın değer aldığı performans ölçütlerinde  $\Delta_{GM}^F \%$  değerlerinin negatif ve  $\Delta_{SM}^F \%$  değeri sıfıra yakın değer aldığı gözlenmektedir.
- Genel anlamda performans ölçütlerinin değişimine göre verilen tepki ise üssel dağılımdakine benzer şekilde seyretmektedir.

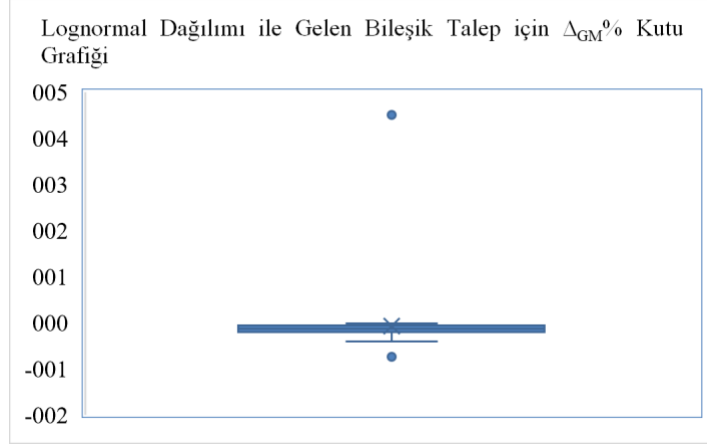
Şekil 4.2 ve Şekil 4.24 'te hem pozitif hem de negatif alanda değer almaktadır, uç noktalar gözlemlenmektedir. Şekil 4.13' de ise sadece negatif alanda uç değer gözlenmiştir.



Şekil 4.22: Lognormal Dağılımı ile Gelen Bileşik Talep için  $\Delta_{AC}\%$  Kutu Grafiği



Şekil 4.23: Lognormal Dağılımı ile Gelen Bileşik Talep için  $\Delta_{SM}\%$  Kutu Grafiği



Şekil 4.24: Lognormal Dağılımı ile Gelen Bileşik Talep için  $\Delta_{GM}\%$  Kutu Grafiği

Çizelge 4.14: Beta ve Lognormal Dağılımlı Talepler Arası Geliş için Hipotez Test Sonuçları ( $\alpha = 0,05$ )

$\lambda$	L	A	h	b	Beta Hipotez	Lognormal Hipotez	$\lambda$	L	A	h	b	Beta Hipotez	Lognormal Hipotez
8	0,01	400	8	36	Reddetme	Reddetme	24	0,01	400	8	36	Reddetme	Reddetme
				70	Reddetme	Reddetme					70	Reddetme	Reddetme
				500	Reddetme	Reddetme					500	Reddetme	Reddetme
			32	36	Reddetme	Reddetme				32	36	Reddetme	Reddetme
				70	Reddetme	Reddetme					70	Reddetme	Reddetme
				500	Reddetme	Reddetme					500	Reddetme	Reddetme
		900	8	36	Reddetme	Reddetme			900	8	36	Reddet	Reddet
				70	Reddetme	Reddetme					70	Reddet	Reddet
				500	Reddetme	Reddetme					500	Reddet	Reddet
			32	36	Reddetme	Reddetme				32	36	Reddetme	Reddetme
				70	Reddetme	Reddetme					70	Reddetme	Reddetme
				500	Reddetme	Reddetme					500	Reddetme	Reddet
	0,9	400	8	36	Reddetme	Reddet	24	0,9	400	8	36	Reddetme	Reddet
				70	Reddetme	Reddet					70	Reddetme	Reddet
				500	Reddetme	Reddet					500	Reddetme	Reddet
			32	36	Reddetme	Reddet				32	36	Reddetme	Reddet
				70	Reddetme	Reddet					70	Reddetme	Reddet
				500	Reddetme	Reddet					500	Reddetme	Reddet
		900	8	36	Reddetme	Reddet			900	8	36	Reddetme	Reddetme
				70	Reddetme	Reddet					70	Reddetme	Reddet
				500	Reddetme	Reddet					500	Reddetme	Reddet
			32	36	Reddetme	Reddet				32	36	Reddetme	Reddet
				70	Reddetme	Reddet					70	Reddetme	Reddet
				500	Reddetme	Reddet					500	Reddet	Reddet

Ele alınan parametre kümelerinde Hipotez ile verilen performans ölçütlerinin Çizelge 4.14'da verilen sonuçları aşağıdaki gibi yorumlayabiliriz:

- Lognormal hipotez değeri, incelenen senaryolarla  $\alpha = 0,05$  güvenlik seviyesi ile hesaplandığında %44 reddetme, %56 reddet değeri vermektedir. Bu sonuçlara göre talepler arası bileşik Poisson ile geliş kabulü ile oluşturulan matematiksel model ve stok politikası birbirine duyarlıdır. Talepler arası geliş dağılımı lognormal olan bir sistem için dağılıma uygun olacak yeni matematiksel modelin oluşturulması gerekmektedir.
- Beta hipotez değeri, incelenen senaryolarla  $\alpha = 0,05$  güvenlik seviyesi ile hesaplandığında %92 reddetme, %8 reddet değeri vermektedir. Bu analize göre gelişler arası dağılımı beta olan bir sistemin, bileşik Poisson ile oluşturduğumuz matematiksel modele duyarlı olmadığı sonucuna ulaşabiliriz. Bu sebeple oluşturduğumuz stok politikası ve matematik model, gelişler arası dağılımı beta olan sistem için de kullanılabilir.

#### **4.2.2. Onarım Süreci Dahil Edildiği Durumun Analizi**

A tipi malzemeler içinde bulunduğu envanter sistemleri için çok kritik olduklarından bu malzemelerin doğru modellenmesi oldukça önem taşımaktadır. Bu doğrultuda, bu bölüm içinde sürecin doğru tahmin edilerek doğru ek depo yönetimi ile modellemesinin öneminin sayısal analizi gerçekleştirilecektir.

Envanter sisteminde incelenen A tipi malzemenin matematiksel modellemesi yapılırken onarım imkanı olmadığı varsayımı ile her talepte sıfır malzeme kullanımı varsayılmıştır. Onarım durumu göz önüne alındığında incelenen malzemenin savunma sanayide müşteriye özel ve gizli olması sebebi ile her müşteri için onarılan malzemeler farklı tanımlanmış depolarda tutulmaktadır. Bu durum müşteri sayısının çok olması sebebiyle örnek uzayını büyütme ve kesin ve tam bir matematiksel model mümkün olmadığı (zor olduğu) için sıfır depolarının yanında ek müşteri deposunun da bulunduğu ve detayları Bölüm 3.3.2'de verilen simülasyon modeli oluşturulmuştur.

Simülasyon modeli üssel dağılımı ile sıfır deposuna ek bir müşteri deposu için 100 replikasyon üzerinden çalıştırılmış ve bu değişimin parametreleri objektif bir karşılaştırma için matematiksel modelde varsayılan üssel dağılımın ortalama ve

varyansına eşit olacak şekilde belirlenmiştir. Talepler arası dağılımın doğru modellenmesinin önemini vurgulamak için ise ortalama maliyet, elde bulunan stok miktarı ve geri ısmarlanan ortalama talep miktarı üzerinden bir analiz gerçekleştirilmiştir. Simülasyon modeli hazırlanırken ek olarak çoklu taleple aynı anda gelen ürünlerin onarımlarının aynı anda gerçekleştiği ve yeni talep gelmesi durumunda talep sayısının onarım depo miktarından az ya da eşit olması durumunda tamamı onarımlı ya da tamamı sıfır depodan olacak şekilde kullanımı gerçekleşeceği varsayılmıştır.

Bu analiz kapsamında daha önce tanımlanmış olan Denklem (15), Denklem (16) ve Denklem (17) performans ölçütleri dikkate alınarak incelenmiştir.

Denklem (15) 'te  $AC_F(s^*, S^*)$ , onarım sürecinin dahil edildiği süreç için  $(s^*, S^*)$  politika parametrelerinde ele alınan politika için simülasyon ile elde edilen ortalama maliyet değerini göstermektedir. Benzer şekilde Denklem (16) ve Denklem (17)'de de  $E_F[SM]$  ve  $E_F[GM]$  ifadeleri ise onarım sürecinin dahil edildiği süreç için  $(s^*, S^*)$  politika parametrelerinde simülasyon ile elde edilen ortalama stok miktarı ve geri ısmarlanan ortalama talep miktarı olarak tanımlanmaktadır.

Denklem (15), Denklem (16) ve Denklem (17) ile verilen performans ölçütleri ise  $(s^*, S^*)$  politika parametrelerinde ek depo eklenmiş envanter sistemi ile elde edilen ortalama maliyet, ortalama stok miktarı ve ortalama geri ısmarlanan talep miktarları arasında bulunan oransal farklılıklara karşılık gelir. Bu farklılıkların pozitif olması F dağılımı ile aynı politika parametresinde elde edilen maliyet ya da ortalama stok/geri ısmarlanan talep miktarının daha büyük olduğu anlamına gelir. Benzer şekilde, bu performans ölçütlerinin ek müşteri deposu için çok farklı değerlere sahip olduğunu gösterir. Bu durumların istatistiksel olarak test edilebilmek için ise maliyet ile ilgili aşağıdaki hipotezler kurulmuştur.

Hipotez:

$$H_0: \mu_{AC}^F = \mu_{AC}^{\text{Üssel}}$$

$$H_1: \mu_{AC}^F \neq \mu_{AC}^{\text{Üssel}}$$

Ele alınan parametre kümelerinde Denklem (15), Denklem (16) ve Denklem (17) ile verilen performans ölçütleri Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16'da, Hipotez ile ilgili verilen

çıkarımları gösteren sonuçlar ise Çizelge 4.17 'de verilmektedir. 100 replikasyon çalıştırmış olduğumuz simülasyonların sapmalarını gözlemlemek için  $AC_{std}$  ortalama maliyetin standart sapması hesaplanmıştır. 4 çekirdekli 8 Gb ram bulunan bilgisayarda Matlab programında koşturulan simülasyon modelleri her parametre seti için ortalama 20 dakikada sonuç vermektedir.

Çizelge 4.15:  $\lambda = 3.2$  Onarımlı Ek Depo için Performans Ölçütleri

$\lambda$	L	A	h	b	AC <sub>std</sub>	AC <sub>F</sub> (s*,S*)	E <sub>F</sub> [SM]	E <sub>F</sub> [GM]	$\Delta_{AC}\%$	$\Delta_{SM}\%$	$\Delta_{GM}\%$
3,2	0,01	400	8	36	2,42	230,90	16,00	0,00	-2,80	0,04	NA
				70	2,75	231,35	15,97	0,00	-2,63	0,04	NA
				500	3,02	231,19	15,93	0,00	-2,92	0,03	NA
			32	36	6,00	430,92	8,46	0,00	-13,30	0,01	NA
				70	6,01	431,87	8,48	0,00	-13,12	0,01	NA
				500	5,02	432,23	8,48	0,00	-13,23	0,01	NA
		900	8	36	4,16	313,50	22,54	0,00	-10,61	0,01	NA
				70	4,11	312,85	22,49	0,00	-10,81	0,00	NA
				500	4,27	313,02	22,47	0,00	-10,85	0,00	NA
			32	36	8,45	598,84	11,97	0,00	-17,25	0,01	NA
				70	7,27	597,65	11,96	0,00	-17,42	0,01	NA
				500	7,58	597,68	11,96	0,00	-17,49	0,01	NA
	0,9	400	8	36	2,96	224,49	14,82	0,26	2,48	0,28	-67,94
				70	2,68	252,38	19,11	0,09	5,76	0,35	-76,81
				500	3,47	316,14	28,11	0,01	8,78	0,42	-87,79
			32	36	5,59	394,00	7,52	0,48	2,68	0,58	-67,64
				70	5,60	419,17	8,00	0,45	-3,23	0,54	-67,98
				500	8,03	719,03	18,56	0,02	13,74	0,69	-89,02
		900	8	36	3,79	302,31	21,26	0,18	-5,68	0,19	-68,42
				70	3,93	317,18	23,25	0,13	-6,49	0,21	-71,81
				500	4,15	392,90	34,55	0,01	0,18	0,31	-88,99
			32	36	7,41	539,59	10,40	0,35	-6,49	0,41	-68,40
				70	6,44	562,08	10,92	0,34	-8,54	0,39	-68,02
				500	10,00	832,29	20,55	0,02	1,37	0,53	-86,27

Çizelge 4.16:  $\lambda = 9.6$  Onarımlı Ek Depo için Performans Ölçütleri

$\lambda$	L	A	h	b	AC <sub>Std</sub>	AC <sub>F</sub> (s*,S*)	E <sub>F</sub> [SM]	E <sub>F</sub> [GM]	$\Delta_{AC}\%$	$\Delta_{SM}\%$	$\Delta_{GM}\%$
9,6	0,01	400	8	36	3,46	451,87	25,88	0,00	12,40	0,00	NA
				70	3,79	451,45	25,88	0,00	12,27	0,01	NA
				500	3,57	452,27	25,92	0,00	12,18	0,01	NA
			32	36	6,17	770,57	13,37	0,00	-6,48	0,01	NA
				70	6,14	770,98	13,39	0,00	-6,45	0,01	NA
				500	6,92	780,78	13,89	0,00	-5,50	0,01	NA
		900	8	36	4,99	595,88	37,88	0,00	-0,35	0,00	NA
				70	4,36	595,39	37,82	0,00	-0,44	0,00	NA
				500	4,99	598,39	38,41	0,00	-0,06	0,00	NA
			32	36	8,98	1068,20	19,89	0,00	-12,15	0,01	NA
				70	9,25	1066,60	19,87	0,00	-12,39	0,01	NA
				500	10,49	1069,80	19,92	0,00	-12,02	0,01	NA
	0,9	400	8	36	3,38	507,03	35,39	0,16	33,65	0,74	NA
				70	3,98	562,18	43,11	0,04	36,40	0,76	NA
				500	4,68	655,38	56,00	0,00	33,37	0,60	NA
			32	36	6,65	788,31	15,21	1,01	24,83	1,45	NA
				70	8,46	1009,40	22,92	0,26	34,49	1,58	NA
				500	10,94	1587,90	42,17	0,01	47,58	1,20	NA
		900	8	36	3,42	575,42	34,02	0,39	2,82	0,55	-81,27
				70	4,07	622,11	40,75	0,10	2,17	0,67	-90,44
				500	5,77	666,54	50,86	0,00	-1,52	0,24	-98,15
			32	36	8,601	943,09	16,50	1,33	4,05	0,88	-72,59
				70	7,994	1129,300	23,241	0,552	8,04	0,95	-81,90
				500	13,43	1467,70	32,88	0,21	-9,21	0,86	-83,89

Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16’da sunulan sonuçlar doğrultusunda optimal parametre ve karşılık gelen performans ölçüt değişimleri aşağıdaki gibi özetleyebiliriz:

$\lambda$  arttığı zaman,

- Taleplerin geliş hızı arttığında gelen talepler karşısında stoksuz kalmamak için matematiksel model dengelemek adına hem  $s^*$  hem de  $S^*$  değerini arttırarak cevap vermektedir.
- Elde bulundurulan ortalama stok miktarının artması da yukarıda bahsedilen gözlemlerin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Gelen taleplerin karşılanmasında ek onarım deposunun kullanımına öncelik verilmesi sebebi ile onarımsız olarak hesaplanan elde tutulan ortalama stok miktarları arasında değer farkları oluşmaktadır.

- Ortalama geri ısmarlanan talep miktarında düşüş gözlenmektedir.
- Aynı şekilde hesaplanan ortalama maliyet de artış eğilimi göstermektedir. Bu noktada ortalama maliyetin artışına sebep olan ek bir faktör daha göze çarpmaktadır. Onarım deposuna malzemeleri kaldırmak için ek olarak onarım maliyeti de ortaya çıkmakta ve onarılan malzemeler ile taleplerin karşılanması sebebi ile ortalama elde tutulan stok miktarının artması ortalama maliyetin de artmasını ortaya çıkarmaktadır.

L değeri artarsa,

- Geri ısmarlanan ortalama talep miktarını optimal tutmak için matematiksel model  $s^*$  değerini daha arttırma yönünde reaksiyon vermektedir. Çünkü verilen siparişin gelme süresi uzadığında deponun stoksuz kalma ihtimali artmaktadır. Varsayımlarda da bahsedilmiş olduğu gibi incelenen ürünün A tipi bir malzeme olmasından dolayı sıfır stok olma durumu istenmemektedir. Bu dengeyi sağlamak için matematiksel model sipariş verme noktasında deponun envanter pozisyonu değerinin daha yüksek olmasını sağlayacak şekilde hesaplama yapar.
- Aynı şekilde sipariş verilen ürünün geliş süresi uzun olması sebebiyle  $S^*$  değeri de daha büyük bir değer almaktadır.
- Gelen taleplerin onarılmış malzemelerden de karşılanması sebebi ile ortalama elde bulunan malzeme değerinde artma gözlenmektedir.
- Ortalama geri ısmarlanan talep sayısında artış olmaktadır. Bu durumun sebebi temin etme süresinin artışının etkisinin yansımasıdır.

A değeri büyürse,

- Sipariş vermenin maliyeti artmış olacağı için model sipariş tekrarını azaltacak aksiyonlar alma eğilimindedir. Bu sebeple  $S^*$  değerini arttırmaktadır. Buna karşın  $s^*$  değerinde artış gözlenmemektedir. Taleplerin bir kısmının onarılmış malzemelerden karşılanmasının etkilerini bu değerde görebiliriz.
- Bu durumda elde tutulan stok miktarı artarken geri ısmarlanan talep miktarı azalmaktadır.
- Bunun sonucunda ortalama maliyet de artmaktadır.

h değeri arttığı zaman ,

- Elde tutmanın maliyeti arttığı için parametreler elde tutulan stok miktarını düşürme yönünde değişmektedir.  $s^*$  ve  $S^*$  aynı anda azalmaktadır.
- Elde tutmak yerine gerektiğinde sipariş ile karşılama politikasının uygulandığını gözlemlenmiştir.
- Bu sebeple ortalama elde bulundurulmuş stok miktarı azalırken ortalama geri ısmarlanan talep miktarı artmaktadır.
- Ortalama maliyet de artış eğilimi göstermektedir.

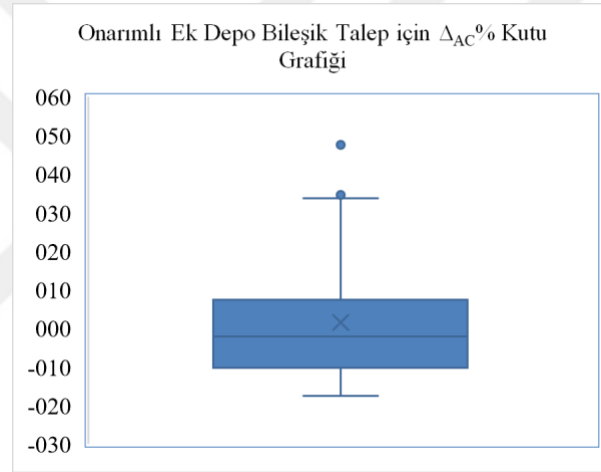
b değeri artarsa,

- Geri ısmarlamanın maliyetinin artması sebebiyle  $s^*$  ve  $S^*$  aynı anda artmaktadır. Böylece deponun dengesi sağlanmış olur.
- Geri ısmarlanan talep miktarı azalırken elde tutulan stok miktarında artma gözlenmektedir. Onarım durumunun etkisi, ek olarak müşteri deposunda bulunan yedekler ile talepler karşılanabilmesi ile bu noktada gözlemlenebilmektedir.
- Geri ısmarlanan talep de elde tutulan stok miktarı da düşmesine rağmen ortalama maliyette artış göz çarpmaktadır. Çünkü onarım yapılan malzemeler için ek bir onarım maliyeti de ortalama maliyete eklenmektedir. Ek olarak gelen taleplerin bir kısmının onarılmış malzemelerden karşılanması sebebi ile ortalama elde bulundurulmuş malzeme değerinin artışı da ortalama maliyete yansır.

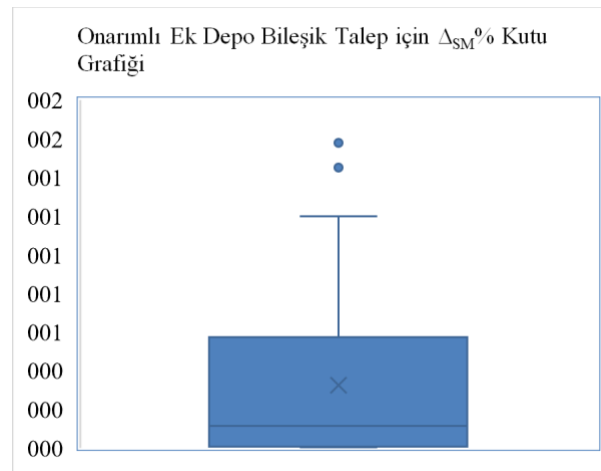
Ele alınan parametre kümelerinde Denklem (15), Denklem (16) ve Denklem (17) ile verilen performans ölçütlerinin Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16'da verilen sonuçlarını aşağıdaki gibi yorumlayabiliriz:

- $\Delta_{SM}^F \% < 0$  durumu hiç oluşmamıştır. Bunun nedeni ise gelen taleplerin sıfır deposu hariç onarılmış malzeme deposundan da karşılanması sebebi ile ortalama elde bulundurulmuş stok miktarında artış gözlenmektedir.
- $\Delta_{SM}^F \% > 0$  iken, performans ölçütlerinde  $\Delta_{GM}^F \%$  değerleri genellikle ya hesaplanamaz (NA) ya da negatif değer aldığı gözlenmektedir.
- $\Delta_{SM}^F \%$  değerinin sıfıra yakın değer aldığı performans ölçütlerinde  $\Delta_{GM}^F \%$  değerlerinin NA hesaplanamaz ve  $\Delta_{AC}^F \%$  değerinin negatif değer aldığı gözlenmektedir.

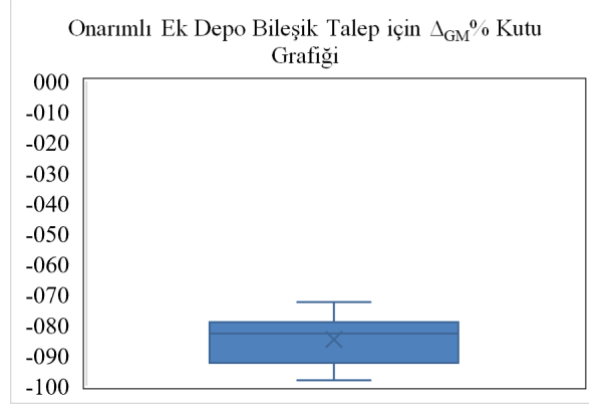
- $\Delta_{GM}^F \% < 0$  iken, performans ölçütlerinde  $\Delta_{SM}^F \%$  ve  $\Delta_{AC}^F \%$  değerinin genellikle pozitif değer aldığı gözlenmektedir.
- $\Delta_{GM}^F \% > 0$  durumu oluşmamıştır, bunun nedeni ise onarılmış malzemeler ile bir kısım talebin karşılanmasıyla geri ismarlanan talep değerinin azalmasıdır.
- $\Delta_{GM}^F \%$  değerinin NA hesaplanamaz değer aldığı performans ölçütlerinde  $\Delta_{SM}^F \%$  değerlerinin pozitif,  $\Delta_{AC}^F \%$  değerinin negatif değer aldığı gözlenmektedir.
- $\Delta_{AC}^F \% < 0$  iken, negatif değer aldığı performans ölçütlerinde  $\Delta_{SM}^F \%$  değerlerinin pozitif;  $\Delta_{GM}^F \%$  değerinin ise hesaplanamaz ya da negatif değer aldığı gözlenmektedir.
- $\Delta_{AC}^F \% > 0$  iken, performans ölçütlerinde  $\Delta_{SM}^F \%$  değerlerinin pozitif ve  $\Delta_{GM}^F \%$  değerlerinin hesaplanamaz ya da negatif değer aldığı gözlenmektedir.



Şekil 4.25: Onarımlı Ek Depo Bileşik Talep için  $\Delta_{AC}\%$  Kutu Grafiği



Şekil 4.26: Onarımlı Ek Depo Bileşik Talep için  $\Delta_{SM}\%$  Kutu Grafiği



Şekil 4.27: Onarımlı Ek Depo Bileşik Talep için  $\Delta_{GM}\%$  Kutu Grafiği

Şekil 4.25 ve Şekil 4.26 'da pozitif alanda değer almaktadır, uç noktalar gözlemlenmektedir. Şekil 4.27'de uç değer gözlenmemiştir.

Çizelge 4.17: Onarımlı Ek Depo için Hipotez Test Sonuçları

$\lambda$	L	A	h	b	Hipotez	$\lambda$	L	A	h	b	Hipotez
3,2	0,01	400	8	36	Reddet	9,6	0,01	400	8	36	Reddet
				70	Reddet					70	Reddet
				500	Reddet					500	Reddet
			32	36	Reddet				32	36	Reddet
				70	Reddet					70	Reddet
				500	Reddet					500	Reddet
		900	8	36	Reddet			900	8	36	Reddet
				70	Reddet					70	Reddet
				500	Reddet					500	Reddetme
			32	36	Reddet				32	36	Reddet
				70	Reddet					70	Reddet
				500	Reddet					500	Reddet
	0,9	400	8	36	Reddet		0,9	400	8	36	Reddet
				70	Reddet					70	Reddet
				500	Reddet					500	Reddet
			32	36	Reddet				32	36	Reddet
				70	Reddet					70	Reddet
				500	Reddet					500	Reddet
		900	8	36	Reddet			900	8	36	Reddet
				70	Reddet					70	Reddet
				500	Reddetme					500	Reddet
			32	36	Reddet				32	36	Reddet
				70	Reddet					70	Reddet
				500	Reddet					500	Reddet

Ele alınan parametre kümelerinde Hipotez ile verilen performans ölçütlerinin Çizelge 4.17’de verilen sonuçları aşağıdaki gibi yorumlayabiliriz:

- Onarımlı hipotez değeri, incelenen senaryolarla hesaplandığında %96 reddet değeri vermektedir. Bu sonuca göre onarım durumu elimine edilen envanter sistemi için oluşturulan ile onarım ek deposu eklenen sistem, matematiksel model ve stok politikası birbirine duyarlıdır. Hem onarım için oluşan ek maliyet hem de onarılmış ürünlerin depolandığı müşteri deposunun sisteme etkilerini yansıtan uygun yeni matematiksel modelin oluşturulması gerekmektedir.

### 4.3. Uygulama Çalışması

A tipi malzemeler içinde bulunduğu envanter sistemleri için çok kritik olduklarından bu malzemelerin doğru modellenmesi oldukça önem taşımaktadır. Bu doğrultuda, bu bölüm içinde sürecin doğru tahmin edilerek doğru ek depo yönetimi ile modellenmesi ile güncel durumda uygulanan yöntem sonuçları kıyaslanmıştır.

Güncel yedek planlamasında, stoksuz kalmamak ve sözleşmesel şartları sağlamak amacıyla daha garantici yaklaşımlar ile belirleme yapılmaktadır. Bu kapsamda gerekli olan miktarın katları şeklinde ve onarım yapıyor olmasına karşın fazla yedek tedarik edilmektedir. Maliyet fonksiyonu ile güncel durumda tutulacak yedek miktarlarıyla ortalama maliyet değeri hesaplatılmıştır. Diğer yandan karşılaştırma amacıyla birim ve bileşik Poisson matematiksel modellerinde güncel süreç değerlemeleri için de oluşturulan dört farklı senaryo için çalıştırılarak optimal  $s^*$  ve  $S^*$  değerleri hesaplanmıştır. Güncel süreç akışı içerisinde de onarım durumu olduğu için optimal parametre değerleri birim/bileşik onarımlı simülasyonlarda çalıştırılmıştır. Birim Poisson onarımlı simülasyon süreci için yapılan çalışma sonuçları Çizelge 4.18 ‘de, bileşik Poisson onarımlı simülasyon süreci Çizelge 4. 19’da paylaşılmıştır. Simülasyon modelleri her bir senaryo için 100 replikasyon üzerinden çalıştırılmıştır. Ürünün yapısına, ihtiyaçlarına , hareketliliğine, talepleri arası geliş dağılımlarına ve onarım durumuna göre doğru modellemesinin önemini vurgulamak için ise ortalama maliyet, elde bulunan stok miktarı ve geri ısmarlanan ortalama talep miktarı üzerinden bir analiz gerçekleştirilmiştir. Simülasyon modeli hazırlanırken ek olarak çoklu taleple aynı anda gelen ürünlerin onarımlarının aynı anda gerçekleştiği ve yeni talep gelmesi durumunda talep sayısının onarım depo miktarından az ya da eşit olması durumunda tamamı onarımlı ya da tamamı sıfır depodan olacak şekilde kullanımı gerçekleştirileceği varsayılmıştır. Bileşik talep

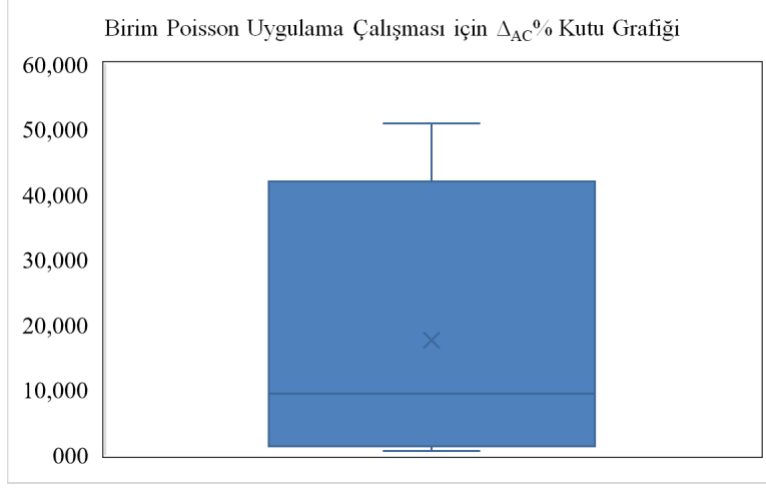
hesaplamaları için bir sistem üzerinden bulunan üç adet ürünün hep birlikte bozulup üçlü talep gelme olasılığının bir olduğu varsayımı ile kodlar çalıştırılmıştır.

Bu analiz kapsamında daha önce tanımlanmış olan Denklem (15), Denklem (16) ve Denklem (17) performans ölçütleri dikkate alınarak incelenmiştir. Denklem (15) 'te  $AC_F(s^*, S^*)$ , onarım sürecinin dahil edildiği ancak güncelde bir politika ile hesaplaması yapılmayan yedekleme süreci için elde edilen ortalama maliyet değerini göstermektedir. Benzer şekilde Denklem (16) ve Denklem (17)'de de  $E_F[SM]$  ve  $E_F[GM]$  ifadeleri ise onarım sürecinin dahil edildiği ancak güncelde bir politika ile hesaplaması yapılmayan yedekleme süreci için elde edilen ortalama stok miktarı ve geri ismarlanan ortalama talep miktarı olarak tanımlanmaktadır.

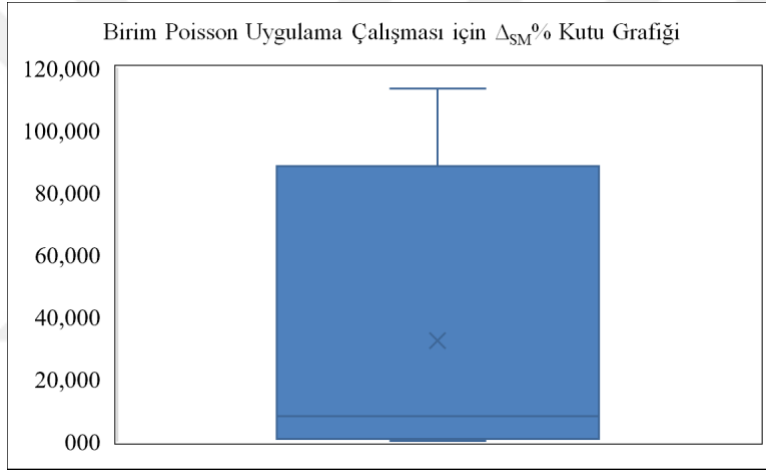
Denklem (15), Denklem (16) ve Denklem (17) ile verilen performans ölçütleri ise onarım sürecinin dahil edildiği ancak güncelde bir politika ile hesaplaması yapılmayan yedekleme süreci ile elde edilen ortalama maliyet, ortalama stok miktarı ve ortalama geri ismarlanan talep miktarları arasında bulunan oransal farklılıklara karşılık gelir. Bu farkların pozitif olması F dağılımı ile aynı politika parametresinde elde edilen maliyet ya da ortalama stok/geri ismarlanan talep miktarının daha büyük olduğu anlamına gelir. Benzer şekilde, bu performans ölçütlerinin ek müşteri deposu için çok farklı değerlere sahip olduğunu gösterir. 100 replikasyon çalıştırmış olduğumuz simülasyonların sapmalarını gözlemlemek için  $AC_{std}$  ortalama maliyetin standart sapması hesaplanmıştır.

Çizelge 4.18: Birim Poisson Uygulama Çalışması için Performans Ölçütleri

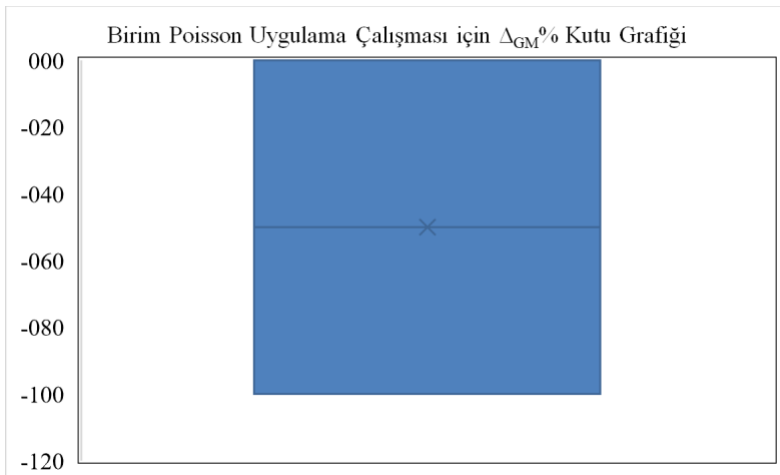
$\lambda$	L	h	b	A	$AC_F(s^*, S^*)$	$E_F[SM]$	$E_F[GM]$	$\Delta_{AC}\%$	$\Delta_{SM}\%$	$\Delta_{GM}\%$
12	0,7	1	900	1	110000,08	10000	0,00	50915,15	113342,99	-100,00
				5	22000,42	2000	0,00	15309,79	13946,13	-100,00
				20	5501,67	500	0,00	3552,59	2314,49	NA
				100	1108,33	100	0,00	553,64	201,50	NA



Şekil 4.28: Birim Poisson Uygulama Çalışması için  $\Delta_{AC}\%$  Kutu Grafiği



Şekil 4.29: Birim Poisson Uygulama Çalışması için  $\Delta_{SM}\%$  Kutu Grafiği

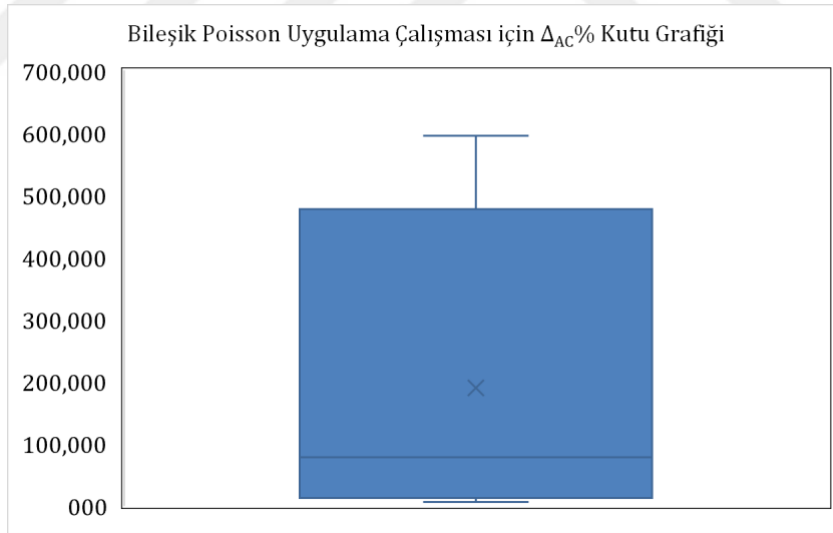


Şekil 4.30: Birim Poisson Uygulama Çalışması için  $\Delta_{GM}\%$  Kutu Grafiği

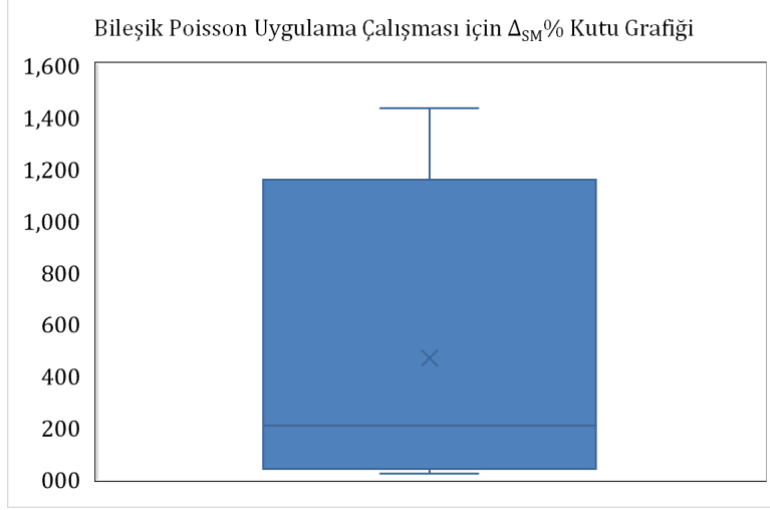
Şekil 4.28 ve Şekil 4.29 'da pozitif alanda değer almaktadır, Şekil 4.30'da ise negatif alanda kalmaktadır. Kutu grafiklerinin hiçbirinde uç nokta bulunmamaktadır. Uygulama çalışmasında beklenildiği üzere geri ısmarlamayı minimize etmekle fazla yedek tutmak ve sipariş verme maliyetinin yükselmesi ile ise bir siparişte daha fazla almak yönünde tercihler yapılmıştır. Çalıştırılan matematiksel ve simülasyon modeli ile aynı parametreler altında daha az yedek ve daha az ortalama maliyet ile sistemin idame ettirilebileceği görülmektedir. Yüzdesele oranda da çok yüksek farklar olması sebebiyle belirlenen  $(s, S)$  politikası sisteme uygulandığında verimlilik net şekilde artacağı ve karlılık, maliyet farkının net şekilde görüleceği gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.19: Bileşik Poisson Uygulama Çalışması için Performans Ölçütleri

$\lambda$	L	h	b	A	AC <sub>F</sub> (s*, S*)	E <sub>F</sub> [SM]	E <sub>F</sub> [GM]	$\Delta_{AC}\%$	$\Delta_{SM}\%$	$\Delta_{GM}\%$
12	0,7	1	900	1	81990000,08	90000	0	595043,56	1434,14	NA
				5	16398000,42	18000	0	124422,90	319,27	NA
				20	4099501,667	4500	0	32723,07	91,11	NA
				100	819908,3333	900	0	6616,32	19,88	NA



Şekil 4.31: Bileşik Poisson Uygulama Çalışması için  $\Delta_{AC}\%$  Kutu Grafiği



Şekil 4.32: Bileşik Poisson Uygulama Çalışması için  $\Delta_{SM}\%$  Kutu Grafiği

Şekil 4.31 ve Şekil 4.32 'da pozitif alanda değer almaktadır,  $\Delta_{GM}\%$  için değerle NA olduğu için kutu grafiği çizilmemiştir. Kutu grafiklerinin hiçbirinde uç nokta bulunmamaktadır. Uygulama çalışmasında beklenildiği üzere geri ısmarlamayı minimize etmekle fazla yedek tutmak ve sipariş verme maliyetinin yükselmesi ile ise bir siparişte daha fazla almak yönünde tercihler yapılmıştır. Bir kerede birim sistem üzerinde bulunan 3 adet ürünün de bozulduğu dikkate alınarak her talebin üçlü geldiği durum simüle edilmiştir. Çalıştırılan matematiksel ve simülasyon modeli ile aynı parametreler altında daha az yedek ve daha az ortalama maliyet ile sistemin idame ettirilebileceği görülmektedir. Yüzdesele oranda da çok yüksek farklar olması sebebiyle belirlenen (s, S) politikası sisteme uygulandığında verimlilik net şekilde artacağı ve karlılık, maliyet farkının net şekilde görüleceği gözlemlenmiştir.

## 5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Yapılmış olan tez çalışmasında incelenen A tipi malzeme için tanımlanmış iki problem üzerine çalışılmıştır. İlk aşamada ele alınan problemler ışığında literatür taraması yapılmış ve incelenen sisteme uygulanabilirlikleri incelenmiştir. Literatür araştırmasının sonucu olarak  $(s, S)$  stok politikası kullanılarak kısıt ve belirlenen varsayımlara uygun matematiksel model Matlab programında çalışılmıştır. Oluşturulan modelden elde edilen en iyi değerlerin duyarlılık incelemesi için farklı senaryolara özel simülasyon modelleri oluşturulmuştur.

Çalışma sonucunda ilk problemde, talepler arası dağılımın farklılaşmasının incelemesi yapılarak birim/bileşik Poisson süreçlerine göre oluşturulan matematiksel modelden elde edilen  $s^*$  ve  $S^*$  değerleri farklı dağılımlar ile simüle edilerek incelenen senaryolar için farklı sonuçlar elde edilmiştir. Birim/Bileşik Poisson için Lognormal dağılımında duyarlı çalışken; Beta dağılımı için birim Poisson'da duyarlı, bileşik Poisson'da duyarlı olmadığı sonucu elde edilmiştir. Çalışmanın ilerleyen safhalarında model tespiti yapılırken dağılımlara özel modeller oluşturulabilir ve bu modellerden elde edilen  $s^*$  ve  $S^*$  değerleri ile süreç işletilebilir. Bunun sonucunda müşteriye teslim edilen ürünün uygulanan iyileştirmelere vermiş olduğu tepki ile talepler arası geliş dağılımının değerlendirilmesi yapılması sağlanır. Sistemin dinamikliği üzerine çalışılabilir.

İkinci problemde ise süreç içerisinde kullanılan müşteri malzemesi için taleple gelen arızalı ürünün onarımının gerçekleştirilerek ek bir müşteri deposunda depolanması, yönetilmesi ve kullanılması durumları incelenmiş ve oluşturulan birim/bileşik Poisson sürecine göre gelen talep modelinden elde edilen  $s^*$  ve  $S^*$  değerleri onarım süreci simülasyon modelinde çalıştırılarak onarım sürecinin her iki modelde de duyarlı olduğu, onarım süreci için ayrı bir matematiksel modeller oluşturulması ve bu modellerin optimal değerlerinin kullanılması gerekliliği tespit edilmiştir. Çalışmanın devam seviyelerinde depolanan A tipi malzemeler kendi içlerinde onarılabilir ve onarılamaz olarak gruplandırılarak malzeme özelliğine uygun modelle çalıştırılabilir ve yönetilebilir.

Böylelikle firma onarımı yapılabilir malzemeler için fazla yedek tutma sorununu da elimine etmiş olur.

Bu sonuçlar ışığında bir uygulama çalışması ile sistemde güncel durumda oluşacak maliyet ile modeller ile oluşturulan maliyetlerin karşılaştırılması yapılmıştır. Karşılaştırma sonucunda garantici yaklaşımla ihtiyacın kat kat fazlası yedek tutulma alışkanlığı olan bir sistemde, getirilen yeni politika ile ciddi anlamda maliyet iyileştirmesi ve verimlilik çalışması ortaya konmuştur. Bu sayede doğru veri tutmanın ve analiz etmenin değeri daha net sunulmuştur.

Çalışma ile sürekli ve düzenli takibinin yapılması önem arz eden A tipi malzemeler için süreçlerde olan değişimlerin etkileri gözlemlenmiştir. Her malzeme için aynı modelin kullanılmasının yanı sıra aynı malzeme için bile parametrelerin değişiminin etkili olduğu gözlemlenmiştir. Bu bağlamda doğru modelleme yapılmasının önemi de göze çarpmaktadır.

Yapılan çalışmada da gözlemlendiği üzere literatürdeki kuralların fiziksel olarak uygulamaya alınması her zaman kolay olmamaktadır. Yapılan çalışma ile literatür bilgisi ve fiili çalışma ortamının kısıt ve şartları entegre edilmeye çalışılmıştır. Özellikle proje bazlı çalışan firmalar için bakım/onarım yedek talep tahmini gerçekleştirilmesiyle çalışma alanlarında stok optimizasyonunu sağlayarak maliyet en azlaması yapılırken sistem gereklilikleri de desteklenmiştir. Karar vericiler bu çalışmadan sonra A sınıfı malzemeleri özelinde, ilk aşamada malzemelerin onarılabilir onarılamaz durumlarını değerlendirmelidir. Çalışmada da gözlemlendiğimiz üzere onarım durumu stok kontrolünü ve maliyet değerlerini oldukça etkilemekte ve duyarlılığı dağılımların aksine daha düşük olmaktadır. Sonrasında ise malzeme bazlı olarak taleplerin geliş dağılımının doğru hesaplanması ve bu analize istinaden analitik modellemelerin oluşturulması gerekmektedir. Bu alandaki en önemli noktalardan biri de veri toplamanın değerinin gözlenmesidir. Çalışmaların verimli ve doğruluk oranı yüksek çalışması için olabildiğince doğru ve çok veri faydalı olacaktır.

Proje bazlı çalışan firmalar, sözleşmelere bağlı süreçlerini yürütürken stoksuzluk durumunda ağır cezalarla karşı karşıya kalabilirken diğer bir yandan daha da en önemlisi

müşteride memnuniyetsizlik sağlayabilir. Bu durum hem müşteri kayıplarına hem de prestij kaybına sebebiyet verebilir. Bu sebeple rakipleriyle rekabet etmekte de engeller oluşur. Bu çalışmanın sonrasında, ilerleyen zamanlarda müşteri memnuniyetinin etkilenmesinde bir performans ölçütü olarak değerlendirilebilir olup olmadığı üzerine çalışılabilir. Sistemin yapısına uygun stok politikası ve optimal değeri ile çalışmak firmanın hem müşteri memnuniyetini arttıracak hem de global anlamda rakipleriyle rekabet etmekte kolaylık sağlayacaktır.



## 6. KAYNAKLAR

- [1] Anonim, Envanter Nedir? Başarılı Envanter Yönetimi İçin İpuçları, <https://www.ticimax.com/blog/envanter-nedir-basarili-envanter-yonetimi-icin-ipuclari> (Erişim tarihi: 4 Eylül 2023)
- [2] Anonim, Envanter nedir? Doğru Envanter Yönetimi İçin İpuçları, <https://www.ideasoft.com.tr/envanter-yonetimi-nedir-dogru-envanter-yonetimi-icin-ipuclari/> (Erişim tarihi: 4 Eylül 2023)
- [3] Y. Tanrıverdi, Tedarik Zinciri ve Stok Yönetimi Üzerine Bir Uygulama, Master Tezi, Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Pamukkale, 2010.
- [4] Anonim, Stok Maliyetleri, <https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/muazzez.erken/136114/Stok%20Maliyetleri.docx> (Erişim tarihi: 4 Eylül 2023)
- [5] J.D. Croston, Forecasting and Stock Control for Intermittent Demands, *Journal of the Operational Research Society*, 23 (1972), 289-303.
- [6] C. Van Volkenburg, N. Montgomery, D. Banjevic, A. Jardine, The Effect of Deterioration on Spare Parts Holding, 2014 Reliability and Maintainability Symposium, IEEE, 2014, pp. 1-6.
- [7] Q. Hu, J.E. Boylan, H. Chen, A. Labib, OR in Spare Parts Management: A review, *European Journal of Operational Research*, 266 (2018), 395-414.
- [8] A. Labib, T. Exton, Spare Parts Decision Analysis-the Missing Link in CMMS's (Part 1), *Journal of Maintenance & Asset Management*, 16 (2001), 10-17.
- [9] T. Exton, A. Labib, Spare Parts Decision Analysis–The Missing Link in CMMSs (Part II), *Journal of Maintenance & Asset Management*, 17 (2002), 14-21.
- [10] F. Persson, N. Saccani, Managing the After Sales Logistic Network—A Simulation Study of a Spare Parts Supply Chain, *Advances in Production Management Systems: International IFIP TC5, WG 5.7 Conference on Advances in Production Management Systems (APMS 2007)*, September 17–19, Linköping, Sweden, Springer, 2007, pp. 313-320.
- [11] F. Persson, N. Saccani, Managing the After-Sales Logistic Network—a Simulation Study, *Production Planning and Control*, 20 (2009), 125-134.
- [12] A.A. Syntetos, J.E. Boylan, S.M. Disney, Forecasting for inventory planning: a 50-year review, *Journal of the Operational Research Society*, 60 (2009) 149-160.
- [13] A. Molenaers, H. Baets, L. Pintelon, G. Waeyenbergh, Criticality Classification of Spare Parts: A Case Study, *International Journal of Production Economics*, 140 (2012) 570-578.
- [14] Moore, R. Establishing an inventory management program, *Plant Engineering*, 50(3), (1996) 113-115.
- [15] Foote, B. L. On the implementation of a control-based forecasting system for aircraft spare parts procurement. *IIE transactions*, 27(2), (1995), 210-216.

- [16] Cohen, M. A., Kleindorfer, P. R., Lee, H. L., & Pyke, D. F. Multi-item service constrained (s, S) policies for spare parts logistics systems. *Naval Research Logistics (NRL)*, 39(4), (1992). 561-577.
- [17] Kennedy, W. J., Patterson, J. W., & Fredendall, L. D. An overview of recent literature on spare parts inventories. *International Journal of production economics*, 76(2), (2002). 201-215.
- [18] Muckstadt, J. A. *Analysis and algorithms for service parts supply chains*. Springer Science & Business Media. (2004).
- [19] Jalil, M. N., Zuidwijk, R. A., Fleischmann, M., & Van Nunen, J. A. Spare parts logistics and installed base information. *Journal of the operational Research Society*, 62, (2011). 442-457.
- [20] Marseguerra, M., Zio, E., & Podofillini, L. Multiobjective spare part allocation by means of genetic algorithms and Monte Carlo simulation. *Reliability engineering & system safety*, 87(3), (2005). 325-335.
- [21] A.A. Ghobbar, C.H. Friend, Sources of Intermittent Demand for Aircraft Spare Parts Within Airline Operations, *Journal of Air Transport Management*, 8 (2002) 221-231.
- [22] A.A. Ghobbar, C.H. Friend, Evaluation of Forecasting Methods for Intermittent Parts Demand in the Field of Aviation: a Predictive Model, *Computers & Operations Research*, 30 (2003) 2097-2114.
- [23] B. Ghodrati, U. Kumar, Reliability and Operating Environment-Based Spare Parts Estimation Approach: A Case Study in Kiruna Mine, Sweden, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 11 (2005) 169-184.
- [24] M.E. Ketzenberg, E. van derLaan, R.H. Teunter, Value of Information in Closed Loop Supply Chains, *Production and Operations Management*, 15 (2006) 393-406.
- [25] W. Wang, A.A. Syntetos, Spare Parts Demand: Linking Forecasting to Equipment Maintenance, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47 (2011) 1194-1209.
- [26] A. Barabadi, Reliability and Spare Parts Provisioning Considering Operational Environment: A Case Study, *International Journal of Performability Engineering*, 8 (2012) 497.
- [27] A. Barabadi, J. Barabady, T. Markeset, Application of Reliability Models with Covariates in Spare Part Prediction and Optimization—a Case Study, *Reliability Engineering & System Safety*, 123 (2014) 1-7.
- [28] K. Tracht, J. Westerholt, P. Schuh, Spare Parts Planning for Offshore Wind Turbines Subject to Restrictive Maintenance Conditions, *Procedia Cirp*, 7 (2013) 563-568.
- [29] C. Şengül, M. Gerşil, Manisa Pamuk Fiyatlarının Zaman Serisi Analizi ve Yapay Sinir Ağı Teknikleri ile Tahminlenmesi ve Tahmin Performanslarının Karşılaştırılması, *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 25 (2018) 1017-1031.
- [30] F.D. Keskin, H. Soyuer, Bir Çimento Firmasında İstatistiksel Zaman Serileri Yöntemleri ve Derin Öğrenme ile Talep Tahminleme, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (2022) 15-20.
- [31] A. Villemeur, *Sûreté de Fonctionnement des Systèmes Industriels*, Collection de la Direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France n 67, Eyrolles, 1988.

- [32] D.O.C. Patrick, D. Newton, R. Bromley, Practical Reliability Engineering, John Wiley & Sons, Incorporated, 2002.
- [33] L. Grudzien, Contribution à l'intégration de la sûreté de Fonctionnement au sein d'une démarche de Conception Multimétiers, Valenciennes, 1999.
- [34] S. Gökdeniz, Havacılık Güvenilirlik Analizi Teknikleri ve Otomotiv Tasarımlarında Kullanılabilirliği, Anadolu University (Turkey), 2007.
- [35] F. Fleurat-Lessard, Les freins à la Diversification des Productions d'oléoprotéagineux et de Céréales au Niveau des Entreprises de Collecte, Stockage et mise en Marché, OCL, 20 (2013) D406.
- [36] Anonim, RAMS, <https://grn.ams3.digitaloceanspaces.com/wp-content/uploads/2022/02/RAMS-Figures-1-1-1920x921.jpg> (Erişim tarihi: 6 Eylül 2023)
- [37] C.E. Internationale, Liste des Termes de Base, Définitions et Mathématiques Applicables à la Fiabilité, Publication 271C, Paris, 1985.
- [38] Anonim, MTBF Görsel, <https://tr.pinterest.com/pin/failure-metrics-in-depth-mtr-vs-mtbf-vs-mttf-plutora--420101471500255962/> (Erişim tarihi: 13 Şubat 2024)
- [39] Anonim, Güvenilirlik Mühendisliği Yeni Ürün veya Proses Geliştirmede En Etkili Yalın Yöntem, <https://www.donusumdanismanlik.com/guvenilirlik-muhendisligi-analizi/> (Erişim Tarihi: 6 Eylül 2023).
- [40] Anonim, Reliability Engineering 101 – Definition, Goals, Techniques, <https://limblecmms.com/blog/reliability-engineering/> (Erişim Tarihi: 6 Eylül 2023).
- [41] Anonim, MIL-HDBK-217 Reliability Prediction, [https://www.reliabilityeducation.com/intro\\_mil217.html](https://www.reliabilityeducation.com/intro_mil217.html) (Erişim Tarihi: 6 Eylül 2023).
- [42] G.D. Sherman, K.R. Owen, A. Pincombe, A. Bender, Uncertainty in Availability Generated by Inventory Management Controls in a Generic Repairable Item Sustainment System, ANZIAM Journal, 53 (2011) C539-C560.
- [43] S.E. DİNÇER, E. Emre, Havacılık Sektöründe Yedek Parça Envanter Yönetimi Problemlerine Doğrusal Programlama ile Çözüm Yaklaşımı, Journal of Life Economics, 4 (2017) 77-102.
- [44] W. Kennedy, J.W. Patterson, L.D. Fredendall, An Overview of Recent Literature on Spare Parts Inventories, International Journal of Production Economics, 76 (2002) 201-215.
- [45] J.R. do Rego, M.A. de Mesquita, Controle de Estoque de Peças de Reposição: Uma Revisão da Literatura, Production, 21 (2011) 645-655.
- [46] S. Şenses, O. GÖLBAŞI, İ.S. Bakal, Madencilikte Bir Yedek Parça Envanter Optimizasyonu Çalışması, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 28 (2022) 128-138.
- [47] Hadley, George, and Thomson M. Whitin. "Analysis of inventory systems.", (1962).