

**TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GİZLİ VE GÖRÜNÜR HATALARA MARUZ  
SİSTEMLERDE EN İYİ BAKIM  
POLİTİKASININ BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mahmut İbrahim ULUCAK**

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Dr. Salih TEKİN**

**ARALIK 2019**

Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

.....  
**Prof. Dr. Osman EROĞUL**  
Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığını onaylarım.

.....  
**Prof. Dr. Tahir HANALIOĞLU**  
Anabilimdalı Başkanı

TOBB ETÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 171311006 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Mahmut İbrahim ULUCAK** 'ın ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "**GİZLİ VE GÖRÜNÜR HATALARA MARUZ SİSTEMLERDE EN İYİ BAKIM POLİTİKASININ BELİRLENMESİ**" başlıklı tezi **10/12/2019** tarihinde aşağıda imzaları olan jüri tarafından kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı :** **Dr. Salih TEKİN** .....  
TOBB Ekonomive Teknoloji Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Doç. Dr. Babek ERDEBİLLİ (Başkan)** .....  
Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

**Dr. Kürşad DERİNKUYU** .....  
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, alıntı yapılan kaynaklara eksiksiz atıf yapıldığını, referansların tam olarak belirtildiğini ve ayrıca bu tezin TOBB ETÜ Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Mahmut İbrahim Ulucak

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### GİZLİ VE GÖRÜNÜR HATALARA MARUZ SİSTEMLERDE EN İYİ BAKIM POLİTİKASININ BELİRLENMESİ

Mahmut İbrahim Ulucak

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Dr. Salih Tekin

Aralık 2019

Sistemlerin düzgün işlerliğinin devam ettirilebilmesi için belirli periyotlarda işlevselliğinin kontrol edilmesi önem arz etmektedir. Kontrol sırasında oluşan maliyetler ve sistem arızalarında oluşan maliyetler göz önünde bulundurulduğunda kontrol periyodu belirlenmesi literatürde kendisine genişçe yer bulmaktadır. Kontrol periyotlarının çok sık olması gereksiz sabit kontrol maliyetine yol açmaktayken, az sıklıktaki kontrol periyotları muayene dışında fark edilemeyen hataların oluşturduğu maliyete neden olmaktadır. Bu duruma örnek olarak, Manyetik Rezonans(MR) gibi pahalı ve kompleks yapılı tıbbi cihazlarda hatalı çekim sonucunda ortaya çıkan insan hayatını etkileyebilecek olumsuz durumlar verilebileceği gibi, yangın alarmı gibi sadece ihtiyaç halinde çalışan normal zamanlarda hatalı olup olmadığı gözle fark edilemeyecek basit yapılı cihazlar da örnek olarak verilebilir. Yangın sırasında işlevselliği belirli periyotlarla kontrol edilmemiş ve aslında arızalı olan yangın alarmı çok büyük can ve mal kaybına yol açabilecektir. Bu çalışmada yer alan sistemde farklı olasılık yoğunluk dağılımlarına sahip iki hata tipi ele alınmaktadır. Bu hatalardan biri kaynaklarda “self-announcing” olarak geçen, sistemin işleyişini durduran ve sistemin o anda yenilenmesine yol açan “görünür hata” olarak adlandırılmış; literatürde “non-

self announcing” olarak adlandırılan diğer hata tipi ise “gizli hata” olarak tanımlanmış, sistemin hatalı çalışmasına neden olmakta ve sadece kontroller sırasında fark edilebilmektedir. Bu hata tipi sadece kontrol sırasında fark edilebildiğinden, hata oluştuktan kontrole kadar geçen sürede sistem arızalı olarak çalışmaktadır. Literatürde "Down-time cost" olarak adlandırılan bu arızalı çalışma maliyeti, geliştireceğimiz matematiksel modeldeki önemli parametrelerimizden biri olacaktır.

Bu çalışmada kontrol periyodu uzunluğunu( $\tau$ ) belirlemek temel amaçtır. Bunun yanında, sistem belirli bir süre hatasız olarak çalıştıktan sonra, hata yapma ihtimali giderek yükseldiğinden, karar verici, muayene yapmak yerine sistemi yenileyip muhtemel arıza durumlarından ve oluşabilecek maliyetlerden kaçınmak için sistemi yenilemek isteyebilir. Herhangi bir hata oluşmadan literatürde “preventive system replacement” olarak adlandırılan, önleyici sistem yenilemenin hangi periyotta ( $n$ ) yapılacağıın belirlenmesi de bu çalışmada ele alınan diğer temel parametredir. Parametre optimizasyonu olarak da adlandırabileceğimiz bu problemde, literatürde sıkça kendine yer bulan, olasılık yoğunluk fonksiyon parametrelerinin değışiminin kontrol periyoduna etkisinin yanısıra; kontrol ve yenileme maliyetlerinin değışiminin, periyoda ve önleyici sistem yenileme zamanına etkisinin bulunmasına ve sistem güvenilirlik seviyesi kısıtının gevşetilmesinin ne gibi sonuçlar doğuracağına odaklanılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Parametre optimizasyonu, Maliyet minimizasyonu, Bakım politikası, Sistem yenileme

## **ABSTRACT**

Master of Science

### **DETERMINING THE BEST MAINTENANCE POLICY IN SYSTEMS EXPOSED TO SELF ANNOUNCING AND NON-SELF ANNOUNCING FAILURES**

Mahmut İbrahim Ulucak

TOBB University of Economics and Technology  
Institute of Natural and Applied Sciences  
Industrial Engineering Science Programme

Supervisor: Dr. Salih Tekin

December 2019

In order to maintain the proper functioning of the systems, it is important to check the functionality of the systems in certain periods. When the costs incurred during the control and the costs incurred in system failures are taken into consideration, the determination of the control period is widely available in the literature. Too frequent control periods lead to unnecessary constant control costs, while less frequent control periods result in the cost of undetectable errors other than inspection. For example, in expensive and complex medical devices such as Magnetic Resonance (MR), negative situations that may affect human life as a result of faulty imaging; or simple structured devices such as fire alarm which cannot be detected any failure in normal time. It can be only noticed when it is needed. During the fire, the fire alarm, whose functionality is not checked periodically and which is actually faulty, can cause a huge loss of life and property. In this study, two error types with different probability density distributions are discussed. One of these errors is called “self-announcing failures” or “revealed failures” stops the operation of the system and causes the system to be renewed at that time; The other type of error, which is called “non-self announcing failure” or defined as “hidden failures” or “unrevealed failure” causing the system to malfunction and can only be noticed during the controls. Since this type of error can only be detected during the control, the system runs improperly from fault to control.

This defective operating cost, which is called "down-time cost" in the literature, will be one of the important parameters in the mathematical model we will develop.

The main purpose of this study is to determine the control period ( $\tau$ ). In addition, after the system has been running without error for a certain period of time, as the probability of error is gradually increasing, the decision maker may want to renew the system instead of performing an inspection and renew the system to avoid possible malfunctions and costs. The determination of the period ( $n$ ) of preventive system replacement before any error occurs, is another fundamental parameter discussed in this study. In this problem, which can be called as parameter optimization, besides the effect of the change of probability density function parameters on control period which is frequently found in literature; effects of changing inspection and system renewal costs on control period and effects of loosening reliability level constraint on control periods and expected average cost per unit time are also focused.

**Keywords:** Parameter optimization, Cost minimization, Maintenance policy, System renewal

## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danıőman hocam Salih Tekin'e, kıymetli tecrübelerinden faydalandığım TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine ve destekleriyle her zaman yanımda olan aileme ve arkadaşlarıma çok teşekkür ederim. TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi'ne burs sağladığı için ayrıca teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>TEZ BİLDİRİMİ</b> .....	iii
<b>ÖZET</b> .....	iv
<b>ABSTRACT</b> .....	vi
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	viii
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	ix
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	x
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	xii
<b>SEMBOL LİSTESİ</b> .....	xiii
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. GÜVENİLİRLİK VE YENİLEME SÜREÇLERİ</b> .....	9
<b>3. PROBLEMİN TANIMI</b> .....	13
<b>4. ÇÖZÜM YÖNTEMİ</b> .....	17
4.1 Önleyici Yenileme.....	17
4.2 Gizli Hata Sonucu Yenileme.....	18
4.3 Görünür Hata Sonucu Yenileme.....	20
4.4 Birim Zaman İçin Ortalama Maliyet.....	22
<b>5. ÖRNEK SİSTEMLER ÜZERİNDE SAYISAL ÇÖZÜMLER</b> .....	25
5.1 Hata Dağılımının Sabit Olduğu Durumda Maliyetin Bakım Politikasına Etkisi.....	28
5.1.1 Hata sıklıklarının birbirine yakın olduğu durum.....	29
5.1.2 Görünür hata olasılığının gizli hata olasılığından çok yüksek olduğu durum.....	33
5.1.3 Gizli hata olasılığının görünür hata olasılığından çok yüksek olduğu durum.....	38
5.2 Maliyetlerin Sabit Olduğu Durumda Dağılımların Bakım Politikasına Etkisi.....	42
5.2.1 Arızalı çalışma maliyetinin çok yüksek olduğu durum.....	43
5.2.2 Kontrol maliyetinin çok yüksek olduğu durum.....	47
5.2.3 Yenileme maliyetinin çok yüksek olduğu durum.....	51
5.3 Sistem Yenilenirken Güvenilirlik Değeri Hedeflemesinin Bakım Politikasına Etkisi.....	55
5.3.1 Arızalı çalışma maliyeti çok yüksekken güvenilirlik etkisi.....	55
5.3.2 Kontrol maliyeti, yenileme maliyetine yakınsa güvenilirlik etkisi.....	60
5.3.3 Yenileme maliyetleri diğer maliyetlerden çok yüksekken güvenilirlik etkisi.....	64
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER</b> .....	69
<b>KAYNAKLAR</b> .....	71
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	73

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1 : Yenileme Stratejileri.....	9
Şekil 4.1 : Önleyici yenileme senaryosunun yaşam döngüsü.....	15
Şekil 4.2 : Gizli hata sonucu yenileme senaryosunun yaşam döngüsü.....	17
Şekil 4.3 : Görünür hata sonucu sistem yenileme senaryosunun yaşam döngüsü.....	19
Şekil 5.1 : %90 güvenilirlik seviyesi kısıtı altında elde edilen $C(n, \tau)$ değerleri.....	26
Şekil 5.2 : $\Lambda=(0,3;0,4)$ ve $C_T = (10, 150, 200, 4000)$ için en iyi $C(n, \tau)$ değerleri.....	27
Şekil 5.3 : $\Lambda=(0,3;0,4)$ ve $C_T = (100, 150, 200, 4000)$ için en iyi $C(n, \tau)$ değerleri.....	28
Şekil 5.4 : $\Lambda=(0,3;0,4)$ ve $C_T = (100, 150, 200, 10)$ için en iyi $C(n, \tau)$ değerleri.....	29
Şekil 5.5 : $\Lambda=(0,3;0,4)$ ve $C_T = (10, 150, 200, 10)$ için en iyi $C(n, \tau)$ değerleri.....	30
Şekil 5.6 : $\Lambda=(0,9;0,1)$ ve $C_T = (10, 150, 200, 4000)$ için en iyi $C(n, \tau)$ değerleri.....	32
Şekil 5.7 : $\Lambda=(0,9;0,1)$ ve $C_T = (100, 150, 200, 4000)$ için en iyi $C(n, \tau)$ değerleri.....	33
Şekil 5.8 : $\Lambda=(0,9;0,1)$ ve $C_T = (100, 150, 200, 10)$ için en iyi $C(n, \tau)$ değerleri.....	34
Şekil 5.9 : $\Lambda=(0,9;0,1)$ ve $C_T = (10, 150, 200, 10)$ için en iyi $C(n, \tau)$ değerleri.....	35
Şekil 5.10 : $\Lambda=(0,1;0,9)$ ve $C_T = (10, 150, 200, 4000)$ için en iyi $C(n, \tau)$ değerleri.....	36
Şekil 5.11 : $\Lambda=(0,1;0,9)$ ve $C_T = (100, 150, 200, 4000)$ için en iyi $C(n, \tau)$ değerleri.....	38
Şekil 5.12 : $\Lambda=(0,1;0,9)$ ve $C_T = (100, 150, 200, 10)$ için en iyi $C(n, \tau)$ değerleri.....	39
Şekil 5.13 : $\Lambda=(0,1;0,9)$ ve $C_T = (10, 150, 200, 10)$ için en iyi $C(n, \tau)$ değerleri.....	40
Şekil 5.14 : $\lambda_1$ ve $\lambda_2$ değerleri 0'dan 1'e kadar arttığında $C(n, \tau)$ ve $(n, \tau)$ değerleri.....	42
Şekil 5.15 : $\lambda_1$ ve $\lambda_2$ değerleri 0'dan 1'e kadar arttığında "n" ve "τ" değerleri.....	43
Şekil 5.16 : $\lambda_1$ sabitken $\lambda_2$ değeri 0'dan 0,5'e kadar arttığında $C(n, \tau)$ ve $(n, \tau)$ değerleri.....	44
Şekil 5.17 : $\lambda_1$ sabitken $\lambda_2$ değeri 0'dan 0,5'e kadar arttığında "n" ve "τ" değerleri.....	45
Şekil 5.18 : $\lambda_2$ sabitken $\lambda_1$ değeri 0'dan 0,5'e kadar arttığında $C(n, \tau)$ ve $(n, \tau)$ değerleri.....	46
Şekil 5.19 : $\lambda_2$ sabitken $\lambda_1$ değeri 0'dan 0,5'e kadar arttığında "n" ve "τ" değerleri.....	46
Şekil 5.20 : $\lambda_1$ ve $\lambda_2$ değerleri 0'dan 0,5'e kadar arttığında $C(n, \tau)$ ve $(n, \tau)$ değerleri.....	47
Şekil 5.21 : $\lambda_1$ ve $\lambda_2$ değerleri 0'dan 0,5'e kadar arttığında "n" ve "τ" değerleri.....	48
Şekil 5.22 : $\lambda_1$ sabitken $\lambda_2$ değeri 0'dan 0,5'e kadar arttığında $C(n, \tau)$ ve $(n, \tau)$ değerleri.....	49
Şekil 5.23 : $\lambda_1$ sabitken $\lambda_2$ değeri 0'dan 0,5'e kadar arttığında "n" ve "τ" değerleri.....	49
Şekil 5.24 : $\lambda_2$ sabitken $\lambda_1$ değeri 0'dan 0,5'e kadar arttığında $C(n, \tau)$ ve $(n, \tau)$ değerleri.....	50
Şekil 5.25 : $\lambda_2$ sabitken $\lambda_1$ değeri 0'dan 0,5'e kadar arttığında "n" ve "τ" değerleri.....	50
Şekil 5.26 : $\lambda_1$ ve $\lambda_2$ değerleri 0'dan 0,5'e kadar arttığında $C(n, \tau)$ ve $(n, \tau)$ değerleri.....	52
Şekil 5.27 : $\lambda_1$ ve $\lambda_2$ değerleri 0'dan 0,5'e kadar arttığında "n" ve "τ" değerleri.....	52

Şekil 5.28 : $\lambda_1$ sabitken $\lambda_2$ değeri 0'dan 0,5'e kadar arttığında $C(n, \tau)$ ve $(n, \tau)$ değerleri.....	53
Şekil 5.29 : $\lambda_1$ sabitken $\lambda_2$ değeri 0'dan 0,5'e kadar arttığında "n" ve "τ" değerleri.....	53
Şekil 5.30 : $\lambda_2$ sabitken $\lambda_1$ değeri 0'dan 0,5'e kadar arttığında $C(n, \tau)$ ve $(n, \tau)$ değerleri.....	54
Şekil 5.31 : $\lambda_2$ sabitken $\lambda_1$ değeri 0'dan 0,5'e kadar arttığında "n" ve "τ" değerleri.....	54
Şekil 5.32 : Hata sıklıkları birbirine yakınken güvenilirlik değeri %50'ye kadar düşürüldüğünde n ve $\tau$ değerleri.....	56
Şekil 5.33 : Hata sıklıkları birbirine yakınken güvenilirlik değeri %50'ye kadar düşürüldüğünde $C(n, \tau)$ ve $(n, \tau)$ değerleri.....	56
Şekil 5.34 : Görünür hata sıklığı yüksekken güvenilirlik değeri %70'e kadar düşürüldüğünde n ve $\tau$ değerleri.....	57
Şekil 5.35 : Görünür hata sıklığı yüksekken güvenilirlik değeri %70'e kadar düşürüldüğünde $C(n, \tau)$ ve $(n, \tau)$ değerleri.....	58
Şekil 5.36 : Gizli hata sıklığı yüksekken güvenilirlik değeri %50'ye kadar düşürüldüğünde n ve $\tau$ değerleri.....	59
Şekil 5.37 : Gizli hata sıklığı yüksekken güvenilirlik değeri %50'ye kadar düşürüldüğünde $C(n, \tau)$ ve $(n, \tau)$ değerleri.....	59
Şekil 5.38 : Hata sıklıkları birbirine yakınken güvenilirlik değeri %75'e kadar düşürüldüğünde n ve $\tau$ değerleri.....	61
Şekil 5.39 : Görünür hata sıklığı yüksekken güvenilirlik değeri %75'e kadar düşürüldüğünde n ve $\tau$ değerleri.....	61
Şekil 5.40 : Gizli hata sıklığı yüksekken güvenilirlik değeri %75'e kadar düşürüldüğünde n ve $\tau$ değerleri.....	61
Şekil 5.41 : Hata sıklıkları birbirine yakınken güvenilirlik değeri %75'e kadar düşürüldüğünde $C(n, \tau)$ ve $(n, \tau)$ değerleri.....	62
Şekil 5.42 : Görünür hata sıklığı yüksekken güvenilirlik değeri %75'e kadar düşürüldüğünde $C(n, \tau)$ ve $(n, \tau)$ değerleri.....	63
Şekil 5.43 : Gizli hata sıklığı yüksekken güvenilirlik değeri %75'e kadar düşürüldüğünde $C(n, \tau)$ ve $(n, \tau)$ değerleri.....	63
Şekil 5.44 : Hata sıklıkları birbirine yakınken güvenilirlik değeri %75'e kadar düşürüldüğünde n ve $\tau$ değerleri.....	65
Şekil 5.45 : Görünür hata sıklığı yüksekken güvenilirlik değeri %75'e kadar düşürüldüğünde n ve $\tau$ değerleri.....	65
Şekil 5.46 : Gizli hata sıklığı yüksekken güvenilirlik değeri %75'e kadar düşürüldüğünde n ve $\tau$ değerleri.....	66
Şekil 5.47 : Hata sıklıkları birbirine yakınken güvenilirlik değeri %75'e kadar düşürüldüğünde $C(n, \tau)$ ve $(n, \tau)$ değerleri.....	67
Şekil 5.48 : Görünür hata sıklığı yüksekken güvenilirlik değeri %75'e kadar düşürüldüğünde $C(n, \tau)$ ve $(n, \tau)$ değerleri.....	67
Şekil 5.49 : Gizli hata sıklığı yüksekken güvenilirlik değeri %75'e kadar düşürüldüğünde $C(n, \tau)$ ve $(n, \tau)$ değerleri.....	68

## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 1.1: Literatürle Tez Çalışması Arasındaki Benzerlik ve Farklar.....	6
Çizelge 5.1: $\Lambda=(0,3;0,4)$ ve $(C_I, C_P, C_R, C_D) = (100, 150, 200, 10)$ için $C(n,\tau)$ değerleri.....	23
Çizelge 5.2: $\Lambda=(0,3;0,4)$ ve $C_T = (100, 150, 200, 10)$ Probleminde Sistemin Karşılaştığı En Küçük Güvenilirlik Değerleri.....	24
Çizelge 5.3: $\Lambda=(0,3;0,4)$ ve $C_T=(10, 150, 200, 4000)$ için en iyi $C(n,\tau)$ değerleri....	27
Çizelge 5.4: $\Lambda=(0,3;0,4)$ ve $C_T = (100, 150, 200, 4000)$ için en iyi $C(n,\tau)$ değerleri.....	28
Çizelge 5.5: $\Lambda=(0,3;0,4)$ ve $C_T=(100, 150, 200, 10)$ için en iyi $C(n,\tau)$ değerleri.....	29
Çizelge 5.6: $\Lambda=(0,3;0,4)$ ve $C_T = (10, 150, 200, 10)$ için en iyi $C(n,\tau)$ değerleri.....	30
Çizelge 5.7: $F_1 \sim Gamma(2; 0,3)$ ve $F_2 \sim Gamma(2; 0,4)$ Dağılımında Maliyet Değişiminin Karar Parametreleri ve Minimum $C(n, \tau)$ Değerine Etkisi.....	31
Çizelge 5.8: $\Lambda=(0,9;0,1)$ ve $C_T = (10, 150, 200, 4000)$ için en iyi $C(n,\tau)$ değerleri....	32
Çizelge 5.9: $\Lambda=(0,9;0,1)$ ve $C_T = (100, 150, 200, 4000)$ için en iyi $C(n,\tau)$ değerleri.....	33
Çizelge 5.10: $\Lambda=(0,9;0,1)$ ve $C_T = (100, 150, 200, 10)$ için en iyi $C(n,\tau)$ değerleri.....	34
Çizelge 5.11: $\Lambda=(0,9;0,1)$ ve $C_T = (10, 150, 200, 10)$ için en iyi $C(n,\tau)$ değerleri.....	35
Çizelge 5.12: $F_1 \sim Gamma(2; 0,9)$ ve $F_2 \sim Gamma(2; 0,1)$ Dağılımında Maliyet Değişiminin Karar Parametreleri ve Minimum $C(n, \tau)$ Değerine Etkisi.....	36
Çizelge 5.13: $\Lambda=(0,1;0,9)$ ve $C_T = (10, 150, 200, 4000)$ için en iyi $C(n,\tau)$ değerleri.....	37
Çizelge 5.14: $\Lambda=(0,1;0,9)$ $C_T = (100, 150, 200, 4000)$ için en iyi $C(n,\tau)$ değerleri.....	38
Çizelge 5.15: $\Lambda=(0,1;0,9)$ $C_T = (100, 150, 200, 10)$ için en iyi $C(n,\tau)$ değerleri.....	39
Çizelge 5.16: $\Lambda=(0,1;0,9)$ $C_T = (10, 150, 200, 10)$ için en iyi $C(n,\tau)$ değerleri.....	40
Çizelge 5.17: $F_1 \sim Gamma(2; 0,9)$ ve $F_2 \sim Gamma(2; 0,1)$ Dağılımında Maliyet Değişiminin Karar Parametreleri ve Minimum $C(n, \tau)$ Değerine Etkisi.....	40
Çizelge 5.18: 2 ve 3 Periyotlu Sistemdeki En İyi Politikaların Karşılaştırılması.....	43
Çizelge 5.19: $\lambda_1$ ve $\lambda_2$ 'nin sabit ve değişken olduğu durumlarda elde edilen sonuçlar.....	51
Çizelge 5.20: Hata Sıklıkları Birbirine Yakınken Güvenilirlik Değeri Azaltıldığında Oluşan $C(n,\tau)$ değerleri ve Yüzdesel Değişimler.....	57
Çizelge 5.21: Görünür Hata Sıklığı Yüksekken Güvenilirlik Değeri Azaltıldığında Oluşan $C(n,\tau)$ değerleri ve Yüzdesel Değişimler.....	58
Çizelge 5.22: Gizli Hata Sıklığı Yüksekken Güvenilirlik Değeri Azaltıldığında Oluşan $C(n,\tau)$ değerleri ve Yüzdesel Değişimler.....	60
Çizelge 5.23: Tüm Hata Kombinasyonları İçin Hedeflenen Güvenilirlik Değeri ile "n" ve "τ" Değişimi.....	62
Çizelge 5.24: Tüm Hata Kombinasyonları İçin Hedeflenen Güvenilirlik Değeri ile "Min $C(n,\tau)$ " ve "n*τ" Değişimi.....	64
Çizelge 5.25: Tüm Hata Kombinasyonları İçin Hedeflenen Güvenilirlik Değeri ile "n" ve "τ" Değişimi.....	66
Çizelge 5.26: Tüm Hata Kombinasyonları İçin Hedeflenen Güvenilirlik Değeri ile "Min $C(n,\tau)$ " ve "n*τ" Değişimi.....	68

## SEMBOL LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış olan simgeler açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
$C(n,\tau)$	Birim Zamanda Oluşan Ortalama Maliyet
$C_i$	$i$ senaryosu gerçekleşince oluşacak maliyet $\forall i = 1,2, \dots n$
$C_D$	Arızalı Çalışma Maliyeti
$C_I$	Periyodik Kontrol Maliyeti
$C_P$	Önleyici Yenileme Maliyeti
$C_R$	Hata Sonucu Yenileme Maliyeti
$C_T$	$(C_I, C_P, C_R, C_D)$ Parametre Dörtlüsü
$f_i$	Olasılık Fonksiyonu
$F_i$	Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu
$L_i$	$i$ senaryosu gerçekleştiğindeki döngü uzunluğu $\forall i=1,2,\dots n$
$n$	Sistemin Tüm Ömrü Boyunca Kontrol Edildiği Periyot Sayısı
$P_i$	$i$ senaryosunun gerçekleşme ihtimali $\forall i=1,2,\dots n$
$R(t)$	$t$ anındaki güvenilirlik değeri
$R_S$	Sistem Güvenilirliği
$T$	Periyot Numarası
$T_n$	Son Periyot
$\Lambda$	Görünür ve Gizli Hataların Ölçek Parametreleri İkili ( $\lambda_1; \lambda_2$ )
$\tau$	İki Kontrol Periyodu Arası Uzunluk



## 1. GİRİŞ

Sistemlerin etkinliği iki temel özelliğe dayalıdır. Birincisi sistem tasarımının kalitesi ikincisi ise uygun bakım aktiviteleridir. Ekonomik açıdan optimum olan planlı bakım politikalarının seçimi, güvenilirlik teorisinde baskın bir yaklaşım oluşturmaktadır.

Bakım politikalarının temelinde ne kadarlık periyotlarla kontrolün yapılması gerektiği sorusu vardır. Çok sık kontrol yapmak ekstra maliyetlere yol açabileceği gibi kontrol periyotlarının uzunluğu sistem arızalarına önlem alınamamasına ve kontrol maliyetlerinden daha büyük maliyetlerle karşılaşılmasına yol açmaktadır. Sistemin ne sıklıkla kontrolü yapılacağı kadar önemli bir diğer husus da sistemin hangi durumlarda yenileneceğine karar verilmesidir. Sistem arızalandıktan sonra kısmen veya tamamen yenilenir. Yeni ömrüne başlar sonra tekrar arızalanır ve bu şekilde devam eder. Sistemler hata gözlendikten sonra yenilenebileceği gibi, hata gözleme ihtimaline karşı herhangi bir sorun olmadan da yenilenebilir. Her bir sistem yenilemesi literatürde “Renewal Cycle” olarak adlandırılan “Yenileme Süreçlerini” oluşturmaktadır. Pintelon ve Puyvelde[1], uzun dönemli stokastik yenileme süreçlerinin bir yenileme döngüsünün davranışı incelenerek de çalışılabileceğini anlatmaktadır ve en tipik örneğinin bakım yönetiminde parça yenilemesi olduğunu söylemektedir. Bu tez kapsamında da tüm yenileme çeşitlerinin oluşturduğu döngüler incelenerek uzun dönemli bir bakım ve yenileme politikası geliştirilmeye çalışılacaktır.

Bakım politikaları ile uğraşırken hatanın karakteristikleri çok önemli bir rol oynamaktadır. En önemli karakteristik hatanın gözlemlenebilirliğidir. Hata eğer oluştuğu anda farkedilebiliyorsa buna literatürde “self announcing failures” veya “revealed failures” denmekte bu tezde “Görünür Hata” olarak incelenmektedir. Hata, bu durumun aksine, oluştuğunda farkedilemiyor yalnızca kontroller sırasında tespit edilebiliyorsa literatürde “non-self announcing failures” veya “unrevealed failures” olarak adlandırılmakta bu tezde “Gizli Hata” olarak ele alınmaktadır. Bu hata tipi genelde depolanan, hazırda bekleyen veya güvenlik için kullanılan ürünlerde(yangın söndürme tüpü, güvenlik alarmı vs) olabileceği gibi, sistem çıktılarında çıplak gözle anlaşılacak hataların oluşabileceği tıbbi cihazlarda da gözlenebilmektedir.

Örneğin MR cihazından çıktı alabiliyor olmamız sistemin düzgün çalıştığını göstermez. Cihazın hatalı çekimler yapması yanlış teşhis konmasına dolayısıyla yanlış tedaviler uygulanmasına neden olup insan sağlığını etkileyen sonuçlar ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Bu gibi sorunları giderebilmek için uygun bakım politikasının uygulanması önem arz etmektedir.

Literatürdeki ilk bakım politikası belirleme problemleri 1963 yılına(E.Barlow vd.[2]) dayanır. Bu çalışmada incelenen sistemin gizli hataya maruz kaldığı ve sadece muayene ile farkedilebileceğinden bahsedilmiştir. Herhangi bir yenileme maliyetinin hesaba katılmadığı bu çalışmada sadece periyodik muayene maliyeti ve hata fakedilene kadar geçen sürede oluşan maliyet ele alınmıştır.

Literatürde, tek başına “self-announcing failure”, “revealed failure” veya “hard failure” olarak geçen “görünür hata” konusunda çalışmalar çok fazla olmayıp genelde gizli hata üzerine çalışmalar yapılmış veya iki hata tipi beraber incelenmiştir. V.Makis[3] “görünür hata” olarak kabul edilebilecek hataya maruz sistemde birim süredeki minimum maliyeti en azlayacak yenileme stratejisi üzerinde çalışmıştır. W.Wang[4], görünür hatanın olduğu sistem üzerinde çalışmış, birim zamanda meydana gelecek beklenen maliyeti en azlayacak bakım politikasını geliştirmeyi hedeflemiştir.

H. Cha vd.[5] görünür hatalarla ilgili yaptıkları çalışmada hata dağılımını üstel kabul etmişler ve ortalama hata çıkma süresi ile hayatta kalma ihtimalinin ilişkisini analiz etmişlerdir.

Literatürde gizli hatalar üzerine yapılan çalışmalar geniş yer bulmaktadır. Chelbi ve Ait-Kadi[6] gizli hataya maruz kalan sistemlerdeki en iyi bakım stratejisini bulmak amacıyla yaptığı çalışmada sistemi hata oluştuğunda veya bakım sırasında gizli hata bulunduğunda yenilemek üzerine bir strateji geliştirmiştir. Bu çalışmada, “Yenileme Teorisi”nden yola çıkarak, bakım stratejisini birim zamandaki maliyeti en azlayacak şekilde belirleyen Chelbi ve Ait-Kadi, sistemin artan arızalanma sıklığına sahip olduğunu kabul etmiş örnek olarak verdiği sistemde normal dağılımdan faydalanmıştır. Kontrol maliyeti, hata sonrası yenileme maliyeti, önleyici yenileme maliyeti ve atıl kalma maliyetlerinin hesaba katıldığı sistemde, kontrol periyotları sabit kabul edilmemiş, hata çıkıp çıkmamasına göre bir sonraki kontrol için geçecek süre



belirlenmiştir. Verilen örnek sonucunda da sistemin artan arızalanma sıklığına sahip olduğu için periyot sürelerinin gittikçe kısaldığı gösterilmiştir.

Zheng vd.[7] sabit periyotlar yerine daha gerçekçi olarak düşündüğü değişken ve giderek kısalan periyotlarla test stratejisi üzerine çalıştığı makalesinde maliyet en iyilemesini hedeflemiş, kısıt olarak da güvenilirlik değerlerini ele almıştır. Üstel dağılıma sahip hata fonksiyonlu bir nükleer tesis üzerinden örneklendirilen çalışmada belirli bir güvenilirlik değerinin altına düşüldüğünde sistem yenilemesi gerçekleştirilmektedir. Hata gerçekleşmeden sistem yenilemesi yapma hususu düşünülen bu çalışma, bizim tezimizle benzer bir kısıtı dikkate almaktadır. Chelbi ve Ait-Kadi'nin çalışmasıyla benzer olarak bu çalışmada da test(kontrol) periyotları giderek kısalmaktadır.

Bedia vd.[8], sadece gizli hatalara maruz kalan sistemler üzerinde çalıştığı makalesini, diğer çalışmalardan ayıran en önemli özellik muayenelerin hatalı olabileceği ihtimalinin hesaba katılmış olmasıdır. Hatasız sisteme hatalı deme veya hatalı sisteme hatasız deme ihtimalleri göz önünde bulundurulmuştur. “Ödüllü Yenileme Süreci Teorisi”nden yola çıkılarak yapılan bu çalışmada amaç, sistemin birim zamanda oluşan maliyeti en iyileyecek kontrol periyodu uzunluğunun bulunmasıdır. Hata dağılımının üstel dağılım olarak kabul edildiği bu çalışmada periyot uzunluğu hesaplandıktan sonra, maliyet tiplerinin(yenileme maliyeti, hatalı muayene maliyetleri) değişiminin, periyot uzunluğunu nasıl etkilediği gösterilmiştir.

G.Klutke vd.[9] de gizli hataya maruz sistemlerde, çalışmaya uygunluk süresini en çoklamaya çalışan bakım politikası geliştirmek üzerine çalışmıştır. Hesaplamalar sırasında hatanın üstel dağılıma sahip olduğu ve kontrollerin sabit periyotlarla yapıldığı belirtilmiştir.

L.Yang[10], tipi “gizli hata” olan iki hataya maruz kalan sistemi incelediği makalesinde hata dağılımlarını üstel kabul etmiştir. Hata tespit edildiği zamanlarda yenilemenin yapılacağı bakım stratejisinde periyot aralıkları sabittir. Güvenilirlik kısıtının da dikkate alındığı bu çalışmada amaç birim zamanda oluşacak beklenen maliyetin en azlanmasıdır.

Bizim çalışmamızla benzer olarak hem gizli hataya hem görünür hataya maruz kalan sistemler üzerine literatürde bir çok örnek vardır. Bedia vd.[11], görünür ve gizli

hatalara maruz sistemler üzerinde çalıştığı diğer makalesinde, sistemin güvenilirlik özelliklerine bağlı olarak elde ettiği sonuçları sunmuştur. Bu çalışmada artan arızalanma sıklığına sahip kabul edilen sistem için maliyeti en iyileyecek periyot uzunlukları bulunmuş ve bu periyotlar sabit kabul edilmiştir. Artan arızalanma sıklığına sahip sistem için örnek olarak Gamma ve Weibull dağılımları üzerinde çalışılmış fakat iki hata tipi için tek dağılım kabul edilmiştir.

Chelbi vd.[12], Bedia vd.'nin ispatlarını ve örnek sistemini baz aldığı çalışmasında sistemin atıl olduğu zamanları yani gizli hatanın olduğu ve kontrol yapılanaya kadar geçen süreyi en azlamaya, dolayısıyla sistemin düzgün işlerliğini en çoklayacak bakım politikasını geliştirmeyi hedeflemiştir. Bedia gibi görünür ve gizli hatalara maruz sistemin ele alındığı, hatalı muayenelerin olabildiği bu çalışmada tek hata dağılımı olduğu kabul edilmiş ve Weibull dağılımı kullanılmıştır.

V. Babishin[13], gizli ve görünür hataya maruz sistemlerde birim zamanda oluşan bakım maliyetini en azlamaya çalıştığı makalesinde, dağılımların Poisson sürecini takip ettiğini belirtmiş, sabit aralıklarla yapılacak muayenelerle yenileme veya onarım işlemlerinin yapılacağı bir strateji geliştirmiştir. Herhangi bir hassasiyet analizinin yapılmadığı çalışmada, yenileme teorisinden yararlanarak, döngü maliyetleri hesaplanmıştır.

X.Ma vd.[14], literatürdeki diğer çalışmaların aksine hata tiplerini farklı dağılımlar altında kabul etmiş ve verdiği örnekte Weibull dağılımını kullanmıştır. Birim zamanda meydana gelen maliyetin en azlandığı bu çalışmada diğer çalışmalarda olduğu gibi sadece periyot uzunluğu değil aynı zamanda hata olmaksızın önleyici yenilemenin hangi muayene sonrasında yapılacağı da bulunmaya çalışılmıştır.

S.Seyedhosseini vd.[15] görünür hataya maruz kalan bir komponent ve gizli hataya maruz kalan başka bir komponentten oluşan sistemi incelediği çalışmasını, literatürdeki sonsuz zaman aralığı için yapılan çalışmalardan farklı olarak, sınırlı süreli zaman aralığı için yapmıştır. Toplam maliyeti en azlamayı hedefleyen çalışma en iyi periyot uzunluğunu bulmaya çalışmıştır. İki farklı komponent için iki farklı Weibull dağılımı ile yapılan bu çalışma ile bizim makalemiz, artan arızalanma sıklığına sahip farklı dağılım fonksiyonları ile çalışma yönünden benzeşmektedir. Ayrıca yapılan bu çalışmada, maliyet parametrelerinin değişiminin sonuca etkisini bulma amacıyla

yapılan hassasiyet analizi sonucunda bizim elde ettiğimiz sonuçlarla benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Dağılım fonksiyonlarının parametre değişiminin sonuca etkisi üzerine hassasiyet analizi yapılmayan bu çalışmada Bedia'nın sunduğu hatalı muayene ihtimallerinin hesaba katılması bu çalışmayla bizim tezimiz arasında göze çarpan farklılıklardır.

Güvenilirlik teorisi tarafından ele alınan bir başka husus olan ömrün olasılıksal olarak modellenmesi ile hangi dağılım fonksiyonunun, sistemin rastgele yaşam süresini tanımlamak için uygun olduğu belirlenmektedir. Güvenilirlik teorisi tarafından tanıtılan ve ömür boyu modellemede önemli rol oynayan, literatürde “failure rate” veya “hazard rate” denen hata sıklığı kavramı, hatanın diğer önemli karakteristiği olarak söylenebilir. Güvenilirlik hesapları yapılırken genellikle hata sıklığı sabit( $\lambda$ ) alınır ve üstel dağılıma sahip olduğu kabul edilir. Üstel dağılımın unutkanlık özelliğinden yola çıkarak söylenebilir ki bu dağılım “no aging” yani yaşlanmasız sistemleri yansıtmaktadır. Örneğin 10000 saattir çalışan ampul ile 10 dakikadır çalışan ampulün patlama ihtimali aynıdır. Fakat gerçek örnekler bakacak olursak sistemler genellikle giderek yaşlanır ve hata yapma ihtimali artar. Güvenilirlik teorisi için özellikle de bakım politikaları için çok önemli bir konu olan “aging” yani yaşlanma, kullanım zamanının bir fonksiyonu olarak arıza riskinin artması anlamına gelir(I.Gertsbakh[16]). Bu özelliği yansıtan dağılım fonksiyonları “Increasing Failure Rate” yani “Artan Arızalanma Sıklığı”na sahip fonksiyonlardır.

X.Bruset[17], artan arızalanma sıklığına sahip dağılım fonksiyonları olarak  $\alpha$  parametresinin 1'den büyük ve  $\lambda$  parametresinin 0'dan büyük olduğu durumdaki Gamma ve Weibull Dağılımlarını ve  $\mu$  ile  $\sigma$  parametrelerinin 0'dan büyük olduğu durumdaki Normal Dağılımı örnek göstermiş ve ispatlarını yapmıştır. Literatürde hata dağılımlarını Weibull Dağılımı kabul eden bir çok makalenin(11,12,14,15) yanında, Gamma Dağılımı üzerinde yapılan çalışma çok yaygın değildir.

I.Gertsbakh[16]'ın da belirttiği üzere Gamma Dağılımı, Güvenilirlik modellerinde, yaşam süresini tanımlamak için çok kullanışlıdır. Örnek olarak [11]'i verebileceğimiz Gamma Dağılımı üzerindeki çalışmadan sonra bu tezimizin, parametre değişiminin sonuca etkisi hususundaki hassasiyet analizi ile önemli bir eksikliği gidereceği değerlendirilmektedir.

Literatürde genellikle sistemler veya parçalar tek arıza sıklığına sahip dağılım fonksiyonu altında hataya maruz kalmaktadır. Bu tezde iki farklı dağılıma sahip iki hata tipine maruz kalan sistem incelenecektir. Literatürde kendisine çok yer bulmayan bu hususta(14,15) bu tez kapsamında faydalanılan çalışmalardır.

Bu çalışmada birbirinden farklı artan arızalanma sıklığına sahip görünür ve gizli hatalara maruz kalan sistemde birim zamanda oluşan maliyeti en iyileyecek bakım politikası geliştirilmeye çalışılacaktır. Bunu yaparken, kontrol periyotlarının uzunluğu( $\tau$ ) ve kaç kontrol sonrasında sistemin önleyici yenileme yapılacağına(n) karar veren temel iki parametre belirlenecektir. Literatürde bu parametrelere karar verilirken hata tipinin sahip olduğu dağılımın sonuca etkisi incelenmektedir. Bizim çalışmamızda ise hata tiplerinin sahip olduğu dağılımın parametre değişiminin sonuca etkisinin yanısıra, maliyet parametrelerinin değişiminin ve sistemin çalışması hedeflenen güvenilirlik değeri değişiminin sonuca etkisi incelenmiştir.

Çizelge 1.1: Literatürle tez çalışması arasındaki benzerlik ve farklar

	Gizli Hata	Görünür Hata	Tek Dağılım	Farklı Dağılımlar	Artan Arızalanma Sıklığı	Olasılık Dağılımı	Hatalı Muayene	Maliyet Hassasiyet Analizi	Güvenilirlik Kısıtı	Güvenilirlik Hassasiyet Analizi
Cha[5]		✓	✓			Üstel				
Chelbi [6]	✓		✓		✓	Normal				
Zheng [7]	✓		✓			Üstel			✓	
Bedia [8]	✓		✓			Üstel	✓	✓		
Klutke [9]	✓		✓			Üstel				
Yang [10]	✓			✓		Üstel			✓	
Bedia [11]	✓	✓	✓		✓	Gamma Weibull	✓			
Chelbi [12]	✓	✓	✓		✓	Weibull	✓			
Babishin [13]	✓	✓	✓			Poisson				
Ma [14]	✓	✓		✓	✓	Weibull				
Syedhosseini [15]	✓	✓		✓	✓	Weibull	✓	✓		
<b>Bizim Çalışmamız</b>	✓	✓		✓	✓	<b>Gamma</b>		✓	✓	✓

Literatürdeki genel yaklaşımın aksine birden fazla dağılıma sahip iki hatanın sisteme etki etmesi ve bu dağılımların artan arızalanma sıklığına sahip olması, bu çalışmayı benzerlerinden ayırt etmektedir. Tez çalışmamızın maliyet parametrelerinin ve güvenilirlik seviyelerinin değişimi sonucu ortaya çıkan sonuçlara hassasiyet analizi yapması da literatüre katkı yapması açısından önem arz etmektedir. Çizelge 1.1’de literatürdeki çalışmalar ve bizim çalışmamızın birbirinden farklı ve ortak yönleri verilmiştir.

Bölüm 2’de tezimizde faydalanılan özet teorik bilgiler verildikten sonra, 3.bölümde çalışmamızın incelediği sistemin ayrıntıları verilecek, 4.bölümde matematiksel formülasyon yapıldıktan sonra, 5.bölümde örnek sistemler üzerinde numerik sonuçlar sunulup son bölümde genel değerlendirmelerde bulunulacaktır.



## 2. GÜVENİLİRLİK VE YENİLEME SÜREÇLERİ

Güvenilirlik bir ürünün belirli bir zamanda hataya uğramadan düzgün hizmet verebilme ihtimalini ifade eder. Bir diğer deyişle, Güvenilirlik sistemin tasarım ömrü boyunca düzgün çalışma başarısının bir ölçütüdür[18]. Güvenilirlik,  $R(t)$  ile sembolize edilir ve “t” anında ürünün hataya uğramamış olma ihtimalini ifade eder.

Olasılıksal olarak ifade etmek gerekirse; eğer T rasgele değişkeni ürünün hata yaptığı süre olarak tanımlanırsa (2.1) elde edilir:

$$R(t) = P(T > t) \quad (2.1)$$

Olasılık literatüründe  $F(t)$  olarak ifade edilen “Cumulative Distribution Function(CDF)” yani “Birikimsel Dağılım Fonksiyonu” ile Güvenilirlik Fonksiyonu birbirinin tümleyen fonksiyonlarıdır.

$$R(t) + F(t) = 1 \quad (2.2)$$

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (2.3)$$

Birikimsel Dağılım Fonksiyonları her dağılım için zaman geçtikçe azalmayan fonksiyonlar olduğundan formül 2.3’ten yola çıkarak denilebilir ki, zaman geçtikçe bir ürünün güvenilirlik değeri sabit kalır veya azalır. Bir ürün ne kadar uzun süre hizmet verirse hata olasılığının birikimsel dağılım fonksiyon değeri o kadar artar ve güvenilirlik değeri aynı derecede düşer. Bir ürün hizmet süresinin başında iken şu formülasyon elde edilebilir:

$$F(t) = F(0) = 0 = 1 - R(t);$$
$$R(t) = 1 \quad (2.4)$$

(2.4)’ten yola çıkarak denilebilir ki, hizmet ömrünün başındaki bir ürünün güvenilirliği %100’dür. Henüz hata yapmamıştır. Birikimsel dağılım fonksiyon değeri ve Güvenilirlik değeri hizmet ömrünün sonu, bir diğer deyişle  $t=\infty$  iken şu şekilde ifade edilebilir:

$$F(t) = F(\infty) = 1 = 1 - R(t);$$
$$R(t) = 0 \quad (2.5)$$

(2.5)’ten anlaşılacağı üzere bir ürünün sonsuzdaki güvenilirliği 0 yani işlevselliğini devam ettirme ihtimali %0 olur.

Bir sistemde birbiriyle bağlantılı “n” adet parça olması durumunda sistem güvenilirliği şu şekilde hesaplanır[19]:

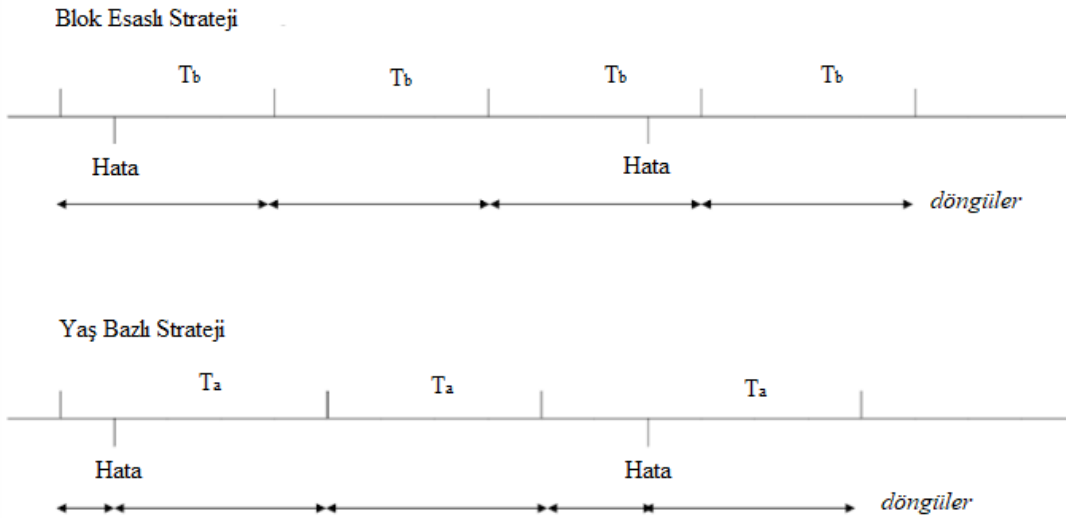
Parçalar birbirine paralel ise:

$$R(s) = 1 - [F(1).F(2)...F(n)] \quad (2.6)$$

Parçalar birbirine seri ise:

$$R(s) = R(1).R(2)...R(n) \quad (2.7)$$

Sistemlerin işlevselliğini yani güvenilirliklerini devam ettirebilmeleri için gerekli bakım faaliyetlerinin ve düzeltici işlemlerinin optimal şekilde yapılması hususu “Ödüllü Yenileme Süreçleri” başlığı altında incelenebilir. Her sistem zamanla yaşlanır ve işlevselliği azalır. Gerekli kontrol ve yenilemeler ile sistem işlevselliği artırılır. Her bir yenileme faaliyeti ile bir döngü biter ve yenisi başlar[1].



Şekil 2.1 : Yenileme stratejileri

Şekil 2.1’de de görselleştirilen Ödüllü Yenileme Süreçlerinde 2 temel yenileme politikası vardır. Bunlar “blok esaslı” ve “yaş esaslı” yenileme politikasıdır. Blok esaslı yenileme politikasında yenileme işlemi hatanın ne zaman oluştuğundan bağımsız olarak sabit aralıklarla( $T_b$ ) yapılırken, Yaş esaslı yenileme stratejisi ise blok esaslı yenilemenin aksine hatanın oluştuğu zamanlarda yenileme yapılır ve bir sonraki yenileme yapmak için önceden belirlenen zaman( $T_a$ ) beklenir. Eğer bu zaman



gelmeden hata oluşursa, yenileme yapılır ve yine önceden belirlenen zaman( $T_a$ ) beklenir.

Döngüler iki birbirini takip eden yenileme periyodu için tanımlandıktan sonra aşağıdaki formül iki tip yenileme stratejisi için geçerli olur:

$$\text{Birim Zamanda Elde Edilen Ortalama Ödül} = \frac{E[\text{Bir döngüden elde edilen ödül}]}{E[\text{Bir döngü uzunluğu}]} \quad (2.8)$$

(2.8)'de ifade edilen ödül, bakım politikası problemlerinde maliyet olarak kullanılmaktadır. (2.8)'deki oran maksimize edilmek istenirken, maliyetin hesaplandığı bakım politikası geliştirme problemlerinde ödüllü yenileme süreci formülü minimize edilmek istenir ve (2.9) şeklinde ifade edilebilir.

$$\min C(n, \tau) = \frac{E[\text{Döngü Başına Maliyet}]}{E[\text{Döngü Uzunluğu}]} \quad (2.9)$$

(2.9)'daki “n” periyot sayısını “ $\tau$ ” periyot aralığını ifade etmektedir. Beklenen Maliyet ve Beklenen Döngü ifadeleri[1] ise şu şekilde formülize edilebilir:

$$E[\text{Maliyet}] = C_1 * P_1 + C_2 * P_2 + \dots + C_n * P_n \quad (2.10)$$

$$E[\text{Zaman}] = L_1 * P_1 + L_2 * P_2 + \dots + L_n * P_n \quad (2.11)$$

(2.10) ve (2.11)'deki “ $P_i$ ”  $\forall i = 1, 2, \dots, n$  için ilgili senaryonun gerçekleşme ihtimalini, “ $C_i$ ”  $\forall i = 1, 2, \dots, n$  için ilgili senaryo gerçekleştiğinde meydana gelecek döngü maliyetlerini, “ $L_i$ ”  $\forall i = 1, 2, \dots, n$  için ilgili senaryo gerçekleştiğinde geçen döngü süresini ifade etmektedir.



### 3. PROBLEMİN TANIMI

Bu çalışmada bakım politasına karar verilecek sistem, iki farklı olasılık dağılımına sahip iki farklı karakteristikte hata tipine maruz kalmaktadır. Bu olasılık dağılımları “Artan Arızalanma Sıklığı”na sahiptir. Literatürde “Increasing Failure Rate” olarak ifade edilen bu dağılımlar çalışmanın bundan sonraki kısımlarında (IFR) olarak kısaltılacaktır.

Bu tezde “görünür hata” olarak ifade edilen birinci tür hata tipi, gerçekleştiği vakit sistemin çalışmasını sonlandıran ve hemen sistemin yenilenmesine yol açan hatadır. Bu hata oluştuğu zaman sistemin yenilenmesi için kontrol süresinin gelmesine gerek yoktur. Hata oluştuğu anda sistem yenilenir. Sistem yenilenirken geçen süre ihmal edilir. Literatürde “self-announcing failure” olarak adlandırılan bu hata tipi “hard failure” olarak da çalışmalarda yer almaktadır.

Bu çalışmada “gizli hata” olarak ifade edilen ikinci hata tipi oluştuğundan sonra sistem işlevselliğini yitirir ve hatalı çalışmaya başlar. Bu hata tipi sistem çalışırken fark edilemez sadece muayene ile hata durumu açığa çıkar. Bu duruma örnek vermek gerekirse, yangın alarminin bozuk olması ancak kontrol edilirse veya bir yangın anında farkedilebilir. Yangın tüpünün tıkalı olması da yine aynı şekilde ancak test edilirse veya yangın durumunda kullanılmak istenirse farkedilebilir. Tıbbi bir görüntüleme cihazı çekim yapıp, sonuç veriyor olabilir ama sadece kalibrasyon kontrolü yapıldığı zaman doğruluğu kontrol edilebilir. Hatalı çekim yapıyor olması dışarıdan gözle bakarak farkedilemeyebilir. Aynı şekilde otomobildeki bir aksam hatalı çalışıyor olabilir. Bu hata sürüş sırasında fark edilmese de periyodik kontroller sırasında fark edilebilir. Hata oluştuğundan sonraki ilk kontrol sırasında hata farkedilir ve kontrol sırasında sistem yenilenir. Literatürde “non-self announcing” olarak adlandırılan bu hata tipi “soft failure” olarak da incelenmektedir.

Sistemin IFR özelliğinde olması yaşlandıkça hata yapma olasılığının artacağını göstermektedir. Hata riski arttıkça da aşağıda tanımlanacak maliyetlerin ortaya çıkma

olasılığını arttıracaktır. Bu nedenle sistem sahibi, sistemin olası çıkaracağı maliyetlerden kaçınmak için bir noktadan sonra hata gözlemlenmeden yaşanan sistemi yenileme kararı verebilir. Bu yenilemeye çalışmamızda “Önleyici Yenileme” denilecektir ve önleyici yenileme sonrası ortaya çıkan maliyet ( $C_P$ ) ile ifade edilecektir.

Sistem incelenirken karşılaşılabilecek diğer maliyetler ise şöyledir: Her kontrol sırasında oluşan kontrol maliyeti( $C_I$ ); Sistem arızalandığı için yapılan yenileme sonucu ortaya çıkan maliyet( $C_R$ ) ve gizli hata oluştuğundan farkedilene kadar geçen sürede oluşan maliyet( $C_D$ ). Hata sonucu yenileme maliyeti( $C_R$ ) hata gözlemlenmeden yapılan önleyici maliyetten daha yüksek bir miktar olmak durumundadır. Çünkü hatası ortaya çıkmamış olan ürün hala kullanılabilir durumdadır ve literatürde “hurda değeri” olarak ifade edilen değeri hata gözlemlenen sistemin hurda değerinden daha yüksektir. Gizli hatanın gerçekleşmesi senaryosunda hesaba katılan, diğer senaryolarda hesaplanmasına ihtiyaç duyulmayan maliyet ise literatürde “Down-time Cost” olarak adlandırılan “Arızalı Çalışma Maliyeti( $C_D$ )”dir. Bu maliyet sistemin gizli hata oluşmasından, bir sonraki kontrol zamanında hata farkedilene kadar kullanılmasıyla oluşan maliyettir. Bu maliyete, tıbbi görüntüleme cihazının yanlış çekimler yapması sonucu ortaya çıkabilecek hatalı teşhisler ve insan sağlığını etkileyecek maddi manevi maliyetler örnek gösterilebilir. Bu maliyetin sayısal değeri karar vericinin inisiyatifinde olup, diğer maliyetlere oranı subjektif olarak ayarlanabilecektir.

Bu tezde incelenen sistem çalışmaya başladıktan sonra karar vericinin belirleyeceği periyotlarla sistem kontrole alınır. Kontrol sırasında, gizli hata oluştuğu farkedilirse sistem yenilenir. Kontroller sırasında herhangi bir gizli hata farkedilmezse sistem, karar vericinin belirlediği sayıda kontrolden sonra “önleyici yenileme” ile yenilenir. Bu iki yenilemenin dışında üçüncü durum olarak, kontrol zamanı gelmeden sistemde “görünür hata” meydana gelirse sistem yine yenilenmek zorunda kalınır. Bu üç tip yenileme ile de sistem sıfırlanır ve tekrardan çalışmaya başlar. Her bir yenileme ile literatürde “life cycle” olarak adlandırılan yaşam döngüsü tamamlanmış olur. Sistem yenilemeleri ödüllü yenileme süreçleri ile incelenip uzun zamanlı bir bakım politikası oluşturulur.

Bu çalışmada karar verilecek iki temel parametre vardır. Bu parametreler; sistemin kontrol edileceği periyot aralığının ne kadar olacağı( $\tau$ ) ve kaç kontrol sonrasında( $n$ ) önleyici yenileme yapılacağıdır. Bu iki parametrenin çarpımı önleyici yenilemenin yapılacağı zamanı ifade ettiği gibi, aynı zamanda sistemin ulaşabileceği maksimum ömrü de ifade etmektedir( $n.\tau$ ).

Sistemimiz birbirinden farklı iki tip hataya maruz kalabildiğinden iki farklı hata dağılımına sahiptir. Dolayısıyla ( $n.\tau$ ) kadar geçen süre sonrasında iki hata tipi için farklı Güvenilirlik değerleri elde edilir. Bu iki değer, seri bağlı iki parçadan oluşan sistemin güvenilirliği bulunuyormuş gibi düşünülebilir. Sistemin seri bağlı düşünülmesinin nedeni iki hata tipinden herhangi birinde hata durumu gerçekleştiğinde sistemin de hata yaptığının kabul edilmesidir. Paralel bağlı düşünülseydi, iki farklı hata tipinden birinin gerçekleşmiş olması sistemin operasyonelliğine engel olmayacaktı. Tezimizde göz önünde bulundurduğumuz en temel varsayım her periyotta sadece bir hata tipinin gerçekleşebileceğidir. Bu varsayım altında hesaba katılmayan ihtimallerin tüm ihtimaller içinde etkisi çok düşüktür. Zira Görünür hata gerçekleştikten sonra sistem yenilediğinden Gizli hatanın o andan sonra ne zaman olacağını sistem yenileme maliyetine ve döngü uzunluğuna etkisi yoktur. Bu varsayımımız altında hesaba katılmayan tek olası senaryo iki periyodik kontrol arasında önce gizli hatanın sonra görünür hatanın gerçekleşme durumudur. Tez çalışmasının asıl hedefi olan Maliyet değişimlerinin sistem bakım politikası belirlemesine olan etkisi üzerinde bu senaryonun etkisi bulunmamaktadır.

Bu çalışmada ele aldığımız sistem “Yaş Esaslı Yenileme Stratejisiyle” uyumludur. Her yenileme yaptıktan sonra sabit ( $n.\tau$ ) kadar süre beklenir ve yenileme yapılır. Hata oluşması durumunda ise yenileme yapılır ve tekrardan ( $n.\tau$ ) kadar süre hata gözlemlemeksizin yenileme yapmak için beklenir.

Önleyici yenileme veya arıza sonrası yenileme senaryoları bir sonraki bölümde detaylarıyla incelenmiş ve Ödüllü Yenileme Süreçleri Teorisinden faydalanılarak bakım stratejisi geliştirilmek üzere formüle edilmiştir.

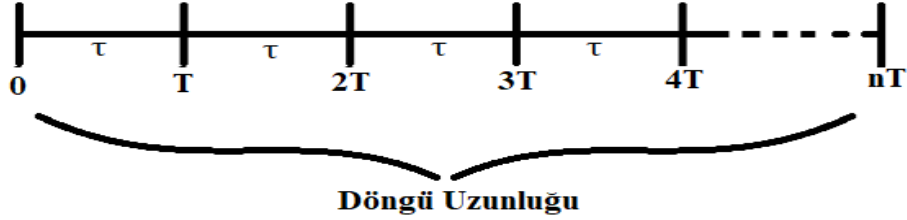


## 4. ÇÖZÜM YÖNTEMİ

Bakım politikası geliştirirken, Ödüllü Yenileme Süreçleri Teorisini kullanabilmek için sistem döngülerinin kapsamlı bir şekilde ele alınması büyük önem arz etmektedir. Her yenileme senaryosu sonucu oluşacak döngü maliyeti, döngü süresi ve senaryonun gerçekleşme ihtimalleri bu başlık altında detaylıca incelenmiştir.

### 4.1 Önleyici Yenileme

Karar verici, sistem belirli bir süre çalıştıktan sonra sistemin o andan sonra çıkaracağı olası maliyetlerden kaçınmak için sistemi yenilemek ve hata yapma ihtimalini düşürmek isteyebilir. Bu durumda sistemi istediği bir periyodik kontrol sırasında yenileyeceği kabul edilmiştir. Şekil 4.1’de sistemin n’inci periyotta yenilenmesiyle oluşan döngü verilmiştir.



Şekil 4.1 : Önleyici yenileme senaryosunun yaşam döngüsü.

Sistemin n’inci periyotta yenilenmesi durumunda sistem her iki periyot arasında “τ” kadar zaman harcadığı için toplamda (n.τ) kadar süre sonra yenilenmiş olur.

Sistemin (n.τ) kadar zaman geçtikten sonra hala işlevselliğinin korunma ihtimalini bulabilmek için “Reliability Theory” yani “Güvenilirlik Teorisi”nden faydalanmak gerekir.

Seri bağlı iki parçanın oluşturduğu sistem gibi düşündüğümüz, iki hata tipine maruz sistemin güvenilirliği ( $R_s$ ) “n.τ” anında (2.7)’den yola çıkarak şu şekilde ifade edilebilir:

$$R_s(n, \tau) = R_1(n, \tau) \cdot R_2(n, \tau) \quad (4.1)$$

4.1’de elde ettiğimiz  $R_s(n, \tau)$  değeri, önleyici yenileme senaryosunun gerçekleşme ihtimali( $P_1$ ) olarak, beklenen döngü maliyeti(Expected Cycle Cost) ve beklenen döngü uzunluğunu(Expected Cycle Length) bulurken kullanılacaktır. Matematiksel olarak ifade etmek gerekirse  $T_1, T_2$  iki hata tipinin ilk gerçekleştiği süre olsun:

$$P_1(T_1 > n, \tau; T_2 > n, \tau) = R_1(n, \tau) \cdot R_2(n, \tau) \quad (4.2)$$

Önleyici yenileme senaryosunun gerçekleşmesi durumunda döngü uzunluğu( $L_1$ ) yukarıda da bahsedildiği üzere, karar vericinin belirlediği  $n$  ve  $\tau$  parametrelerinin çarpımına eşittir:

$$L_1 = n \cdot \tau \quad (4.3)$$

$n$  ve  $\tau$  parametreleri her ne kadar parametre olarak belirlense de problemi en iyilerken karar değişkeni durumunda dönüşür. Bu problemler literatürde “Parametre Optimizasyonu” olarak adlandırılır.

Hata gözlemlenmeksizin yenileme senaryosunun gerçekleşmesi durumunda döngü maliyeti( $C_1$ ) ise şu şekilde hesaplanır.

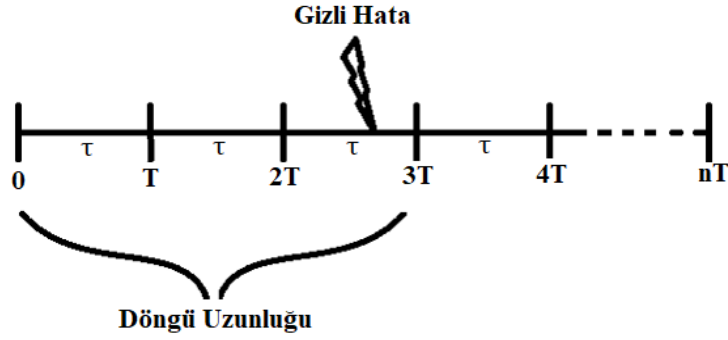
$$C_1 = n \cdot C_I + C_P \quad (4.4)$$

$C_I$  Literatürde “Inspection Cost” kontrol veya muayene maliyeti olarak tanımlanabilir.  $n$  periyot sonra sistem yenilenecek ve tüm periyotlarda kontrol maliyeti oluşacağından “ $C_I$ ” periyot sayısı( $n$ ) ile çarpılır. Son periyodik kontrol zamanı geldiğinde sistemi yenileyeceğimiz biliniyorken kontrol yapılmasının nedeni sistemde arıza varken yenileme maliyetinin farklı olmasından dolayıdır. Bu maliyet diğer senaryoların ayrıntıları verilirken daha detaylı incelenecektir. (4.4)’teki  $C_P$  ise hata gözlemlenmeden yapılan önleyici “preventive” yenilemenin maliyetidir.

## 4.2 Gizli Hata Sonucu Yenileme

Gizli hatalar sadece periyodik kontrol sırasında fark edilebildiğinden sistem hatalı da olsa çalışmaya devam eder. Sistem yenilemeleri, hata varsa, fark edildiği periyodik kontrol sırasında gerçekleştirilir.





Şekil 4.2 : Gizli hata sonucu yenileme senaryosunun yaşam döngüsü

Şekil 4.2’de de görüldüğü üzere Gizli hata meydana geldikten sonraki ilk periyodik kontrolde sistem yenilenir. Bu nedenle bu senaryo ile sonuçlanan durumda döngü uzunluğu( $L_2$ ):

$$L_2 = k. \tau \quad (4.5)$$

Gizli hata sonucu meydana gelen yenileme (4.5)’te de görüldüğü üzere  $k. \tau$  zamanında olur. Bu senaryonun  $(k-1)$  ile  $k$  periyotları arasında gerçekleşme ihtimali( $P_{2k}$ ) ise şu matematiksel ifade ile gösterilir:

$$P_{2k}(T_1 > k. \tau; k. \tau > T_2 > (k-1). \tau) = R_1(k. \tau). [R_2((k-1). \tau) - R_2(k. \tau)] \quad (4.6)$$

4.6’daki  $[R_2((k-1). \tau) - R_2(k. \tau)]$  ifadesini sadeleştirmek için aşağıdaki tanım[18] kullanılabilir.

$$R_2((k-1). \tau) - R_2(k. \tau) = \int_{(k-1). \tau}^{k. \tau} f_2(t) dt \quad (4.7)$$

(4.7) kullanılarak (4.6) tekrar yazılmak istenirse şu ifade ortaya çıkar:

$$P_{2k}(T_1 > k. \tau; k. \tau > T_2 > (k-1). \tau) = R_1(k. \tau). \int_{(k-1). \tau}^{k. \tau} f_2(t) dt \quad (4.8)$$

2.bölümde tanımlanan Gizli Hata sonucu yenileme senaryosunun gerçekleşme ihtimali ( $P_2$ ), sistemin beklenen döngü maliyeti ve beklenen döngü uzunluğunu bulurken tüm periyot aralıklarını hesaba katabilmek için  $P_{2k}$  şeklinde kullanılacaktır:

$$P_{21} + P_{22} + P_{23} + \dots + P_{2n} = \sum_{k=1}^n P_{2k} \quad (4.9)$$

Bu senaryonun gerçekleşme ihtimalini incelerken  $P_{2k}$  ifadesine ihtiyaç duyulmasındaki temel amaç her iki periyodik kontrol arasında bu senaryonun farklı olasılıklarla gerçekleşmesinden dolayı daha hassas hesaplama yapabilmektir. Yani sistemin “0” noktası ile ilk periyodik kontrol arasında gizli hataya maruz kalma ihtimali, birinci ve ikinci, ikinci ile üçüncü arasındaki gizli hataya maruz kalma ihtimalinden farklı olduğundan daha tutarlı bir hesaplama yapabilmek adına  $P_{2k}$  ifadesi kullanılmıştır.

Gizli hata sonucu yenileme senaryosunun gerçekleşmesi durumunda oluşacak maliyet( $C_2$ ) şu şekilde ifade edilebilir:

$$C_2 = k \cdot C_I + C_R + C_D \cdot \left( \tau - \int_{(k-1)\tau}^{k\tau} u \cdot f_2(u) du \right) \quad (4.10)$$

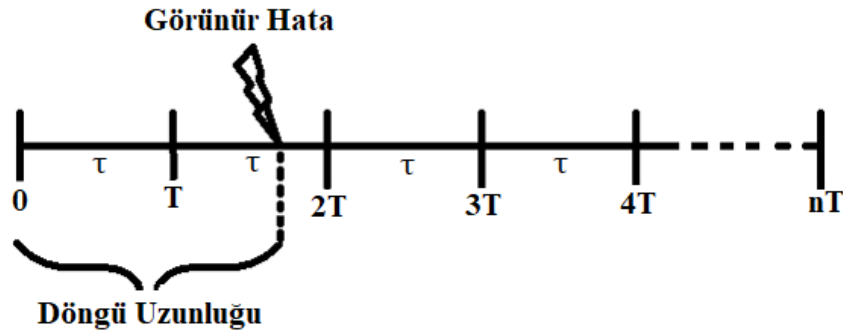
(4.10)’da görüleceği üzere “k” adet kontrolden sonra sistem yenilediğinden kontrol maliyeti( $C_I$ ) “k” ile çarpılmıştır. “ $C_R$ ” yenileme maliyeti ve son olarak arızalı çalışma maliyeti( $C_D$ ) “ $C_2$ ” yi oluşturmaktadır.

( $C_D$ )’nin çarpıldığı  $\left( \tau - \int_{(k-1)\tau}^{k\tau} u \cdot f_2(u) du \right)$  ifadesindeki “ $\int_{(k-1)\tau}^{k\tau} u \cdot f_2(u) du$ ” değeri (k-1) ile k’ncü kontroller arasındaki sürede hata oluşumunun beklenen değerini ifade etmektedir. Bu değer “ $\tau$ ” değerinden çıkarılmasının nedeni ise arızalı çalışma maliyetinin, hata oluşumundan periyodun sonuna kadar geçen sürede meydana gelmesidir. Bu süre ne kadar uzun olursa maliyet o kadar yükselecektir. Bu nedenle “ $\tau$ ” parametresi, karar verici için belirlenmesi gereken önemli bir karar değişkeni haline gelir. “ $\tau$ ” değeri çok uzun olursa  $C_D$  maliyetinin yüksek olduğu durumlarda  $C_2$  maliyetini çok yükseltecektir. “ $\tau$ ” değeri çok kısa olursa kontrol maliyetinin( $C_I$ ) çarpanı olan “k” periyot sayısı çok yükselecek. Dolayısıyla  $C_2$  değeri yine artacaktır. Burada “ $\tau$ ” değerinin maliyete etkisi  $C_D$  maliyetiyle çok yakın bir korelasyon içindedir.  $C_D$  maliyetinin çok düşük ve çok yüksek olduğu durumlarda “n” ve “ $\tau$ ” parametrelerinin belirlenmesinde farklı opsiyonlar ortaya çıkacaktır.

### 4.3 Görünür Hata Sonucu Yenileme

Literatürde “self-announcing” olarak adlandırılan bu çalışmada “Görünür Hata” olarak ifade edilen hata gerçekleştiği anda sistem işlevselliğini tamamen yitirir ve bu hata

muayene olmaksızın fark edilir. Fark edildiği anda yani hatanın gerçekleştiği anda sistem yenilenir.



Şekil 4.3: Görünür hata sonucu sistem yenileme senaryosunun yaşam döngüsü

Şekil 4.3'te görüldüğü üzere Görünür hata iki kontrol zamanı arasında rasgele meydana gelmektedir ve hatanın oluştuğu anda sistemin yaşam döngüsü sonuçlanmaktadır. Hatanın meydana geldiği zaman  $T_1$  ise Sistemin döngü uzunluğu( $L_3$ ):

$$L_3 = T_1 \quad (4.11)$$

Görünür Hata sonucu sistem yenilemesi (4.11)'de görüldüğü üzere  $T_1$  anında gerçekleşir.

Sistemin  $T_1$  anında yenilenmesi ihtimali( $P_3$ ) şu matematiksel gösterimle ifade edilebilir:

$$P_{3k}(T_2 > k \cdot \tau; k \cdot \tau > T_1 > (k-1) \cdot \tau) = R_2(k \cdot \tau) \cdot \left[ \int_{(k-1)\tau}^{k\tau} f_1(t) dt \right] \quad (4.12)$$

(4.12)'de görüldüğü üzere  $P_3$ ,  $P_{3k}$  şeklinde tanımlanmıştır. Buradaki "k" ifadesi bir önceki senaryoda olduğu üzere (k-1) ile k'ncü kontrol arasında hatanın gerçekleşme ihtimalini ifade etmektedir.

Yine bir önceki senaryoda bahsedildiği gibi bu senaryonun gerçekleşme durumu, tüm sistemin beklenen döngü uzunluğu ve beklenen döngü maliyeti hesaplanırken şu şekilde kullanılacaktır.

$$\sum_{k=1}^n \int_{(k-1)\tau}^{k\tau} f_1(u) \cdot du \cdot R_2(T_k) \quad (4.13)$$

Bu senaryonun gerçekleştiği durumda oluşacak maliyet( $C_3$ ) ise bir önceki senaryolarda ifade edilen kontrol maliyeti( $C_I$ ) ve yenileme maliyeti( $C_R$ ) düşünülerek şu şekilde ifade edilebilir:

$$C_3 = (k - 1). C_I + C_R \quad (4.14)$$

(4.14)'te görüldüğü üzere sistem yenileme maliyetinin yanında sistemin hata verdiği süreye kadar yapılan kontrol maliyetleri de formüle dahil edilmiştir.

#### 4.4 Birim Zaman İçin Ortalama Maliyet

Bu tezde temel amacımız sistemin sonsuz zamanda oluşan bakım maliyetini minimize etmektir. “Yenileme Teorisi”nden yola çıkarak denilebilir ki birim zaman için ortalama maliyet minimize edilirse toplamda meydana gelen bakım maliyetleri de minimize edilmiş olur.

Bölüm 4.1, 4.2 ve 4.3'te sistemimizin yenilenmesine yol açan 3 farklı senaryo, bu senaryoların gerçekleşme ihtimali, bu senaryolar gerçekleştiğinde meydana gelen maliyet ve geçen süreler ayrıntıları ile verilmiştir.

Üç senaryomuz için formül (2.10) ve (2.11),  $C_i.P_i = E[C_i] \forall i = 1,2,3$  ve  $L_i.P_i = E[L_i] \forall i = 1,2,3$  şeklinde özetlersek formül 4.15 ve 4.16 elde edilebilir.

$$E[Maliyet] = E[C_1] + E[C_2] + E[C_3] \quad (4.15)$$

$$E[Zaman] = E[L_1] + E[L_2] + E[L_3] \quad (4.16)$$

Tezimizde incelediğimiz sistemde minimum değerini aradığımız birim zaman için maliyet problemimiz formül (4.17) şeklinde ifade edilebilir

$$\begin{aligned} \min [C(n, \tau)] &= \min \frac{E[Dönüğü Başına Maliyet]}{E[Dönüğü Uzunluğu]} = \min \frac{C_1 * P_1 + C_2 * P_2 + \dots + C_n * P_n}{L_1 * P_1 + L_2 * P_2 + \dots + L_n * P_n} = \\ &= \min \frac{E[C_1] + E[C_2] + E[C_3]}{E[L_1] + E[L_2] + E[L_3]} \end{aligned} \quad (4.17)$$

Formül 4.17'deki bilinmeyen değerler şöyle hesaplanabilir:

$$E[C_1] = R_1(n, \tau). R_2(n, \tau). (n. C_I + C_P) \quad (4.18)$$

$$E[C_2] = \sum_{k=1}^n R_1(\tau k). \int_{(k-1)\tau}^k \tau f_2(u). du \left( k. C_I + C_R + C_D. \left[ \tau - \int_{(k-1)\tau}^k \tau u. f_2(u) du \right] \right) \quad (4.19)$$

$$E[C_3] = \sum_{k=1}^n \int_{(k-1)\tau}^{k\tau} f_1(u) \cdot du \cdot R_2(T_k) \cdot ((k-1) \cdot C_I + C_R) \quad (4.20)$$

$$E[L_1] = (n \cdot \tau) \cdot R_1(\tau n) \cdot R_2(\tau n) \quad (4.21)$$

$$E[L_2] = \sum_{k=1}^n k \cdot \tau \cdot [R_1(\tau k) \cdot \int_{(k-1)\tau}^{k\tau} f_2(u) du] \quad (4.22)$$

$$E[L_3] = \sum_{k=1}^n \int_{(k-1)\tau}^{k\tau} t \cdot f_1(u) \cdot du \cdot R_2(T_k) \quad (4.23)$$

Yukarıdaki  $E[C_i]$  ve  $E[L_i]$  değerleri hesaplandıktan sonra formül 4.17’de yerine yazılır ve “n” hata gözlemlenmesinin yenileme yapılacak periyot numarası ve “ $\tau$ ” periyot aralığı parametreleri, karar değişkeni kabul edildikten sonra  $C(n, \tau)$  değerini en az veren  $(n, \tau)$  ikilisi bakım politikası stratejisini sonuç olarak verecektir. Bir sonraki bölümde, örnek bir sistem üzerinde birkaç farklı maliyet grubunun  $C(n, \tau)$  üzerine etkisi hesaplanarak değerlendirmelerde bulunulacaktır.



## 5. ÖRNEK SİSTEMLER ÜZERİNDE SAYISAL ÇÖZÜMLER

4. Bölümde formül 4.28 ile verilen tezimizin temel amaç fonksiyonunu numerik olarak örneklendirmek açısından farklı maliyetler ile çalışılmış, Kontrol Maliyeti( $C_I$ ), Önleyici Yenileme Maliyeti( $C_P$ ), Hata Sonucu Yenileme Maliyeti( $C_R$ ) ve Arızalı Çalışma Maliyeti( $C_D$ ) değişiminin optimal  $(n, \tau)$  ikilisini nasıl değiştirdiğinin araştırılması bölüm 5.1’de yapılmıştır. Bu araştırmanın yanısıra bölüm 5.2’de de dağılım parametrelerinin değişiminin optimal  $(n, \tau)$  ikilisi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu iki bölümde yapılan çalışmalarda  $(n)$  değerleri [0-12] aralığındaki tam sayı değerleri ve  $(\tau)$  değerleri [0-20] aralığındaki reel sayı değerleri olarak alınmıştır.

Bu araştırma sırasında görülmüştür ki  $(n, \tau)$  değerlerinin çok yüksek olduğu durumlarda  $C(n, \tau)$  değerleri aynı çıkmaktadır. Örnek olarak sistemimizdeki iki tip hatanın da olasılık fonksiyonlarını  $F_i \sim \text{Gamma}(\alpha; \lambda)$  dağılımına sahip kabul edelim. Gamma Dağılımı  $(\alpha)$  değeri 1’den büyük  $(\lambda)$  değeri 0’dan büyük iken literatürde “Increasing Faikure Rate” yani “Artan Arızalanma Sıklığı”na sahip olur. Görünür hata ve gizli hata için olasılık fonksiyonlarını sırasıyla  $F_1 \sim \text{Gamma}(2; 0,3)$  ve  $F_2 \sim \text{Gamma}(2; 0,4)$  alalım.  $(C_I, C_P, C_R, C_D)$  değerleri (100, 150, 200, 10) olsun. Bölüm 4’te ayrıntılarıyla verilen formüllerden  $C(n, \tau)$  değerleri hesaplandığında Çizelge 5.1’deki değerler elde edilmiştir.

Çizelge 5.4:  $\Lambda=(0,3;0,4)$  ve  $(C_I, C_P, C_R, C_D) = (100, 150, 200, 10)$  için  $C(n, \tau)$  değerleri

Tau/n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0,01	25000	17500	11667	13750	13000	12501	12144	11876	11668	11501	11364	11250
0,02	12500	5834	6876	6876	6501	6251	6073	5939	5835	5752	5682	5625
0,03	8333	3890	4584	4584	4335	4168	4049	3960	3891	3836	3788	3751
0,04	6250	2919	3439	3439	3252	3127	3038	2972	2920	2879	2841	2813
0,05	5000	2336	2752	2752	2602	2503	2432	2378	2337	2304	2273	2251
0,06	4167	1948	2294	2294	2169	2086	2027	1983	1949	1922	1895	1876
0,07	3572	1670	1967	1967	1860	1789	1739	1701	1672	1649	1624	1609
0,08	3125	1462	1721	1721	1628	1567	1523	1490	1464	1444	1421	1408
0,09	2778	1301	1531	1531	1448	1393	1354	1325	1303	1285	1264	1252
0,1	2501	1172	1378	1378	1304	1255	1220	1194	1174	1158	1138	1128

...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1	254,91	144,72	156,86	156,86	152,67	150,52	149,41	148,85	148,57	148,44	147,46	147,44
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
10	36,14	36,85	36,86	36,86	36,86	36,86	36,86	36,86	36,86	36,86	36,86	36,86
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
19,96	22,99	23,02	23,02	23,02	23,02	23,02	23,02	23,02	23,02	23,02	23,02	23,02
19,97	22,98	23,01	23,01	23,01	23,01	23,01	23,01	23,01	23,01	23,01	23,01	23,01
19,98	22,98	23,01	23,01	23,01	23,01	23,01	23,01	23,01	23,01	23,01	23,01	23,01
19,99	22,97	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00
20	22,96	22,99	22,99	22,99	22,99	22,99	22,99	22,99	22,99	22,99	22,99	22,99

Çizelge 5.1'den de görülebileceği üzere ( $\tau$ ) değeri çok büyüdüğünde yani periyot aralıkları çok arttığında ( $n$ ) değeri kaç olursa olsun  $C(n, \tau)$  değerleri aynı değere yakınsamaktadır. Minimizasyon problemimizin verdiği bu değerlerin bir süreden sonra aynı çıkmasının nedeni ( $n$ ) ve ( $\tau$ ) değerlerini artışı sırasında güvenilirlik değerlerine dikkat edilmemesidir.

Çizelge 5.5:  $\Lambda=(0,3;0,4)$  ve  $C_T = (100, 150, 200, 10)$  probleminde sistemin karşılaştığı en küçük güvenilirlik değerleri

Tau/n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0,01	1,0000	1,0000	0,9999	0,9998	0,9997	0,9996	0,9994	0,9992	0,9990	0,9988	0,9985	0,9983
0,02	1,0000	0,9998	0,9996	0,9992	0,9988	0,9983	0,9976	0,9969	0,9961	0,9952	0,9943	0,9932
0,03	0,9999	0,9996	0,9990	0,9983	0,9973	0,9961	0,9948	0,9932	0,9915	0,9896	0,9875	0,9852
0,04	0,9998	0,9992	0,9983	0,9969	0,9952	0,9932	0,9909	0,9882	0,9852	0,9819	0,9783	0,9745
0,05	0,9997	0,9988	0,9973	0,9952	0,9927	0,9896	0,9860	0,9819	0,9774	0,9725	0,9671	0,9614
0,06	0,9996	0,9983	0,9961	0,9932	0,9896	0,9852	0,9802	0,9745	0,9682	0,9614	0,9540	0,9462
0,07	0,9994	0,9976	0,9948	0,9909	0,9860	0,9802	0,9735	0,9660	0,9578	0,9488	0,9392	0,9291
0,08	0,9992	0,9969	0,9932	0,9882	0,9819	0,9745	0,9660	0,9565	0,9462	0,9350	0,9230	0,9103
0,09	0,9990	0,9961	0,9915	0,9852	0,9774	0,9682	0,9578	0,9462	0,9335	0,9199	0,9054	0,8902
0,1	0,9988	0,9952	0,9896	0,9819	0,9725	0,9614	0,9488	0,9350	0,9199	0,9038	0,8868	0,8689
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
0,5	0,9725	0,9038	0,8119	0,7102	0,6082	0,5119	0,4246	0,3478	0,2820	0,2265	0,1805	0,1428
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
0,92	0,9168	0,7431	0,5571	0,3957	0,2701	0,1788	0,1155	0,0732	0,0457	0,0281	0,0171	0,0103
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1,5	0,8119	0,5119	0,2820	0,1428	0,0682	0,0313	0,0139	0,0060	0,0025	0,0011	0,0004	0,0002
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1,99	0,7123	0,3507	0,1448	0,0539	0,0187	0,0062	0,0020	0,0006	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000
2	0,7102	0,3478	0,1428	0,0528	0,0182	0,0060	0,0019	0,0006	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000

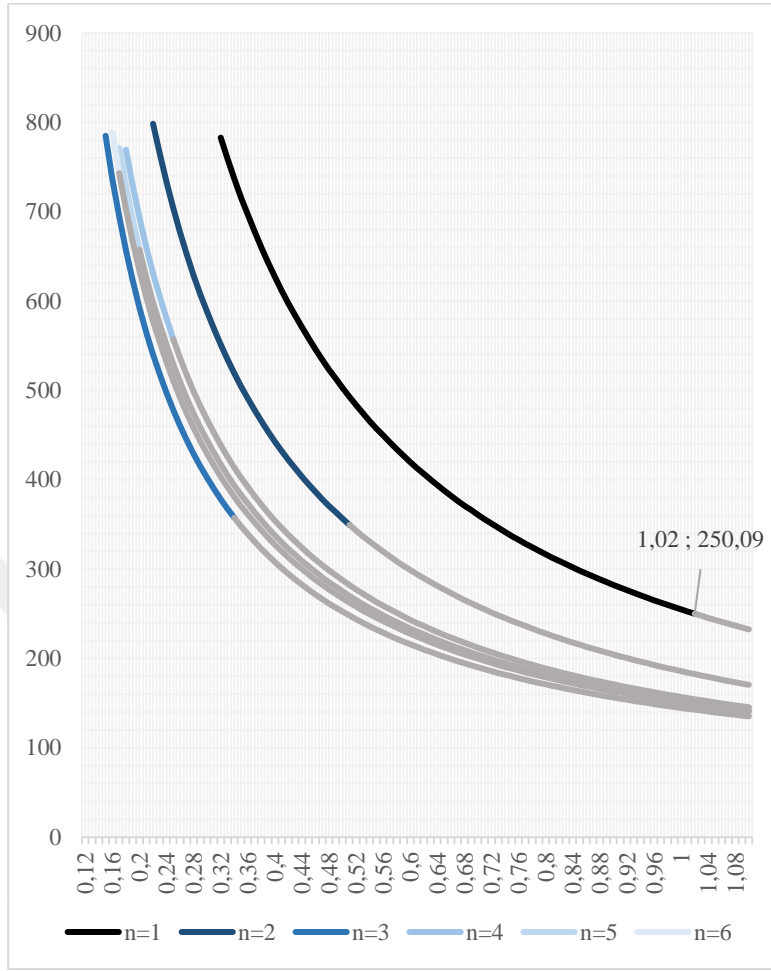
Sistemin döngü zamanının en yüksek olabildiği durum önleyici yenilemenin yapıldığı durumdur. Bir sistemde güvenilirlik değeri de zaman geçtikçe azaldığından önleyici



yenileme yapıldığı an, o sistem için olabilecek minimum güvenilirlik değerinin olduğu andır. Çizelge 5.2’de ( $\tau$ ) değeri arttıkça 1’den 12’ye kadarki  $n$  değerleri için güvenilirlik değerleri verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği üzere ( $\tau$ ) değeri 2’ye geldiğinde  $n$ ’in 6’dan büyük olduğu durumlarda güvenilirlik değerleri %1’den bile kötü duruma gelmiştir. Bu durumda daha büyük ( $\tau$ ) değerleri için  $C(n, \tau)$  değeri araştırmak yanıltıcı sonuçlar verecektir. ( $\tau$ ) değeri [0-20] aralığında incelenmiştir ve ( $\tau$ ) değeri çok yüksek olduğunda güvenilirlik değerleri tüm ( $n$ ) değerleri için 0 olmaktadır. Her ne kadar ( $\tau$ ) değeri çok yüksek olduğunda  $C(n, \tau)$  değeri daha iyi çıksa da bu değerler gerçekçi değildir. Çünkü güvenilirlik değerinin 0 olması, güvenilirlik teorisinden yola çıkarak denilebilir ki, hata yapma olasılığının %100 olması demektir. Bu durumda sistem halihazırda arızalanmıştır. Bu nedenle çıkan  $C(n, \tau)$  değerinin geçerliliği yoktur. Güvenilirlik değerinin 0’dan büyük olduğu durumlarda  $C(n, \tau)$  değeri geçerli olsa da gerçek sistemlerde belirli bir güvenilirlik değerinin altına düşülmek istenmez. Bu güvenilirlik değeri karar vericinin inisiyatifinde olan bir değerdir. Bu değerinin değişiminin maliyete etkisi bölüm 5.3’te ayrıntılı olarak incelenecektir.

Bölüm 5.1 ve 5.2’de ele alınan sistemlerde, güvenilirlik değerinin minimum %90 istendiği varsayılarak hesaplamalar yapılmıştır. Yukarıdaki örnek için güvenilirlik değerinin %90 olduğu kabul edilirse Şekil 5.1’de verilen en iyi sonuçlar elde edilebilir. Şekil 5.1’de güvenilirlik değeri kısıtını sağlayan  $C(n, \tau)$  değerleri renkli olarak, kısıtı sağlamayan değerler gri renkle yer almaktadır. Bu sonuçlara göre  $(n, \tau) = (1; 1,02)$  ve  $C(n, \tau) = 250,09$  olarak bulunur. Çalışmamızda bundan sonraki tüm grafik ve çizelgelerde renkli ve koyu değerler güvenilirlik kısıtını sağlayan, gri ve soluk renkler ise güvenilirlik kısıtını sağlamayan değerleri ifade edecektir.

$(n, \tau) = (1; 1,02)$  değerleri  $F_1 \sim \text{Gamma}(2; 0,3)$  ve  $F_2 \sim \text{Gamma}(2; 0,4)$  hata dağılımları ile  $(C_I, C_P, C_R, C_D) = (100, 150, 200, 10)$  maliyet parametreleri altında en iyi bakım politikasının 1,02 birim zamanda bir kontrol yapılmasının ve ilk kontrolden sonra da önleyici yenileme yapılmasının en iyi politikayı oluşturduğu anlamına gelmektedir. En iyi ikinci alternatif ise 1,01 birim zamanda bir kontrol yapılması ve ilk kontrolden sonra da önleyici yenileme yapılması durumudur. 0,51 birim zamanda bir kontrol yapılması ve ikinci kontrolden sonra önleyici yenileme yapılmasının maliyeti ise 349,55’tir.



Şekil 5.1: %90 güvenirlilik seviyesi kısıtı altında elde edilen  $C(n, \tau)$  değerleri

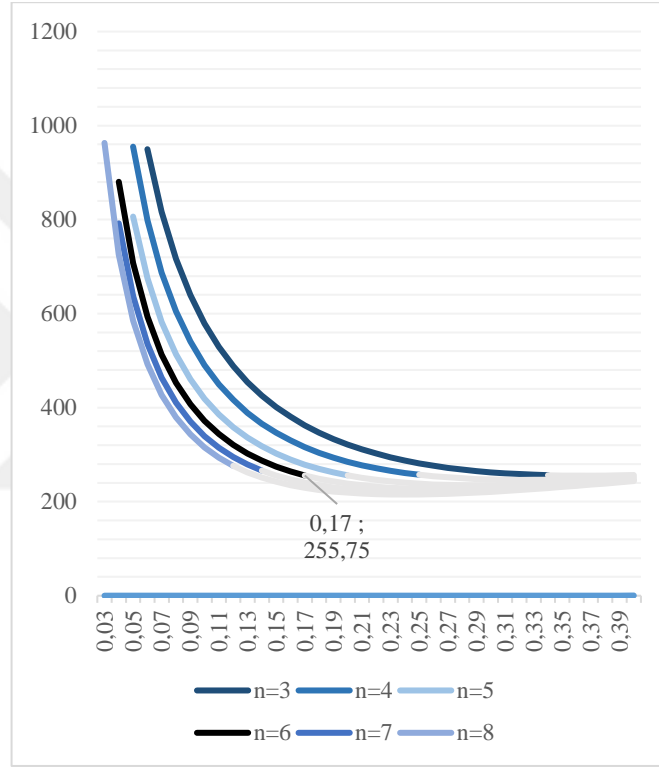
### 5.1 Hata Dağılımının Sabit Olduğu Durumda Maliyetin Bakım Politikasına Etkisi

Literatürde bakım politikasının maliyeti araştırılırken daha önce tanımlarına ayrıntılı olarak yer verilen “Hard Failure – Self Announcing Failure” yani “Görünür Hata”ların veya “Soft Failure – Non-Self Announcing Failure” yani “Gizli Hata”ların sahip olduğu olasılık dağılımlarının parametrelerinin değişimi ele alınmıştır. Çalışmamızın bu bölümünde Bölüm 3’te açıklanan maliyet tiplerinin değişiminin bakım politikasına etkisi araştırılmıştır. Bu araştırma yapılırken hata sıklıklarının(literatürdeki ifade ile “rate”) etkisini göz ardı etmemek için üç farklı başlıkta; hata sıklıklarının birbirine yakın olduğu durum ve bir hata tipinin diğerine göre daha yüksek sıklıkta oluşma ihtimali olduğu durumlar üçer maliyet kombinasyonunda: Arızalı çalışma maliyetinin( $C_D$ ) çok yüksek olduğu, arızalı çalışma maliyetinin( $C_D$ ) çok düşük olduğu

ve periyodik kontrol maliyetinin( $C_I$ ) yenileme maliyetlerine( $C_P, C_R$ ) çok yakın olduğu parametrelerde incelenmiştir.

### 5.1.1 Hata sıklıklarının birbirine yakın olduğu durum

Görünür Hata( $F_1$ ) Gamma(2;0,3) Gizli Hata( $F_2$ ) Gamma(2; 0,4) olasılık dağılımlarına sahip olsunlar. İlk olarak maliyet parametrelerimiz  $C_I=10$ ;  $C_P=150$ ;  $C_R=200$ ;  $C_D=4000$  olsun. Bu durumda farklı  $(n, \tau)$  parametreleri için elde edilen en iyi  $C(n, \tau)$  değerleri tüm enumerasyon yöntemi ile bulunmuş, Şekil 5.2'de verilen grafik ve Çizelge 5.3 ile özet sonuçlar gösterilmiştir.

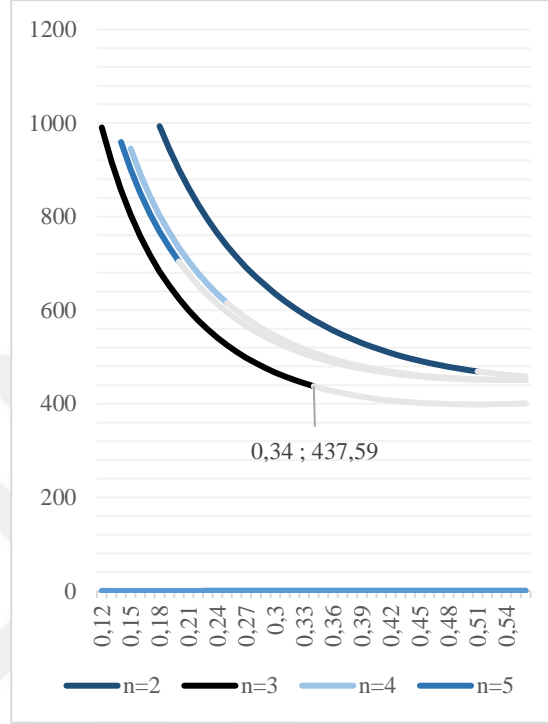


Şekil 5.2 :  $\Lambda=(0,3;0,4)$  ve  $C_T=(10, 150, 200, 4000)$  için en iyi  $C(n,\tau)$  değerleri

Çizelge 5.6:  $\Lambda=(0,3;0,4)$  ve  $C_T=(10, 150, 200, 4000)$  için en iyi  $C(n,\tau)$  değerleri

Tau/n	n=3	n=4	n=5	<b>n=6</b>	n=7	n=8
0,1	578,69	490,40	418,84	372,08	339,40	315,47
<b>0,17</b>	362,40	315,96	278,89	<b>255,75</b>	240,29	229,44
0,25	281,60	257,37	238,17	227,08	220,13	215,43
0,33	257,33	246,26	236,91	231,96	228,92	226,77
0,34	256,36	246,56	238,10	233,67	230,93	228,96
0,35	255,72	247,13	239,50	235,55	233,08	231,27

İkinci olarak maliyet parametrelerini  $C_I=100$ ;  $C_P=150$ ;  $C_R=200$ ;  $C_D=4000$  alalım. Bu durumda farklı  $(n, \tau)$  parametreleri için elde edilen en iyi  $C(n, \tau)$  değerleri tüm enumerasyon yöntemi ile bulunmuş, Şekil 5.3’de verilen grafik ve Çizelge 5.4 ile özet sonuçlar gösterilmiştir.



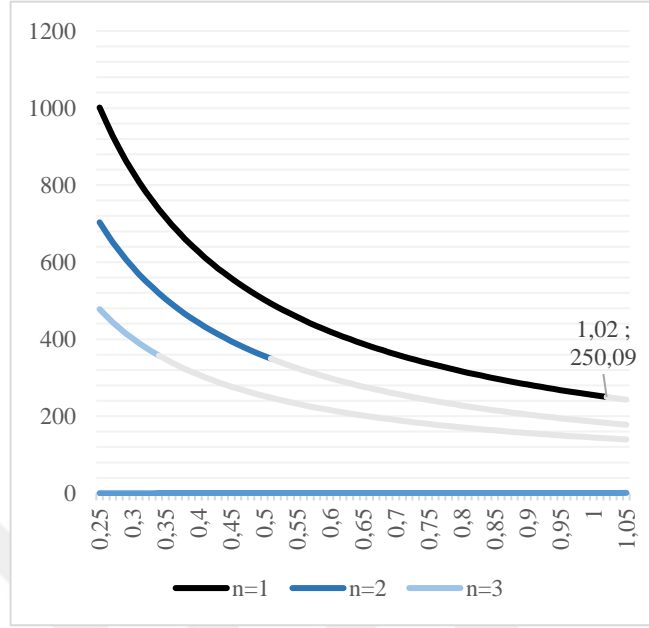
Şekil 5.3:  $\Lambda=(0,3;0,4)$  ve  $C_T = (100, 150, 200, 4000)$  için en iyi  $C(n, \tau)$  değerleri

Çizelge 5.4:  $\Lambda=(0,3;0,4)$  ve  $C_T = (100, 150, 200, 4000)$  için en iyi  $C(n, \tau)$  değerleri

Tau/n	n=2	<b>n=3</b>	n=4	n=5
0,2	900,48	624,58	733,46	704,26
0,25	737,76	525,39	615,60	596,10
0,3	635,21	466,90	545,20	532,44
<b>0,34</b>	579,03	<b>437,59</b>	509,05	500,25
0,35	567,58	432,01	502,01	494,04
0,4	522,14	411,99	475,75	471,15

Hata sıklıkları birbirine yakinken üçüncü olarak maliyet parametrelerini  $C_I=100$ ;  $C_P=150$ ;  $C_R=200$ ;  $C_D=10$  alalım. Bu durumda farklı  $(n, \tau)$  parametreleri için elde

edilen en iyi  $C(n, \tau)$  değerleri tüm enumerasyon yöntemi ile bulunmuş, Şekil 5.4'te verilen grafik ve Çizelge 5.5 ile özet sonuçlar gösterilmiştir.

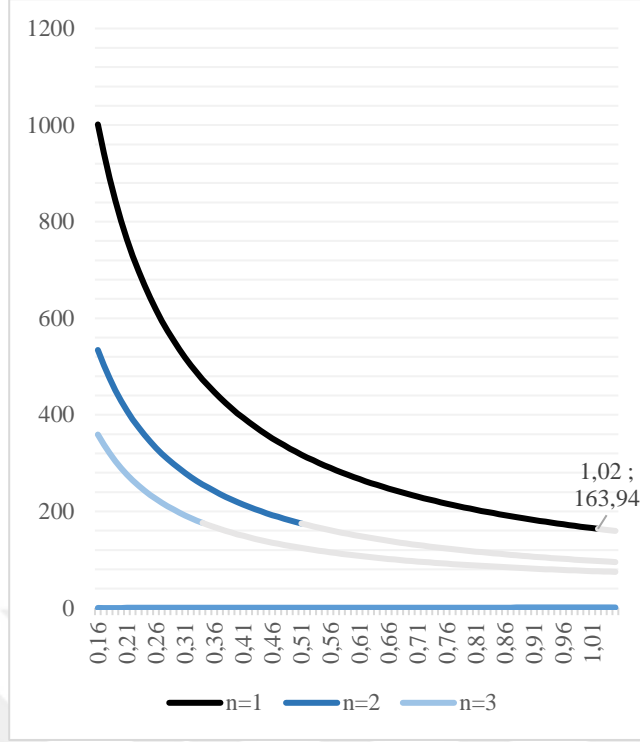


Şekil 5.4 :  $\Lambda=(0,3;0,4)$  ve  $C_T = (100, 150, 200, 10)$  için en iyi  $C(n, \tau)$  değerleri

Çizelge 5.5:  $\Lambda=(0,3;0,4)$  ve  $C_T=(100, 150, 200, 10)$  için en iyi  $C(n, \tau)$  değerleri

Tau/n	<b>n=1</b>	n=2	n=3
0,25	1001,3	703,42	477,90
0,3	834,94	587,37	401,92
0,35	716,15	504,64	348,03
0,4	627,12	442,71	307,91
0,5	502,62	356,31	252,35
0,7	360,73	258,29	190,11
0,9	282,26	204,45	156,36
1	254,91	185,78	144,72
1,01	252,47	184,12	143,68
<b>1,02</b>	<b>250,09</b>	182,49	142,67
1,03	247,75	180,90	141,68

Son olarak maliyet parametrelerini  $C_I=10$ ;  $C_P=150$ ;  $C_R=200$ ;  $C_D=10$  alalım. Bu durumda farklı  $(n, \tau)$  parametreleri için elde edilen en iyi  $C(n, \tau)$  değerleri tüm enumerasyon yöntemi ile bulunmuş, Şekil 5.5'de verilen grafik ve Çizelge 5.6 ile özet sonuçlar gösterilmiştir.



Şekil 5.5:  $\Lambda=(0,3;0,4)$  ve  $C_T = (10, 150, 200, 10)$  için en iyi  $C(n,\tau)$  değerleri

Çizelge 5.6:  $\Lambda=(0,3;0,4)$  ve  $C_T = (10, 150, 200, 10)$  için en iyi  $C(n,\tau)$  değerleri

Tau/n	<b>n=1</b>	n=2	n=3
0,2	801,60	428,64	289,45
0,35	459,88	248,90	171,75
0,5	323,81	178,18	126,28
0,75	218,81	124,54	92,61
1	166,96	98,67	76,86
1,01	165,43	97,92	76,41
<b>1,02</b>	<b>163,94</b>	97,18	75,97
1,03	162,47	96,46	75,54

Dört farklı maliyet parametre dördlüsüyle elde edilen sonuçlar Çizelge 5.7 ile özetlenebilir. Çizelge 5.7’den de görüleceği üzere ( $C_D$ ) maliyeti çok yüksek olursa gizli hatanın gerçekleşmesinden periyot tamamlanana kadar geçen sürenin uzunluğu ortalama zaman başına düşen maliyeti çok yükselteceğinden mümkün oldukça kontrol periyotlarının kısa olması gerekmektedir. Bu süre ne kadar kısa olursa gizli hatanın farkedilmesi o kadar çabuk olur. Dolayısıyla arızalı çalışma maliyetinin( $C_D$ ) etkisi azalır ve  $C(n, \tau)$  değeri düşer. ( $C_D$ ) değeri 4000’ken periyot sayısı çok, periyot uzunlukları ise çok kısaydı. Arızalı çalışma maliyetinin( $C_D$ ) çok düşük olduğu

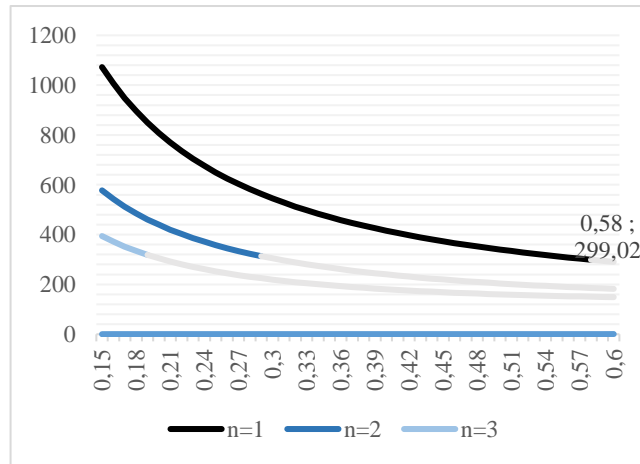
durumlarda ise gizli hatanın oluşması karar verici için çok büyük bir maliyete yol açmayacağından mümkün olduğunca periyodik kontrol maliyetinden kaçınmak için daha az ve daha uzun periyot tercih edilecektir. Periyodik kontrol maliyetinin çok yüksek olduğu durumda da benzer şekilde bakım politikası, daha az ve daha uzun süreli periyot şeklindedir.

Çizelge 5.7:  $F_1 \sim \text{Gamma}(2; 0,3)$  ve  $F_2 \sim \text{Gamma}(2; 0,4)$  dağılımında maliyet değişiminin karar parametreleri ve minimum  $C(n, \tau)$  değerine etkisi

$(C_I, C_P, C_R, C_D)$	$F_1 \sim \text{Gamma}(2; 0,3)$ ve $F_2 \sim \text{Gamma}(2; 0,4)$		
	$(n)$	$(\tau)$	$C(n, \tau)$
(10, 150, 200, 4000)	6	0,17	255,75
(100, 150, 200, 4000)	3	0,34	437,59
(100, 150, 200, 10)	1	1,02	250,09
(10, 150, 200, 10)	1	1,02	163,94

### 5.1.2 Görünür hata sıklığının gizli hata sıklığından çok yüksek olduğu durum

Görünür Hata( $F_1$ )  $\text{Gamma}(2;0,9)$  Gizli Hata( $F_2$ )  $\text{Gamma}(2; 0,1)$  olasılık dağılımlarına sahip olsunlar. İlk olarak maliyet parametrelerimiz  $C_I=10$ ;  $C_P=150$ ;  $C_R=200$ ;  $C_D=4000$  olsun. Bu durumda farklı  $(n, \tau)$  parametreleri için elde edilen en iyi  $C(n, \tau)$  değerleri tüm enumerasyon yöntemi ile bulunmuş, Şekil 5.6'da verilen grafik ve Çizelge 5.8 ile özet sonuçlar gösterilmiştir.

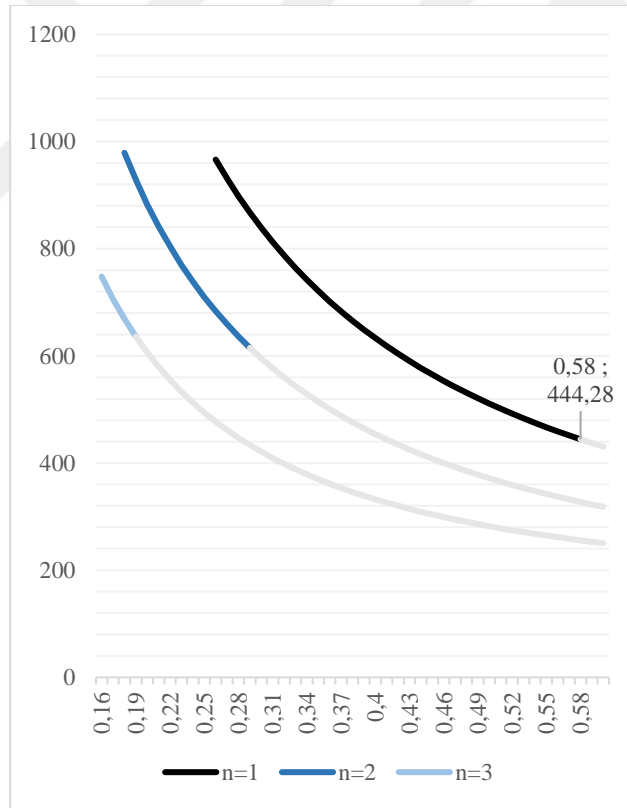


Şekil 5.6:  $\Lambda=(0,9;0,1)$  ve  $C_T = (10, 150, 200, 4000)$  için en iyi  $C(n, \tau)$  değerleri

Çizelge 5.8:  $\Lambda=(0,9;0,1)$  ve  $C_T = (10, 150, 200, 4000)$  için en iyi  $C(n,\tau)$  değerleri

Tau/n	n=1	n=2	n=3
0,1	1603,8	857,38	577,99
0,2	807,69	439,32	304,52
0,3	544,97	304,37	219,11
0,4	415,68	240,11	180,37
0,5	339,80	204,07	160,10
<b>0,58</b>	<b>299,02</b>	185,72	150,63
0,59	294,77	183,86	149,73
0,6	290,67	182,09	148,88

İkinci olarak maliyet parametrelerini  $C_I=100$ ;  $C_P=150$ ;  $C_R=200$ ;  $C_D=4000$  alalım. Bu durumda farklı  $(n, \tau)$  parametreleri için elde edilen en iyi  $C(n, \tau)$  değerleri tüm enumerasyon yöntemi ile bulunmuş, Şekil 5.7’de verilen grafik ve Çizelge 5.9 ile özet sonuçlar gösterilmiştir.



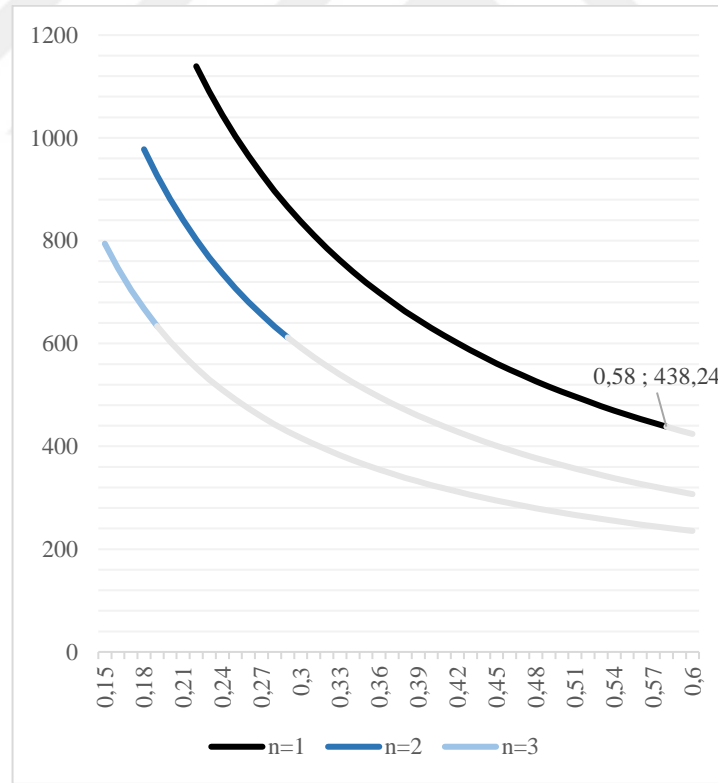
Şekil 5.7:  $\Lambda=(0,9;0,1)$  ve  $C_T = (100, 150, 200, 4000)$  için en iyi  $C(n,\tau)$  değerleri



Çizelge 5.9:  $\Lambda=(0,9;0,1)$  ve  $C_T = (100, 150, 200, 4000)$  için en iyi  $C(n,\tau)$  değerleri

Tau/n	n=1	n=2	n=3
0,1	2501,5	1753,6	1179,0
0,2	1253,4	882,60	606,15
0,3	838,95	595,29	421,02
0,4	633,11	454,13	332,34
0,5	510,87	371,54	281,94
<b>0,58</b>	<b>444,28</b>	327,33	255,73
0,59	437,28	322,73	253,05
0,6	430,53	318,30	250,47

Görünür hata sıklığının gizli hata sıklığına göre çok yüksek olduğu durumda üçüncü olarak maliyet parametrelerini  $C_I=100$ ;  $C_P=150$ ;  $C_R=200$ ;  $C_D=10$  alalım. Bu durumda farklı  $(n, \tau)$  parametreleri için elde edilen en iyi  $C(n, \tau)$  değerleri tüm enumerasyon yöntemi ile bulunmuş, Şekil 5.8'de verilen grafik ve Çizelge 5.10 ile özet sonuçlar gösterilmiştir.

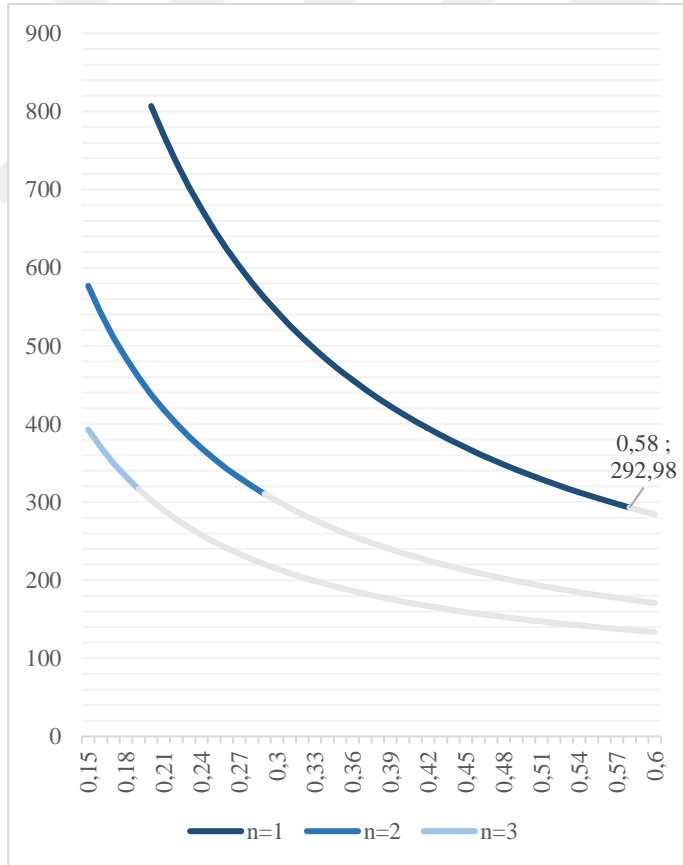


Şekil 5.8:  $\Lambda=(0,9;0,1)$  ve  $C_T = (100, 150, 200, 10)$  için en iyi  $C(n,\tau)$  değerleri

Çizelge 5.10:  $\Lambda=(0,9;0,1)$  ve  $C_T = (100, 150, 200, 10)$  için en iyi  $C(n,\tau)$  değerleri

Tau/n	<b>n=1</b>	n=2	n=3
0,1	2501,3	1753,2	1178,4
0,2	1252,6	881,09	603,94
0,3	837,23	592,01	416,35
0,4	630,11	448,56	324,57
0,5	506,29	363,26	270,66
<b>0,58</b>	<b>438,24</b>	316,64	241,44
0,59	431,05	311,73	238,38
0,6	424,10	306,99	235,42

Son olarak maliyet parametrelerini  $C_I=10$ ;  $C_P=150$ ;  $C_R=200$ ;  $C_D=10$  alalım. Bu durumda farklı  $(n, \tau)$  parametreleri için elde edilen en iyi  $C(n, \tau)$  değerleri tüm enumerasyon yöntemi ile bulunmuş, Şekil 5.9’da verilen grafik ve Çizelge 5.11 ile özet sonuçlar gösterilmiştir.



Şekil 5.9:  $\Lambda=(0,9;0,1)$  ve  $C_T = (10, 150, 200, 10)$  için en iyi  $C(n,\tau)$  değerleri

Çizelge 5.11:  $\Lambda=(0,9;0,1)$  ve  $C_T = (10, 150, 200, 10)$  için en iyi  $C(n,\tau)$  değerleri

Tau/n	n=1	n=2	n=3
0,1	1603,6	856,99	577,41
0,2	806,91	437,81	302,31
0,3	543,25	301,09	214,43
0,4	412,68	234,54	172,61
0,5	335,22	195,79	148,81
<b>0,58</b>	<b>292,98</b>	175,03	136,35
0,59	288,54	172,87	135,06
0,6	284,24	170,78	133,83

Dört farklı maliyet parametre dördlüsüyle elde edilen sonuçlar Çizelge 5.12 ile özetlenebilir.

Çizelge 5.12:  $F_1 \sim Gamma(2; 0,9)$  ve  $F_2 \sim Gamma(2; 0,1)$  dağılımında maliyet değişiminin karar parametreleri ve minimum  $C(n, \tau)$  değerine etkisi

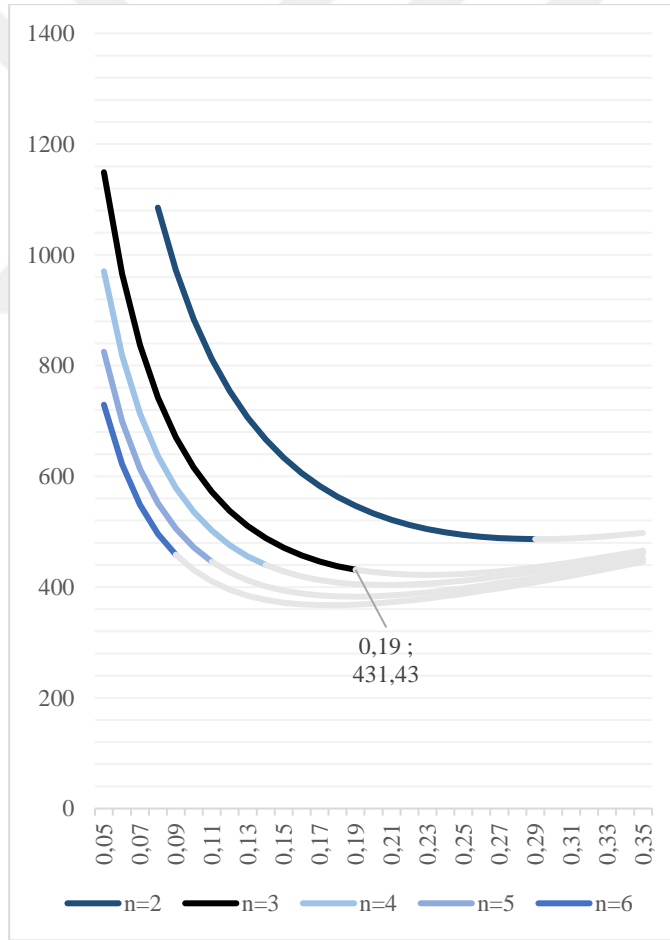
$(C_I, C_P, C_R, C_D)$	$F_1 \sim Gamma(2; 0,9)$ ve $F_2 \sim Gamma(2; 0,1)$		
	$(n)$	$(\tau)$	$C(n, \tau)$
(10, 150, 200, 4000)	1	0,58	299,07
(100, 150, 200, 4000)	1	0,58	444,28
(100, 150, 200, 10)	1	0,58	438,24
(10, 150, 200, 10)	1	0,58	292,98

Bölüm 5.1.1’de verilen maliyet kombinasyonları  $C(n, \tau)$  değerleri ve bakım politikaları üzerinde büyük etkiye sahiptir. Arızalı çalışma maliyetinin etkisi çok rahat bir şekilde farkedilirken Çizelge 5.12’den de görüleceği üzere aynı maliyet dördlülere bakım politikasını etkileyememiştir. Bunun en önemli nedeni gizli hata sıklığının görünür hataya göre çok düşük olmasıdır. Karar verici gizli hata ile dolayısıyla arızalı çalışma maliyetiyle çok sık karşılaşmayacağı için periyotları mümkün olduğunca uzun tutmak durumundadır. Sistemin toplam ömrünü yani  $(n, \tau)$ ’nin güvenilirlik değerini %90’la sınırladığımız için, değişmeyeceğini bildiğimizden eğer periyot uzunluğunu kısaltırsak aynı oranda periyot sayısını arttırmamız gerekecektir. Bu değişikliklerle karşılaşılacak toplam periyodik kontrol maliyeti artarken, arızalı çalışma maliyeti azalacaktır. Fakat gizli hata oluşma sıklığı görünür hataya göre çok düşük olduğundan muhtemel arızalı çalışma maliyeti de çok düşüktür. Periyodun kısaltması dolayısıyla kontrol sayısının artmasının maliyet açısından olumsuz etkisi arızalı çalışma

maliyetinin azalması ile elde edilen miktardan çok yüksektir. Bu nedenle Çizelge 5.12'den de görüleceği üzere kontrol maliyetinin de arızalı çalışma maliyetinin de artmasının bakım politikasına etkisi bu veri dörtlüleri için bulunmamaktadır. Dağılım fonksiyon parametresinin etkisi bu bölümde çok net görülmüştür. Bölüm 5.2'de dağılım fonksiyonu parametrelerinin değişimi daha ayrıntılı incelenilecektir.

### 5.1.3 Gizli hata sıklığının görünür hata sıklığından çok yüksek olduğu durum

Görünür Hata( $F_1$ ) Gamma(2;0,1) Gizli Hata( $F_2$ ) Gamma(2; 0,9) olasılık dağılımlarına sahip olsunlar. İlk olarak maliyet parametrelerimiz  $C_I=10$ ;  $C_P=150$ ;  $C_R=200$ ;  $C_D=4000$  olsun. Bu durumda farklı ( $n, \tau$ ) parametreleri için elde edilen en iyi  $C(n, \tau)$  değerleri tüm enumerasyon yöntemi ile bulunmuş, Şekil 5.10'da verilen grafik ve Çizelge 5.13 ile özet sonuçlar gösterilmiştir.

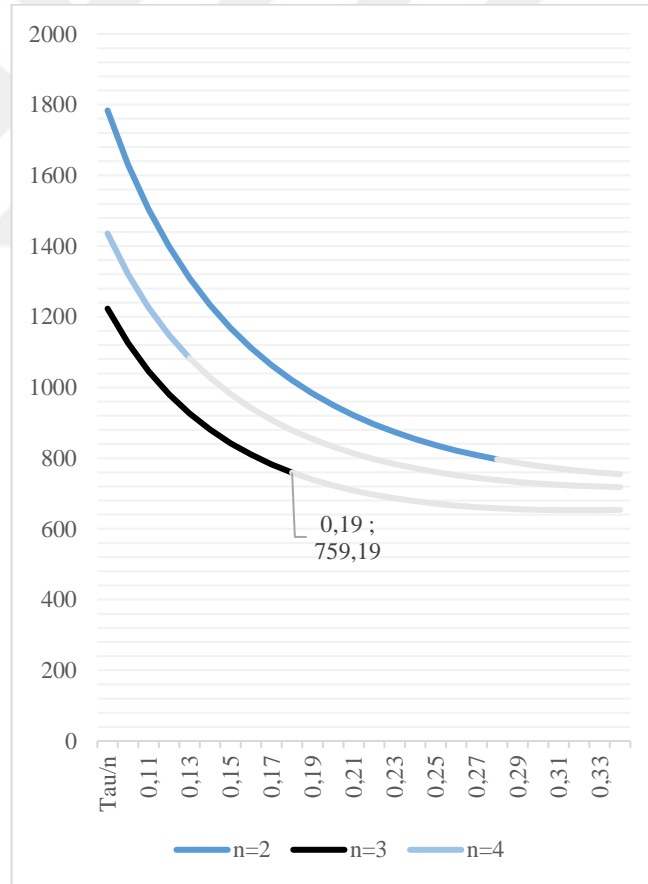


Şekil 5.10:  $\Lambda=(0,1;0,9)$  ve  $C_T=(10, 150, 200, 4000)$  için en iyi  $C(n, \tau)$  değerleri

Çizelge 5.13:  $\Lambda=(0,1;0,9)$  ve  $C_T = (10, 150, 200, 4000)$  için en iyi  $C(n,\tau)$  değerleri

Tau/n	n=2	<b>n=3</b>	n=4	n=5	n=6
0,05	1710,3	1149,3	970,40	825,02	729,34
0,1	883,58	615,59	535,69	471,52	430,79
0,15	633,64	470,84	428,21	393,46	371,90
<b>0,19</b>	546,59	<b>431,43</b>	405,37	382,66	368,25
0,25	494,06	423,73	411,50	397,72	388,05
0,3	486,92	439,90	433,02	422,35	414,53
0,35	497,81	465,87	461,04	451,89	445,74

İkinci olarak maliyet parametrelerini  $C_I=100$ ;  $C_P=150$ ;  $C_R=200$ ;  $C_D=4000$  alalım. Bu durumda farklı  $(n, \tau)$  parametreleri için elde edilen en iyi  $C(n, \tau)$  değerleri tüm enumerasyon yöntemi ile bulunmuş, Şekil 5.11’de verilen grafik ve Çizelge 5.14 ile özet sonuçlar gösterilmiştir.

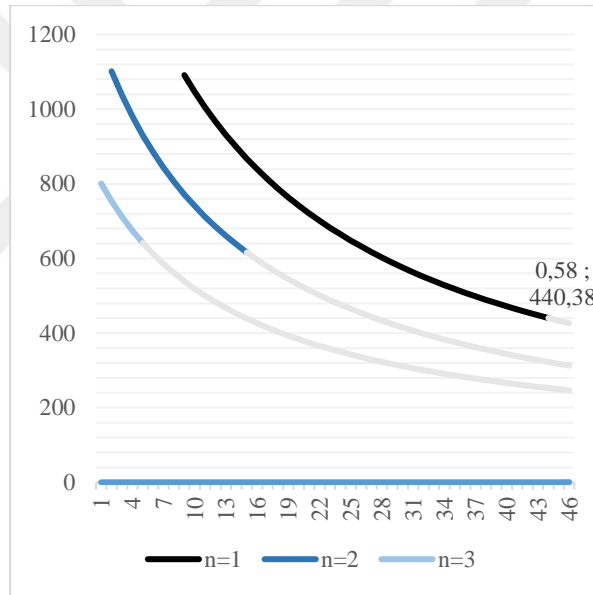


Şekil 5.11:  $\Lambda=(0,1;0,9)$  ve  $C_T = (100, 150, 200, 4000)$  için en iyi  $C(n,\tau)$  değerleri

Çizelge 5.14:  $\Lambda=(0,1;0,9)$   $C_T = (100, 150, 200, 4000)$  için en iyi  $C(n,\tau)$  değerleri

Tau/n	n=2	n=3	n=4
0,1	1783,5	1223,0	1435,6
0,15	1233,6	880,98	1028,1
<b>0,19</b>	1020,2	<b>759,19</b>	878,89
0,25	853,94	677,98	771,30
0,3	786,78	655,65	732,79

Görünür hata sıklığının gizli hata sıklığına göre çok yüksek olduğu durumda üçüncü olarak maliyet parametrelerini  $C_I=100$ ;  $C_P=150$ ;  $C_R=200$ ;  $C_D=10$  alalım. Bu durumda farklı  $(n, \tau)$  parametreleri için elde edilen en iyi  $C(n, \tau)$  değerleri tüm enumerasyon yöntemi ile bulunmuş, Şekil 5.12’de verilen grafik ve Çizelge 5.15 ile özet sonuçlar gösterilmiştir.

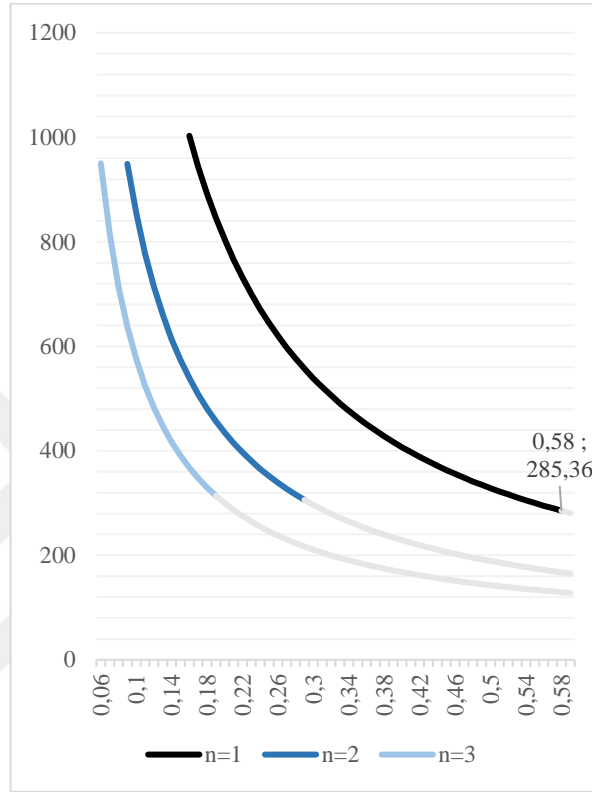


Şekil 5.12:  $\Lambda=(0,1;0,9)$  ve  $C_T = (100, 150, 200, 10)$  için en iyi  $C(n,\tau)$  değerleri

Çizelge 5.15:  $\Lambda=(0,1;0,9)$   $C_T = (100, 150, 200, 10)$  için en iyi  $C(n,\tau)$  değerleri

Tau/n	n=1	n=2	n=3
0,15	1669,6	1174,1	800,91
0,25	1004,6	711,39	500,11
0,35	720,49	514,75	374,35
0,5	508,33	368,84	282,12
<b>0,58</b>	<b>440,38</b>	322,37	252,83
0,59	433,19	317,46	249,73

Son olarak maliyet parametrelerini  $C_I=10$ ;  $C_P=150$ ;  $C_R=200$ ;  $C_D=10$  alalım. Bu durumda farklı  $(n, \tau)$  parametreleri için elde edilen en iyi  $C(n, \tau)$  değerleri tüm enumerasyon yöntemi ile bulunmuş, Şekil 5.13'te verilen grafik ve Çizelge 5.16 ile özet sonuçlar gösterilmiştir.



Şekil 5.13:  $\Lambda=(0,1;0,9)$  ve  $C_T = (10, 150, 200, 10)$  için en iyi  $C(n, \tau)$  değerleri

En iyi sonuç 0,58 birim zamanda bir kontrol yapmak ve ilk kontrolden sonra önleyici yenileme yapmaktır.

Çizelge 5.16:  $\Lambda=(0,1;0,9)$   $C_T = (10, 150, 200, 10)$  için en iyi  $C(n, \tau)$  değerleri

Tau/n	<b>n=1</b>	n=2	n=3
0,1	1602,0	855,20	575,90
0,2	803,83	434,58	299,62
0,3	538,85	296,61	210,66
0,4	407,06	228,91	167,73
0,5	328,47	189,05	142,81
<b>0,58</b>	<b>285,36</b>	167,43	129,42
0,59	280,80	165,15	128,02

Dört farklı maliyet parametre dördlüsüyle elde edilen sonuçlar Çizelge 5.17 ile özetlenebilir.

Çizelge 5.17:  $F_1 \sim \text{Gamma}(2; 0,9)$  ve  $F_2 \sim \text{Gamma}(2; 0,1)$  dağılımında maliyet değişiminin karar parametreleri ve minimum  $C(n, \tau)$  değerine etkisi

$(C_I, C_P, C_R, C_D)$	$F_1 \sim \text{Gamma}(2; 0,1)$ ve $F_2 \sim \text{Gamma}(2; 0,9)$		
	$(n)$	$(\tau)$	$C(n, \tau)$
(10, 150, 200, 4000)	3	0,19	431,43
(100, 150, 200, 4000)	3	0,19	759,19
(100, 150, 200, 10)	1	0,58	440,38
(10, 150, 200, 10)	1	0,58	285,36

Çizelge 5.7’de iki hata tipinin olasılık dağılımları birbirine yakınken, ilk iki veriden görüleceği üzere kontrol maliyetinin artışı periyodun uzamasına ve toplam periyot sayısının azalmasına neden olmuştur. Arızalı çalışma maliyeti daha kısa periyotta daha az olmasına rağmen, periyodik kontrol maliyetinin olumsuz etkisini telafi edememektedir. Bu nedenle, periyot sayısını azaltarak daha çok arızalı çalışma maliyeti göze alınmış ve daha az kontrol maliyeti hedeflenmiştir. Fakat Çizelge 5.17’deki ilk iki veriden görüleceği üzere kontrol maliyeti çok artsa da periyot sayısının azalmasına neden olamamıştır. Bunun nedeni, gizli hata olma ihtimalinin dolayısıyla arızalı çalışma maliyetinin etkisinin çok yüksek olmasıdır. Daha yüksek kontrol maliyetini göze alarak, arızalı çalışma maliyetinin azalması sağlanmış olur. Çizelge 5.17’den çıkarılacak diğer önemli sonuç ise arızalı çalışma maliyetinin etkisinin periyodik bakım sayısı ve uzunluğuna etkisinin çok yüksek olduğudur. Bölüm 5.1.2’de incelenen, gizli hata ihtimalinin görünür hataya göre çok daha az sıklığa sahip olduğu durumdaki sonuçları içeren Çizelge 5.12’de birinci ile dördüncü ve ikinci ile üçüncü veriler kendi içinde kıyaslandığında arızalı çalışma maliyeti çok artsa da bakım stratejisine etki edemediği görülmüştür. Fakat bu bölümde ispatlanmıştır ki, gizli hata olasılığı artarsa, arızalı çalışma maliyetinin bakım politikasına etkisi de artacaktır. Hata sıklığının değişiminin yani hata tiplerinin olasılık dağılım fonksiyonu parametrelerinin değişiminin bakım stratejisine etkisi bölüm 5.2’de ayrıntılı olarak incelenmiştir.

## 5.2 Maliyetlerin Sabit Olduğu Durumda Dağılımların Bakım Politikasına Etkisi

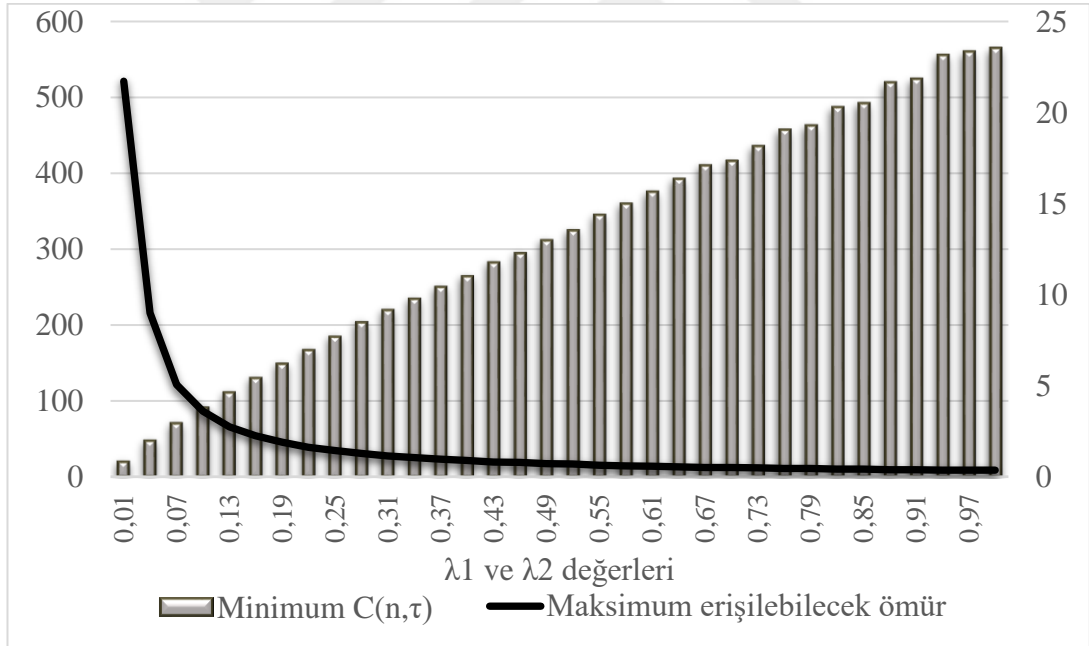
Bölüm 5.1’de literatürde değinilmemiş bir konuyu irdelemek adına üç farklı başlık altında hata dağılım fonksiyonları sabitken maliyet değişiminin, bakım politikası üzerine etkisi incelenmişti. Bu bölümde ise maliyetler sabitken iki hata tipinin sahip olduğu olasılık fonksiyonlarının parametre değişiminin bakım politikasına ve birim



zamana düşen ortalama maliyete etkisi incelenecektir. Bu inceleme yapılırken bir önceki bölümle tutarsızlık olmaması adına maliyet parametreleri aynı kabul edilmiş, dağılım fonksiyonu olarak da yine Gamma( $\alpha$ ;  $\lambda$ ) seçilmiştir. Gamma fonksiyonunda “ $\alpha$ ” 1’den büyük olduğu durumda “Artan Arızalanma Sıklığına” sahip olur. Dağılımların ve senaryoların daha kolay karşılaştırılabilmesi için, seçilen dağılım fonksiyonlarında “ $\alpha$ ” sabit olarak 2 alınmış ve “ $\lambda$ ” parametresinin etkisi araştırılmıştır.

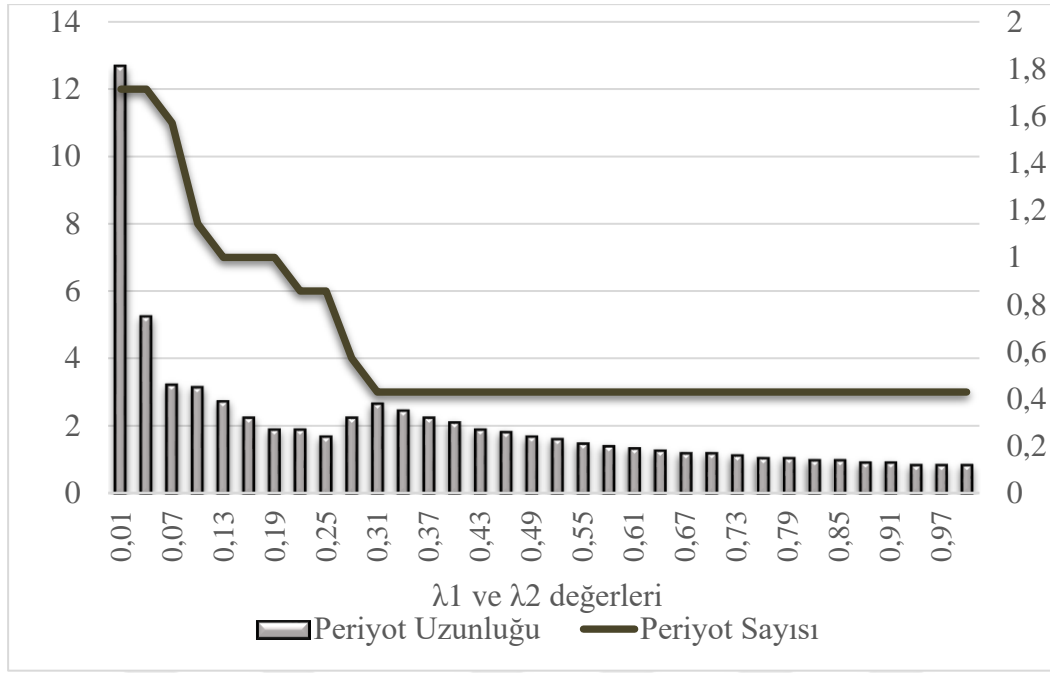
### 5.2.1 Arızalı çalışma maliyetinin çok yüksek olduğu durum

Arızalı çalışma maliyetinin diğer parametrelere göre çok yüksek olduğu durumu incelemek için maliyet parametrelerimiz  $C_I=10$ ;  $C_P=150$ ;  $C_R=200$ ;  $C_D=4000$  olsun. Görünür Hata( $F_1$ ) Gamma(2;  $\lambda$ ) Gizli Hata( $F_2$ ) Gamma(2;  $\lambda$ ) olasılık dağılımlarına sahip olsunlar. İki dağılım için de “ $\lambda$ ” değerlerinin birlikte arttığı ve en az %90 güvenilirlik değeri hedeflenen her durum için elde edilen  $C(n, \tau)$  değerleri ve sistemin ulaşabileceği maksimum ömür grafiği Şekil 5.14’te, her “ $\lambda$ ” için oluşan en iyi bakım politikasındaki “ $n$ ” ve “ $\tau$ ” değerleri Şekil 5.15’te verilmiştir.



Şekil 5.14:  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$  değerleri 0’dan 1’e kadar arttığında  $C(n, \tau)$  ve  $(n, \tau)$  değerleri

Şekil 5.14’teki grafikten görüleceği üzere  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$  değerleri arttığında sistemin görünür ve gizli hata yapma olasılığı da artmaktadır. Bu, birim zaman başına düşen ortalama maliyeti arttırır ve sistemin ulaşabileceği maksimum ömrü azaltır.



Şekil 5.15:  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$  değerleri 0'dan 1'e kadar arttığında "n" ve " $\tau$ " değerleri

Şekil 5.15'teki grafikte  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$  değerleri artarken periyot uzunluğu ve toplam kontrol sayısı azalmıştır. Bunun en önemli nedeni bir önceki bölümde de elde ettiğimiz üzere arızalı çalışma maliyetinin bakım politikasına etkisidir. Özellikle  $\lambda_2$  değerinin artması gizli hata riskini arttırdığından daha kısa aralıklarla kontrol yapma ihtiyacı doğmaktadır. Aralıkların kısılması grafiğin sonunda  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$  değerlerinin artmasıyla beraber devam etmektedir. Periyot sayısının bir süre sonra azalmamasını açıklamak için çizelge 5.18'i inceleyelim.

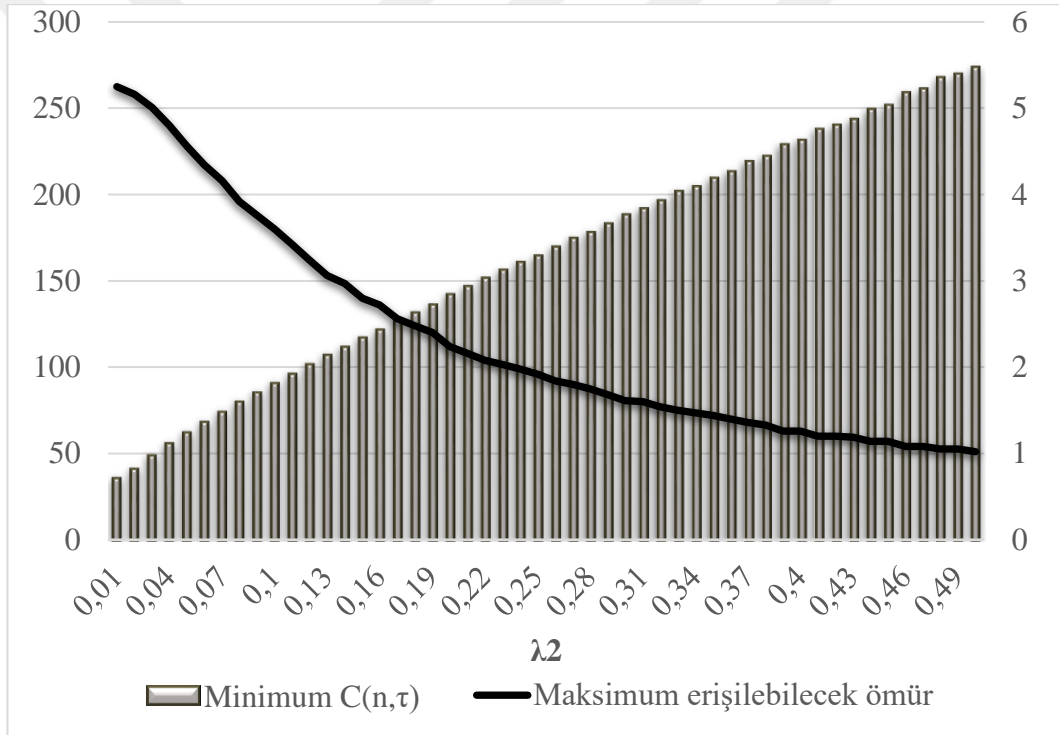
Çizelge 5.18: 2 ve 3 periyotlu sistemdeki en iyi politikaların karşılaştırılması

Tau	N=2				N=3			
	Güvenilirlik	E[C]	E[L]	E[C]/E[L]	Güvenilirlik	E[C]	E[L]	E[C]/E[L]
0,12	0,960	181,023	0,238	761,763	0,917	192,905	0,351	548,896
0,13	0,954	183,614	0,257	714,418	0,905	197,949	0,379	521,974
0,18	0,917	201,7138	0,352	572,586	0,835	231,297	0,513	450,984
0,19	0,909	206,396	0,371	556,360	0,821	239,508	0,538	444,828
0,20	0,900	211,436	0,390	542,798	0,805	248,191	0,564	440,398

Çizelge 5.18 incelendiğinde %90 güvenilirlik değerini sağlayan 2 ve 3 periyotlu bakım politikalarının en iyileri görülmektedir. Şekil 5.15'te  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$  değerleri 0,3'te n=3 oluncaya kadar azalma trendi devam etmektedir. Bu noktadan sonra arızalı çalışma maliyetinin etkisiyle periyot uzunluğu azalırken periyot sayısı sabit kalmaktadır.

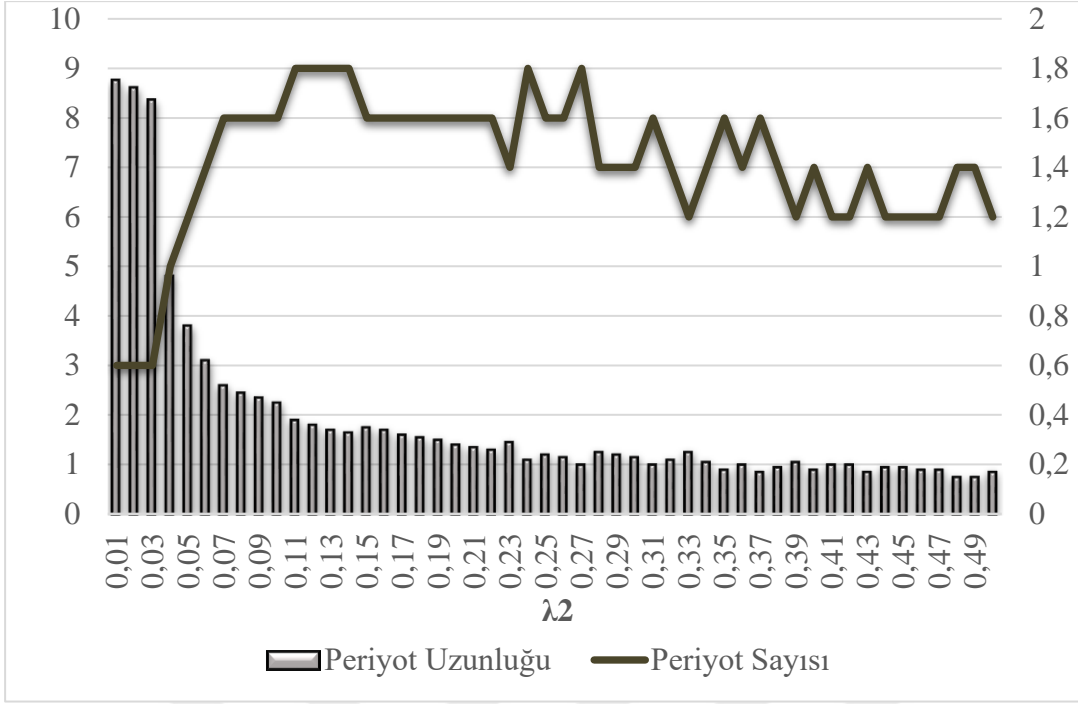
Çizelge 5.18’de görüleceği üzere aynı periyot uzunluğu değerinde periyot sayısı 2 iken arızalı çalışma maliyetinin etkisi görülmeyecek toplamda sadece kontrol maliyeti devreye girecektir. Fakat periyot uzadığında maliyet artsa da beklenen ortalama sistem ömrü daha fazla artacaktır. Bu nedenle beklenen birim uzunluğun maliyeti düşecektir ve birim uzunluk maliyeti daha az olduğu için kontrol sayısının daha fazla olduğu politika seçilecektir.

İki dağılımın parametrelerinin aynı anda arttığı durum incelendikten sonra, ayrı ayrı artışların incelenmesi önem arz etmektedir. İlk olarak görünür hata parametrelerini  $\alpha=2$ ,  $\lambda_1=0,1$  sabit tutup, gizli hatanın sahip olduğu olasılık fonksiyonunun  $\lambda$  parametresi 0’ dan 0,5’e kadar arttırılmış ve Şekil 5.16 ve Şekil 5.17’deki grafikler elde edilmiştir.



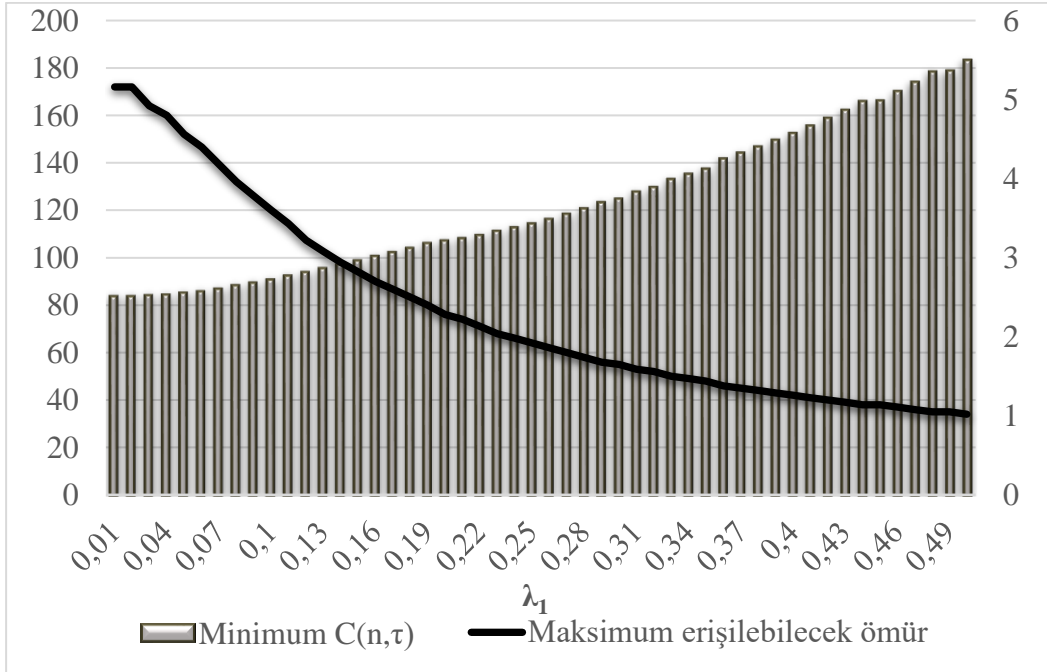
Şekil 5.16:  $\lambda_1$  sabitken  $\lambda_2$  değeri 0’ dan 0,5’e kadar arttığıında  $C(n, \tau)$  ve  $(n, \tau)$  değerleri

Bundan önceki bölümlerde de değinildiği üzere  $\lambda_2$  değerinin artması gizli hata sıklığının artmasına, dolayısıyla arızalı çalışma maliyetinin çok yüksek olduğu durumda periyot uzunluğunun ve maksimum erişilebilecek ömrün kısaltmasına yol açmaktadır. Kontrol maliyetinin sonuca etkisinin çok az olduğu, Şekil 5.17’de  $\lambda_2$  değerinin artmasına rağmen en iyi bakım stratejilerinde çok sayıda kontrol periyodunun yer almasından anlaşılmaktadır.

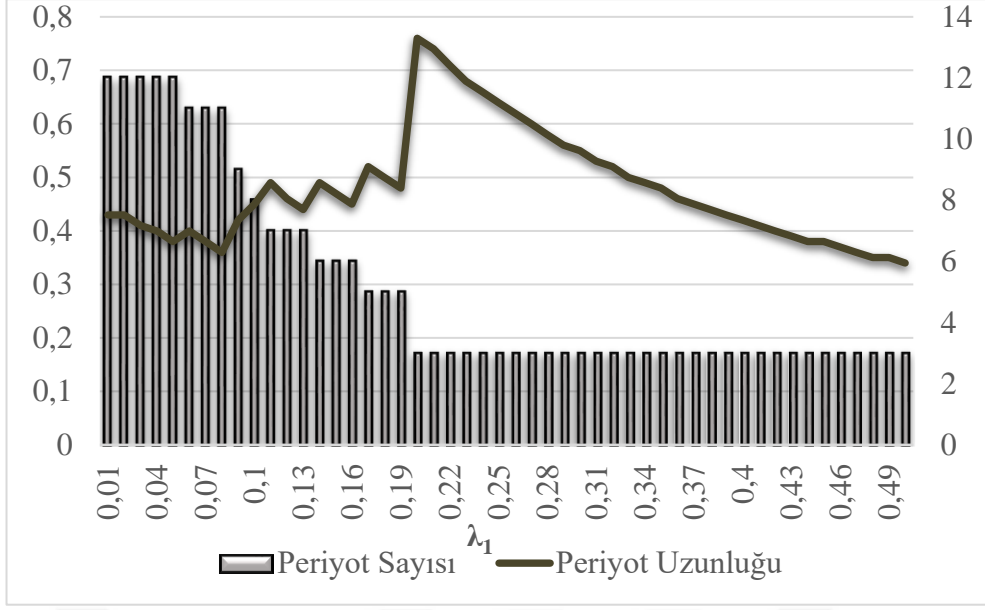


Şekil 5.17:  $\lambda_1$  sabitken  $\lambda_2$  değeri 0'dan 0,5'e kadar arttığında "n" ve " $\tau$ " değerleri

Son olarak  $\lambda_2$  değerinin sabit 0,1 olduğu  $\lambda_1$  değerinin değiştiği durumu incelediğimizde Şekil 5.18 ve Şekil 5.19'daki grafikler elde edilmiştir.



Şekil 5.18:  $\lambda_2$  sabitken  $\lambda_1$  değeri 0'dan 0,5'e kadar arttığında  $C(n, \tau)$  ve ( $n \cdot \tau$ ) değerleri

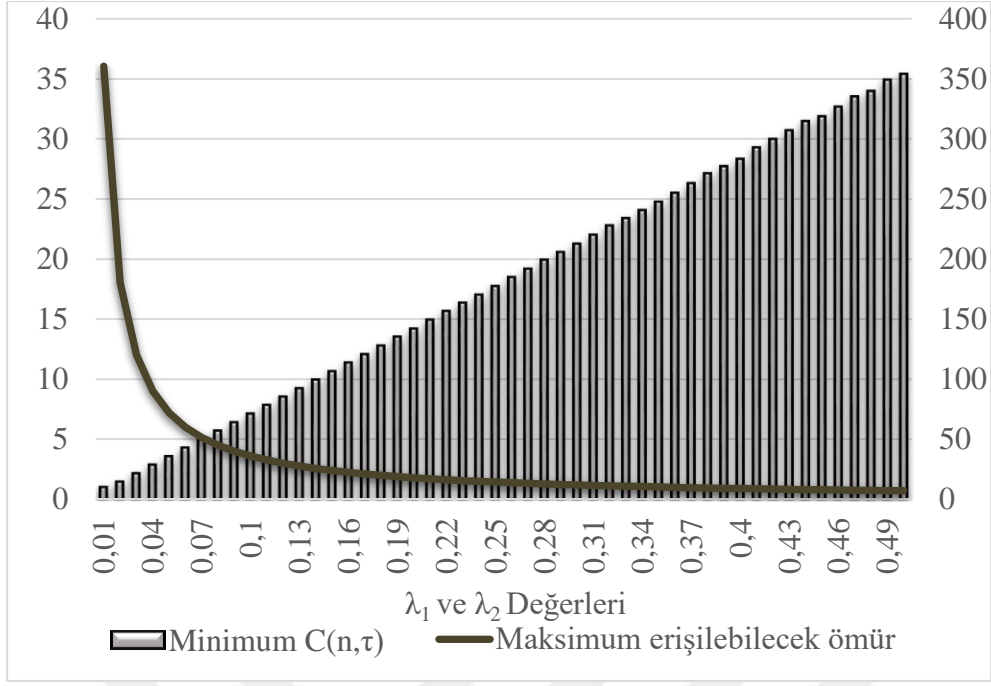


Şekil 5.19:  $\lambda_2$  sabitken  $\lambda_1$  değeri 0'dan 0,5'e kadar arttığında "n" ve "τ" değerleri

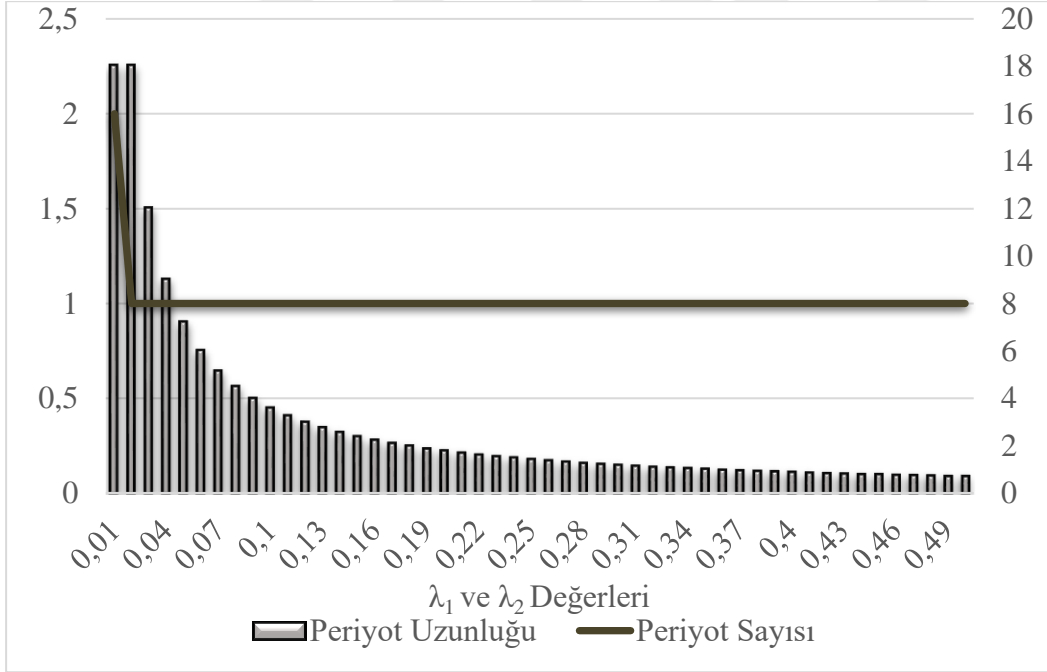
Şekil 5.19'da görüleceği üzere  $\lambda_1$  değeri 0,2 olana kadar periyot uzunluğu artma eğilimindedir. Bunun nedeni gizli hata sıklığı sabitken arızalı çalışma maliyetinin bakım stratejisine etkisinin çok olmamasıdır. Bu andan sonra hem görünür hata sıklığının artması ve beraberinde getireceği yenileme maliyeti ile arızalı çalışma maliyetinin etkisinin artması periyot uzunluğunun kısılmasına neden olmaktadır. Çizelge 5.18'i değerlendirirken elde ettiğimiz, periyot sayısının sabit kalırken periyot uzunluğunun azalmasının birim zaman başına ortalama maliyete olumlu etkisi bu senaryoda da ortaya çıkmaktadır.  $\lambda_1$  değeri 0,2'den sonra en iyi bakım politikalarında periyot sayısı 3 olarak seçilmiş, periyot uzunluğu kısaltılmıştır.

### 5.2.2 Kontrol maliyetinin çok yüksek olduğu durum

Kontrol maliyetinin çok yüksek olduğu ve yenileme maliyetine çok yakın olduğu durumu incelemek için maliyet parametrelerimiz  $C_I=100$ ;  $C_P=150$ ;  $C_R=200$ ;  $C_D=10$  olsun. Görünür Hata( $F_1$ ) Gamma(2; $\lambda$ ) Gizli Hata( $F_2$ ) Gamma(2;  $\lambda$ ) olasılık dağılımlarına sahip olsunlar. İki dağılım için de " $\lambda$ " değerlerinin birlikte arttığı ve en az %90 güvenilirlik değeri hedeflenen her durum için elde edilen  $C(n, \tau)$  değerleri ve sistemin ulaşabileceği maksimum ömür grafiği Şekil 5.20'de, her " $\lambda$ " için oluşan en iyi bakım politikasındaki "n" ve "τ" değerleri Şekil 5.21'de verilmiştir.



Şekil 5.20:  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$  değerleri 0'dan 0,5'e kadar arttığında  $C(n, \tau)$  ve  $(n, \tau)$  değerleri



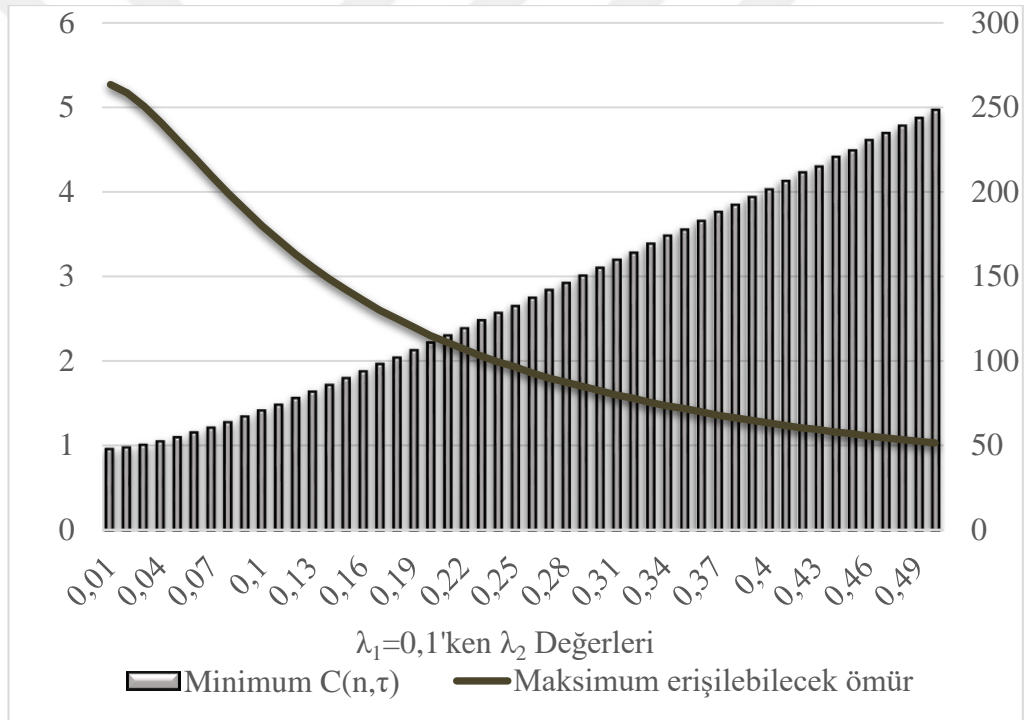
Şekil 5.21:  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$  değerleri 0'dan 0,5'e kadar arttığında "n" ve "τ" değerleri

$\lambda_1$  ve  $\lambda_2$  değerlerinin artmasının maksimum erişilebilir ömür ve birim zaman başına maliyet üzerinde farklı trendlerde bir etkisi yoktur. Şekil 5.20'den de görüleceği üzere  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$  değerlerinin artması negatif korelasyonlu olarak ömrü etkilerken, pozitif korelasyonlu olarak maliyeti arttırmaktadır. Şekil 5.21'den görüleceği üzere, kontrol

maliyeti çok yüksek olduğundan, karar verici kontrol için bir maliyet oluşturmaktansa sistemi yenilemeyi tercih etmelidir.

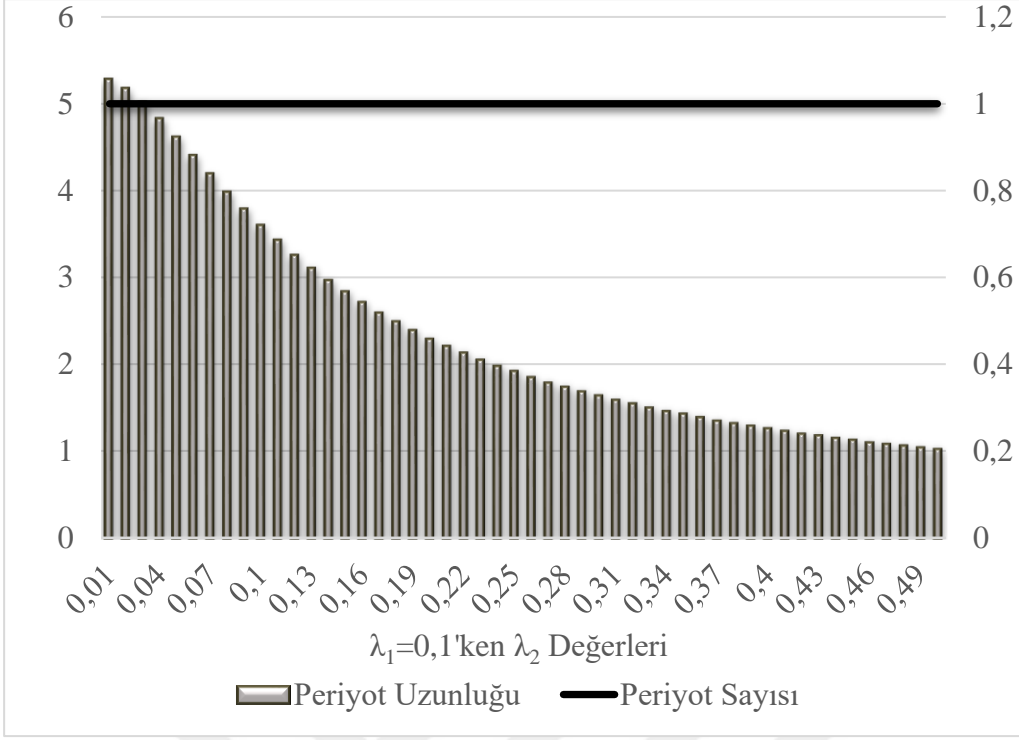
İki dağılımın parametrelerinin aynı anda arttığı durum incelendikten sonra, ayrı ayrı artışların incelenmesi için bir önceki senaryoyla uyumlu olarak önce görünür hata parametrelerini sabit tutup, gizli hatanın sahip olduğu olasılık fonksiyonunun  $\lambda$  parametresi 0'dan 0,5'e kadar arttırılmış sonra gizli hata parametreleri sabit tutulup görünür hatanın sahip olduğu olasılık fonksiyonunun  $\lambda$  parametresi 0'dan 0,5'e kadar arttırılmıştır.

$\lambda_1$  değeri sabit 0,1'ken  $\lambda_2$  değerlerinin değişimi sonucu elde edilen grafikler Şekil 5.22 ve Şekil 5.23'te verilmiştir.



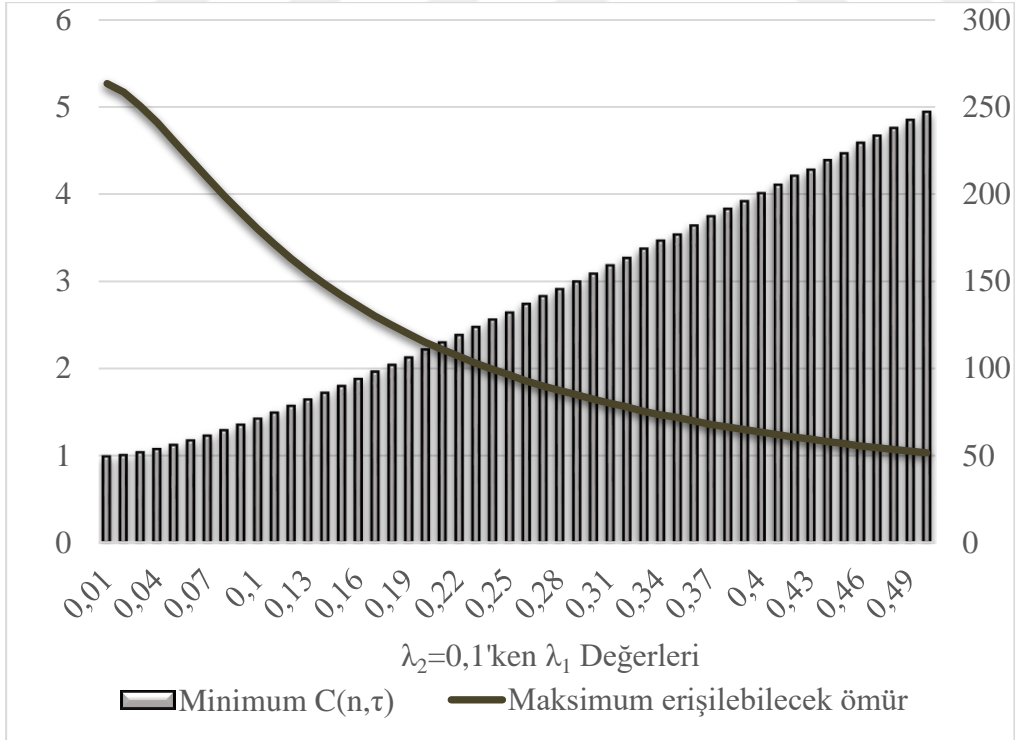
Şekil 5.22:  $\lambda_1$  sabitken  $\lambda_2$  değeri 0'dan 0,5'e kadar arttığında  $C(n, \tau)$  ve  $(n, \tau)$  değerleri

Şekil 5.23'den görüleceği üzere,  $\lambda_1$  Sabitken  $\lambda_2$  değerinin değişmesi iki parametrenin birden arttığı durumla aynı etkiyi göstermiş, negatif korelasyonlu olarak ömrü etkilerken, pozitif korelasyonlu olarak maliyeti arttırmıştır. Arızalı çalışma maliyetinin çok yüksek olduğu 5.2.1'deki senaryoda  $\lambda_2$  değerinin artması büyük farklılıklara neden olurken bu senaryoda Şekil 5.23'te de görüleceği üzere kontrol maliyeti etkisi daha barizdir. Karar verici için sistemin birden fazla periyotta kontrol yapılmasındansa, sistemi yenilemek daha mantıklıdır.



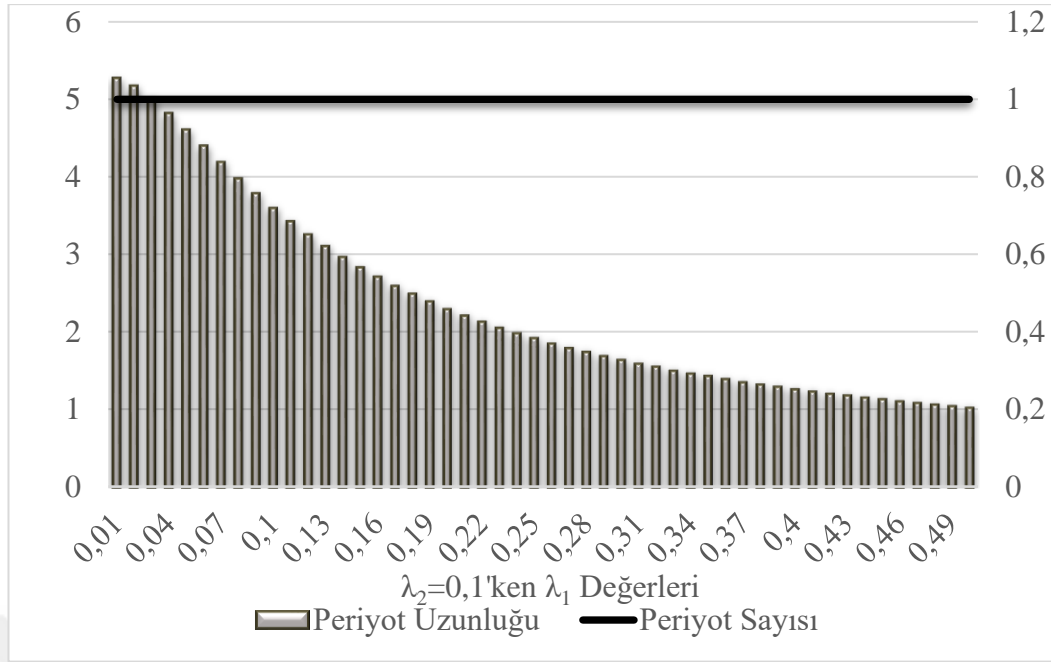
Şekil 5.23:  $\lambda_1$  sabitken  $\lambda_2$  değeri 0'dan 0,5'e kadar arttığında "n" ve "τ" değerleri

$\lambda_2$  değeri sabit 0,1'ken  $\lambda_1$  değerlerinin değişimi sonucu elde edilen grafikler Şekil 5.24 ve Şekil 5.25'de verilmiştir.



Şekil 5.24:  $\lambda_2$  sabitken  $\lambda_1$  değeri 0'dan 0,5'e kadar arttığında  $C(n, \tau)$  ve  $(n, \tau)$  değerleri





Şekil 5.25:  $\lambda_2$  sabitken  $\lambda_1$  değeri 0'dan 0,5'e kadar arttığında "n" ve " $\tau$ " değerleri

Şekil 5.22 ile Şekil 5.24'ün, Şekil 5.23 ve Şekil 5.25'e çok benzemesi dağılım parametrelerinin değişiminin etkisinin bu senaryoda sonucu etkilemediğinin göstergesidir.

Arızalı çalışma maliyeti yüksek olmadığı için sistemin gizli hataya maruz kalmasının bakım stratejisi üzerinde etkisi görülmemektedir. Çizelge 5.19'dan da görüleceği üzere  $\lambda_1$ 'in sabit olduğu önceki senaryoyla benzer sonuçlar ortaya çıkmıştır.

Çizelge 5.19:  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$ 'nin sabit ve değişken olduğu durumlarda elde edilen sonuçlar

$\lambda_1$	$\lambda_2$	n	$\tau$	$n*\tau$	Min C(n, $\tau$ )
0,1	0,2	1	2,3	2,3	110,75
0,1	0,3	1	1,65	1,65	155,26
0,2	0,1	1	2,3	2,3	111,44
0,3	0,1	1	1,65	1,65	154,20

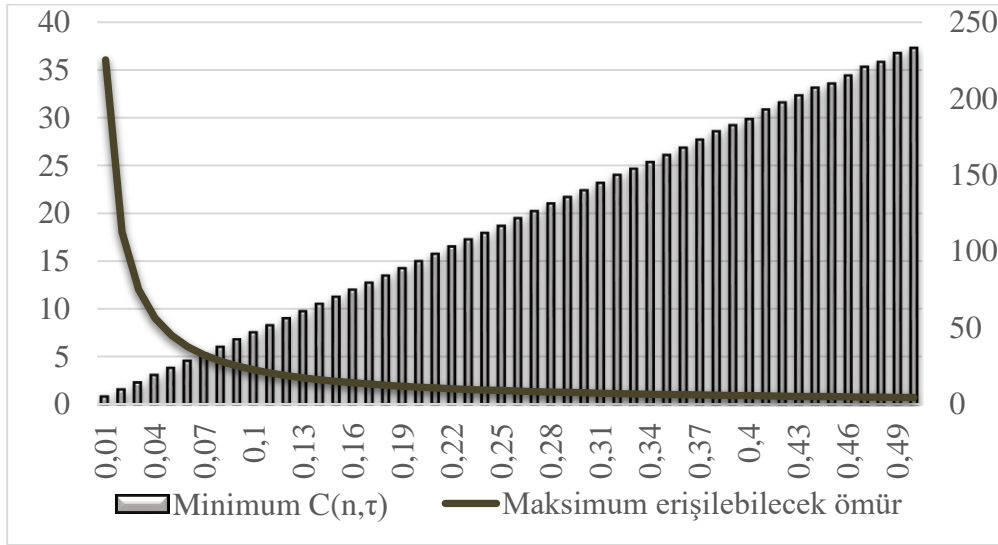
### 5.2.3 Yenileme maliyetinin çok yüksek olduğu durum

Arızalı çalışma maliyeti ve kontrol maliyetlerinin yüksek olduğu durumlar ayrı ayrı incelendikten sonra son olarak yenileme maliyetinin çok yüksek olduğu durumun incelenmesi amacıyla maliyet parametreleri  $C_I=10$ ;  $C_P=150$ ;  $C_R=200$ ;  $C_D=10$  olsun. Bu tezde incelenen maliyetler gerçek değerler olmadığından maliyetin çokluğu ve azlığı oransal olarak değerlendirilmelidir.  $C_I=10$ ;  $C_D=10$  alındığında yenileme maliyetleri

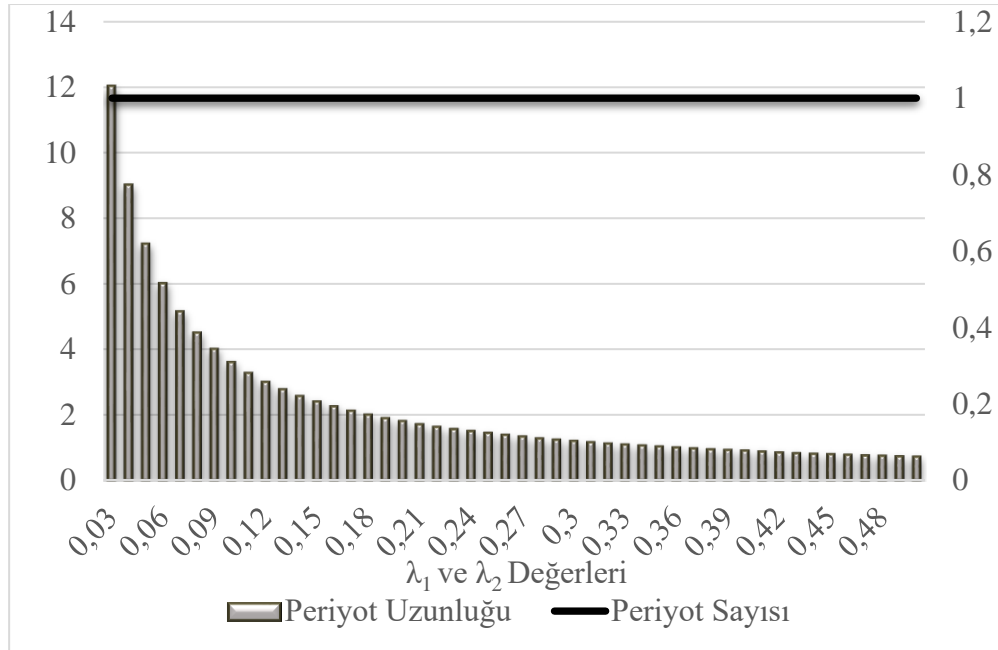
oransal olarak çok yüksek olmaktadır. Değerlerin tüm senaryolarda aynı alınması, tutarlılık sağlanması ve daha isabetli karşılaştırma yapılabilmesi içindir.

Bu başlık altında bölüm 5.2.1 ve 5.2.2’de olduğu gibi  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$  değerlerinin beraber arttığı durum ve ayrı ayrı artıkları durumlar incelenmiştir.

İlk olarak  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$  değerlerinin beraber arttığı durum incelendiğinde Şekil 5.26 ve Şekil 5.27 elde edilmiştir.



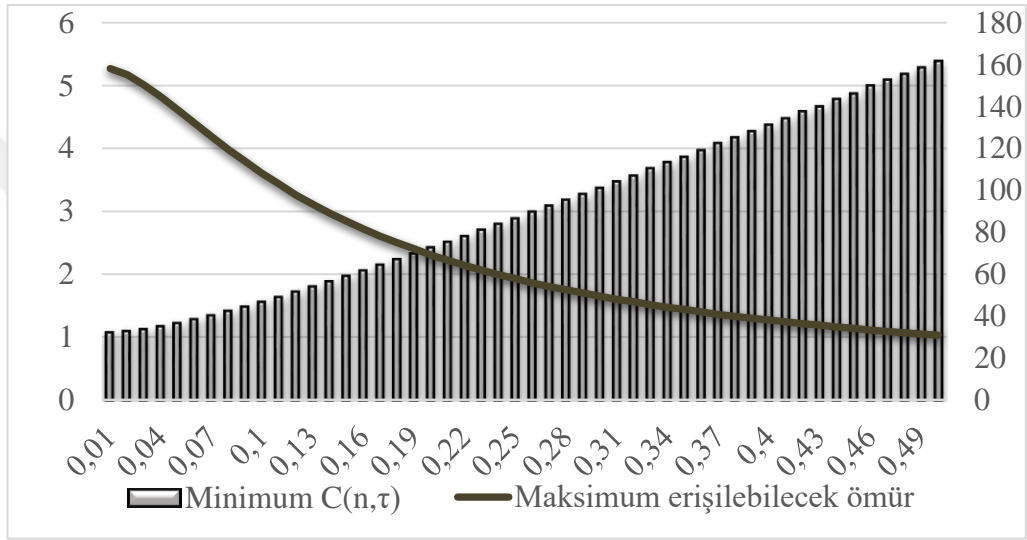
Şekil 5.26:  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$  değerleri 0’dan 0,5’e kadar arttığıında  $C(n, \tau)$  ve  $(n, \tau)$  değerleri



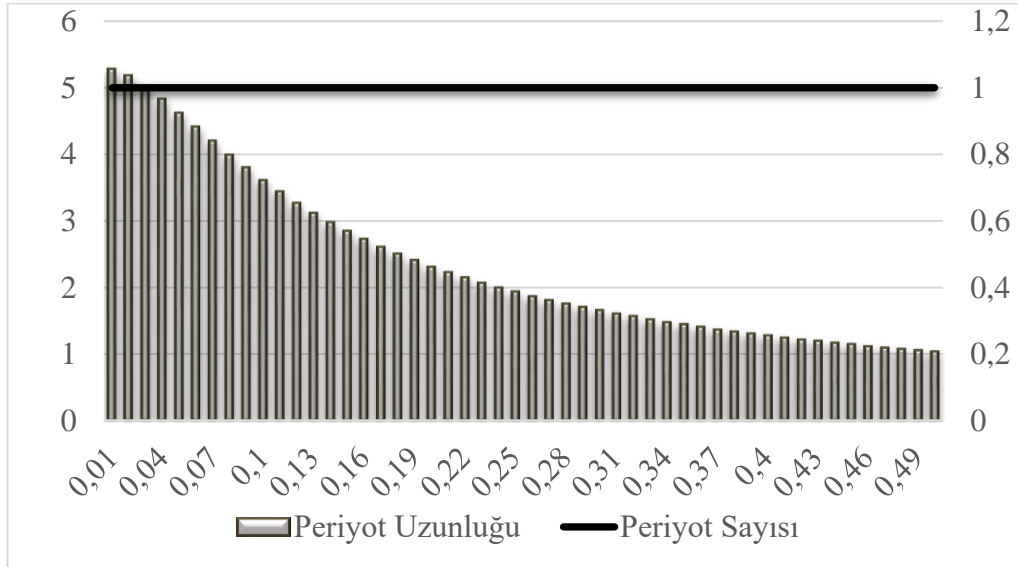
Şekil 5.27:  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$  değerleri 0’dan 0,5’e kadar arttığıında “n” ve “τ” değerleri

$\lambda_1$  ve  $\lambda_2$  değerleri arttıkça  $C(n, \tau)$  değerleri pozitif korelasyonla artmakta “n.τ” değeri ise negatif korelasyonlu olarak azalmaktadır. Bu senaryoda  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$  değerlerinden bağımsız olarak bakım politikası sabit tek periyottur.  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$  değerleri arttıkça hata sıklığı arttığından sistemin beklenen ömrü azalmakta buna bağlı olarak da “τ” değeri küçülmektedir.

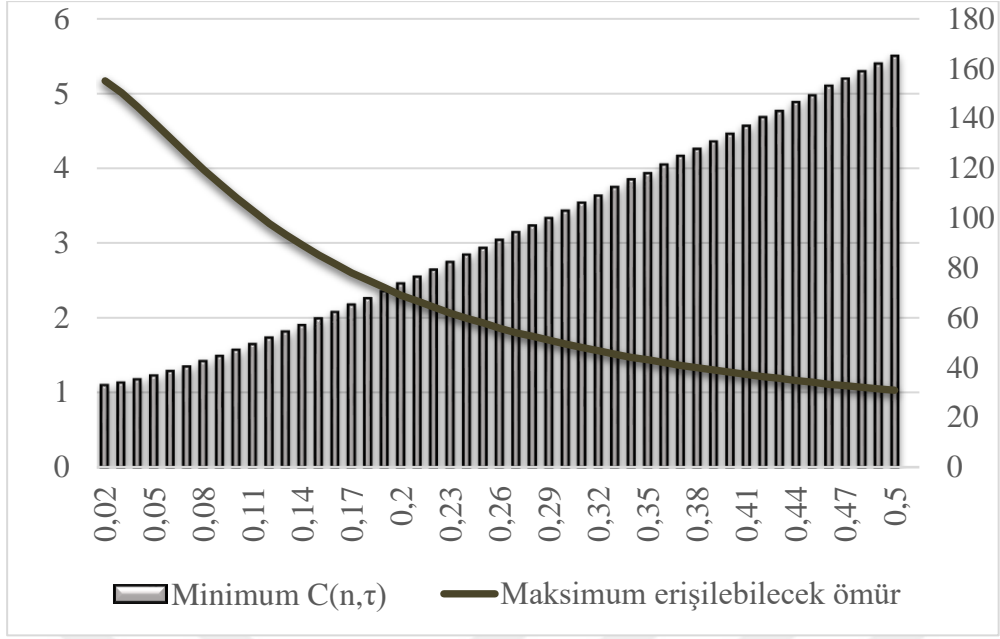
$\lambda_1$  ve  $\lambda_2$  değerlerinden birinin sabit tutulup diğerinin 0’dan 0,5’e kadar arttırıldığı durumda elde edilen grafikler Şekil 5.28, Şekil 5.29, Şekil 5.30 ve Şekil 5.31’de verilmiştir.



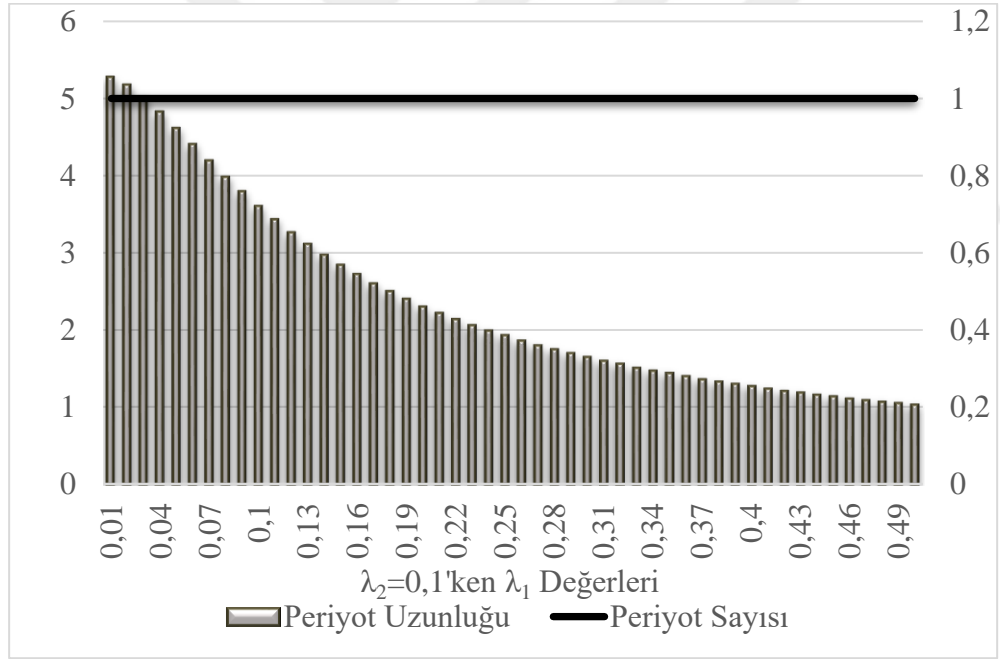
Şekil 5.28:  $\lambda_1$  sabitken  $\lambda_2$  değeri 0’dan 0,5’e kadar arttığına  $C(n, \tau)$  ve  $(n.\tau)$  değerleri



Şekil 5.29:  $\lambda_1$  sabitken  $\lambda_2$  değeri 0’dan 0,5’e kadar arttığına “n” ve “τ” değerleri



Şekil 5.30: λ₂ sabitken λ₁ değeri 0'dan 0,5'e kadar arttığında C(n, τ) ve (n.τ) değerleri



Şekil 5.31: λ₂ sabitken λ₁ değeri 0'dan 0,5'e kadar arttığında "n" ve "τ" değerleri

Şekil 5.28 ile Şekil 5.30 ve Şekil 5.29 ile Şekil 5.31 aralarında değerlendirildiğinde grafiklerin şekilleri ve aldıkları değerler birbirine çok benzemektedir. Bölüm 5.2.2'deki değerlendirmeye benzer olarak, dağılım parametrelerinin değişiminin etkisinin bu senaryoda sonucu etkilemediği söylenebilir.

Bölüm 5.2.2'deki ve bu bölümdeki grafiklerin birbirine çok benzemesi ve tek farklılığın periyodik kontrol maliyetinden kaynaklı olarak  $C(n, \tau)$ 'nin değişmesi, periyodik kontrol maliyetinin sistemin bakım stratejisine etkisinin olmadığını göstermektedir.

Bölüm 5.1'deki ve Bölüm 5.2'deki incelemeler topluca değerlendirildiğinde sistemin bakım politikasına en önemli etkinin arızalı çalışma maliyetinin yaptığı, parametre değişimlerinin de sadece arızalı çalışma maliyeti çok yüksek olduğunda bakım politikasını etkilediği görülmüştür.

Bölüm 5.1 ve Bölüm 5.2'deki incelemeler sistemin %90 güvenilirlik değerinin altına düşmediği varsayılarak yapılmıştı. Hedeflenen güvenilirlik değeri değişiminin etkileri Bölüm 5.3'te incelenecektir.

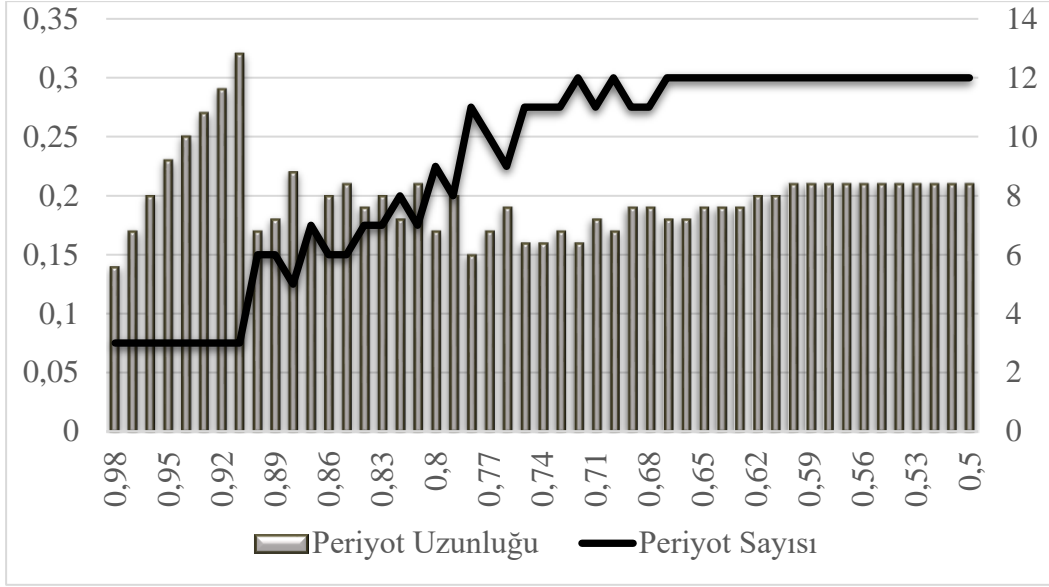
### **5.3 Sistem Yenilenirken Güvenilirlik Değeri Hedeflemesinin Bakım Politikasına Etkisi**

Bölüm 5.1 ve Bölüm 5.2'de yapılan değerlendirmeler sistemin en az %90 güvenilirlik değerinde olması hedeflendiğinde elde edilen sonuçları içermekteydi. Yapılan hesaplamalar sırasında farkedilmiştir ki güvenilirlik değeri kısıtı gevşetildiğinde alternatif bakım politikaları meydana gelmekte ve maliyet düşürülebilmektedir. Sistem sahibi karar verici için aşağıdaki başlıklarda ne kadarlık güvenilirlik değeri düşümü ne gibi kazançlar sağlamakta ve bakım politikaları nasıl şekillenmekte hususları incelenecektir.

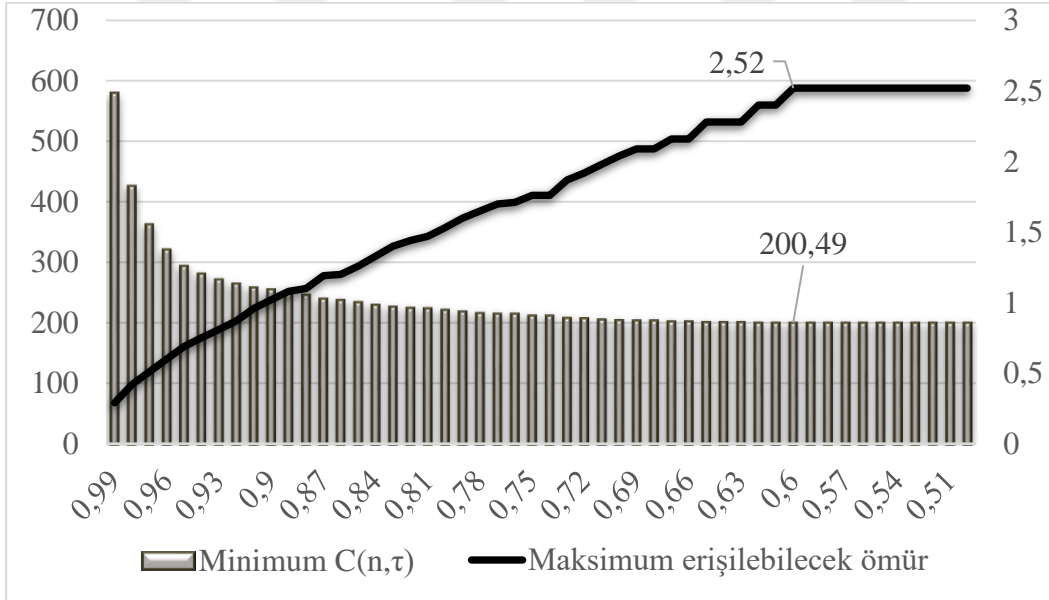
Güvenilirlik değeri hedeflemesinin etkisi araştırılırken bir önceki başlıklarda yapıldığı gibi farklı maliyet kombinasyonları için farklı hata dağılımları değerlendirilmiştir.

#### **5.3.1 Arızalı çalışma maliyeti çok yüksekken güvenilirlik etkisi**

Önceki bölümlerde görülmüştür ki sistemin bakım politikasına en yüksek etkiyi arızalı çalışma maliyeti oluşturmaktadır. Güvenilirlik hedefi kısıtı azaltıldığında oluşacak etki önceki bölümlerde olduğu gibi üç senaryoda incelenmiştir. Periyodik kontrol maliyeti, önleyici yenileme maliyeti, arıza sonucu yenileme maliyeti ve arızalı çalışma maliyeti değerleri sırasıyla 10, 150, 200 ve 4000 olsun. İlk olarak hata sıklıklarının birbirine yakın olduğu durumda elde edilen grafikler Şekil 5.32 ve 5.33'de verilmiştir. Görünür Hata( $F_1$ ) Gamma(2;0,3) Gizli Hata( $F_2$ ) Gamma(2; 0,4) olasılık dağılımlarına sahip olsunlar.



Şekil 5.32: Hata sıklıkları birbirine yakınken güvenilirlik değeri %50'ye kadar düşürüldüğünde n ve  $\tau$  değerleri



Şekil 5.33: Hata sıklıkları birbirine yakınken güvenilirlik değeri %50'ye kadar düşürüldüğünde  $C(n, \tau)$  ve  $(n \cdot \tau)$  değerleri

Şekil 5.32'de görüleceği üzere, Güvenilirlik değeri %90'a kadar azaldıkça periyot uzunluğu( $\tau$ ) artmaktadır. %90'dan sonra güvenilirlik değerinin azalmasıyla 0,16 ile 0,22 değerleri arasında değişken periyot uzunlukları oluşmaktadır. Bu değerler çok büyük bir aralığa sahip olmaması arızalı çalışma maliyetinin etkisinden kaynaklanmaktadır. Periyot uzadıkça, oluşabilecek arızalı çalışma maliyeti artacağından periyot uzunlukları belirli bir değer üstüne çıkamamaktadır. Şekil 5.33'de de görüldüğü gibi güvenilirlik değerinin azalmasının en büyük etkisi sistemin maksimum erişilebilecek ömrünün artması ve minimum ortalama birim başına maliyetin azalmasıdır. Bu senaryoda elde edilen en ilginç sonuç belirli bir değerden sonra

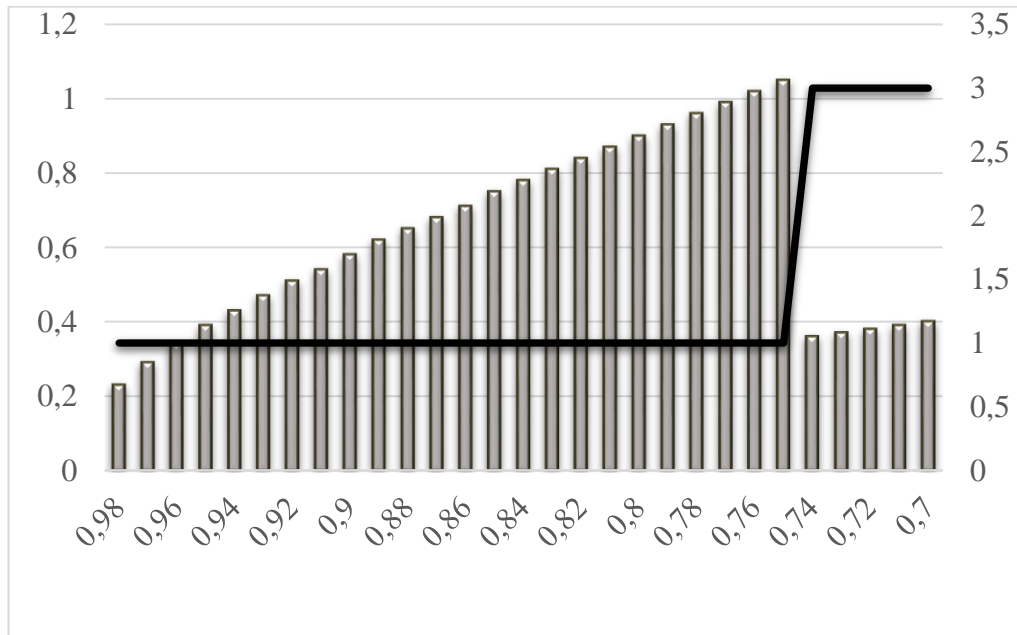
grafiğin stabil hale gelmesidir. Güvenilirlik değeri %60'ın altına düştükten sonra sistemin erişebileceği maksimum ömür 2,52 birimken maliyet 200,499'da sabit hale gelmiştir. Her %5'lik güvenilirlik değerini düşmesi durumunda elde edilen yüzdelik maliyet düşümü Çizelge 5.20'de verilmiştir.

Çizelge 5.20: Hata sıklıkları birbirine yakınken güvenilirlik değeri azaltıldığında oluşan  $C(n,\tau)$  değerleri ve yüzdesel değişimler

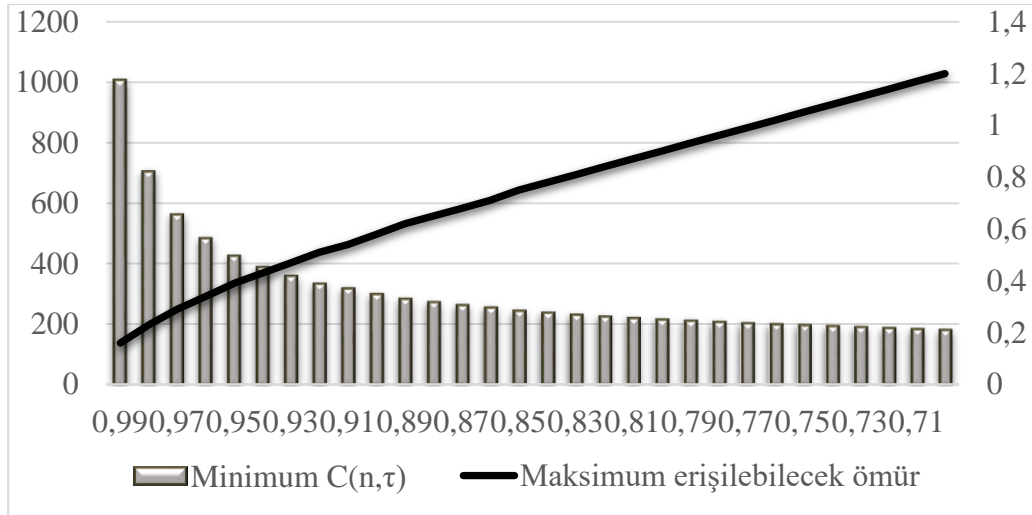
Güvenilirlik Değeri	Min $C(n,\tau)$	% Değişim
0,95	294,31	-
0,90	255,75	13,10
0,85	234,72	8,22
0,80	221,51	5,63
0,75	212,00	4,29
0,70	204,98	3,31
0,65	201,50	1,70
0,60	200,50	0,49

Çizelge 5.20'den yola çıkarak sistem sahibi, güvenilirlik değerinde ne kadarlık bir gevşetme yapacağına karar verebilir.

Görünür hata sıklığının, gizli hata'ya göre çok yüksek olduğu durum incelendiğinde ise Şekil 5.34 ve Şekil 5.35'deki grafikler elde edilmiştir. Görünür hata( $F_1$ ) Gamma(2;0,9) gizli hata( $F_2$ ) Gamma(2; 0,1) olasılık dağılımlarına sahip olsunlar.



Şekil 5.34: Görünür hata sıklığı yüksekken güvenilirlik değeri %70'e kadar düşürüldüğünde  $n$  ve  $\tau$  değerleri



Şekil 5.35: Görünür hata sıklığı yüksekken güvenilirlik değeri %70'e kadar düşürüldüğünde  $C(n, \tau)$  ve  $(n.\tau)$  değerleri

Gizli Hatanın oluşma sıklığı bir önceki senaryoya göre daha az olduğundan arızalı çalışma maliyetinin etkisi daha az belirgindir. Her güvenilirlik değeri için oluşturulan en iyi senaryolarda periyot sayısı Şekil 5.34'ten görüleceği üzere çok değişkenlik göstermemiştir. Şekil 5.35'te ise Şekil 5.33'te elde edilen grafiğe benzer olarak, ortalama birim başı maliyet güvenilirlik değeri kısıtı gevşetildikçe azalmış, sistemin erişebileceği maksimum ömür de kısıt gevşedikçe uzamıştır. Güvenilirlik değeri hedefinin azaltılması ile elde edilen maliyet iyileşmeleri, bir önceki durumla beraber Çizelge 5.21'de verilmiştir.

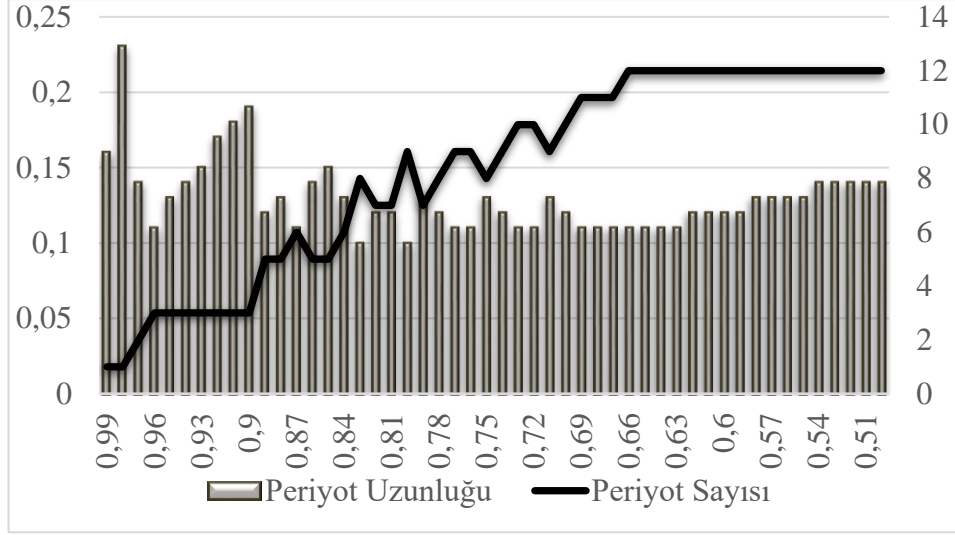
Çizelge 5.21: Görünür hata sıklığı yüksekken güvenilirlik değeri azaltıldığında oluşan  $C(n, \tau)$  değerleri ve yüzdesel değişimler

Güvenilirlik Değeri	Min $C(n, \tau)$ $\lambda=(0,4;0,3)$	% Değişim	Min $C(n, \tau)$ $\lambda=(0,9;0,1)$	% Değişim
0,95	294,31	-	425,53	-
0,90	255,75	13,10	299,02	29,73
0,85	234,72	8,22	243,76	18,48
0,80	221,51	5,63	214,71	11,92
0,75	212,00	4,29	195,85	8,79
0,70	204,98	3,31	180,37	7,90

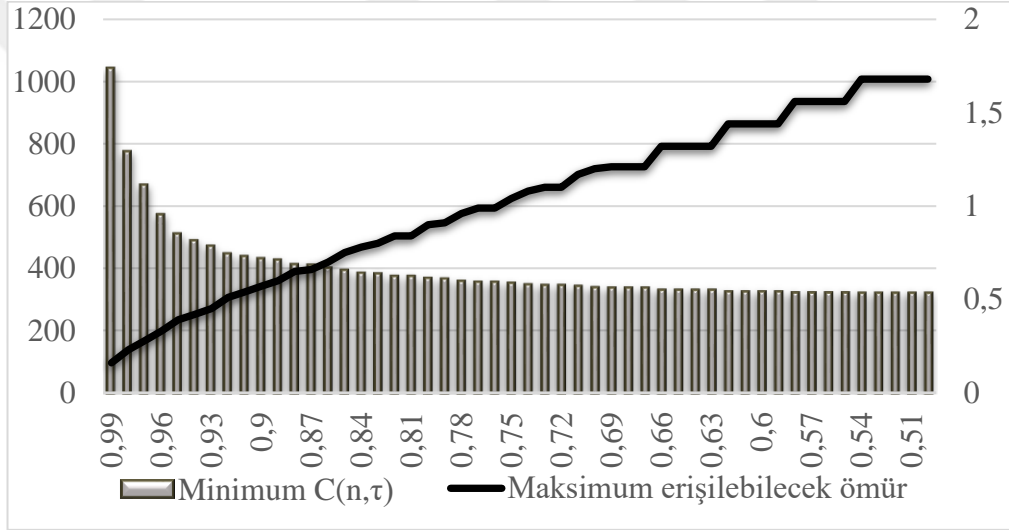
Çizelge 5.21'den görüleceği üzere gizli hata sıklığı azaldığında, güvenilirlik değeri hedefinin küçülmesi maliyet iyileşmesinde daha büyük katkı yapmaktadır.

Son olarak bu maliyet kombinasyonu için gizli hata sıklığının görünür hataya göre çok yüksek olduğu durumu incelemek için Görünür hata ( $F_1$ ) Gamma(2;0,1) gizli hata ( $F_2$ ) Gamma(2; 0,9) olasılık dağılımlarına sahip olsunlar. Bu senaryoda elde edilen grafikler Şekil 5.36 ve Şekil 5.37'de verilmiştir.





Şekil 5.36: Gizli hata sıklığı yüksekken güvenilirlik değeri %50'ye kadar düşürüldüğünde n ve τ değerleri



Şekil 5.37: Gizli hata sıklığı yüksekken güvenilirlik değeri %50'ye kadar düşürüldüğünde  $C(n, \tau)$  ve  $(n.\tau)$  değerleri

Şekil 5.36'dan görüleceği üzere ilk senaryoda olduğu gibi yine %90 güvenilirlik seviyesi politika belirlemede kritik bir eşik olmuştur. Bu eşğin altında periyot uzunluğu değerleri 0,10 ile 0,15 arasında değişirken periyot sayısı güvenilirlik değeri azaldıkça, artma eğilimindedir. Önceki senaryolarda olduğu gibi bu senaryoda da güvenilirlik değeri azaldıkça Şekil 5.37'den görüleceği üzere birim zaman başına ortalama maliyet düşerken, sistemin erişebileceği maksimum ömür artmaktadır.

Arızalı çalışma maliyeti çok yüksekken incelenen bu üç farklı hata dağılım kombinasyonunda güvenilirlik değeri değişiminin maliyete etkisi Çizelge 5.22'de verilmiştir.

Çizelge 5.22: Gizli hata sıklığı yüksekken güvenilirlik değeri azaltıldığında oluşan  $C(n,\tau)$  değerleri ve yüzdesel değişimler

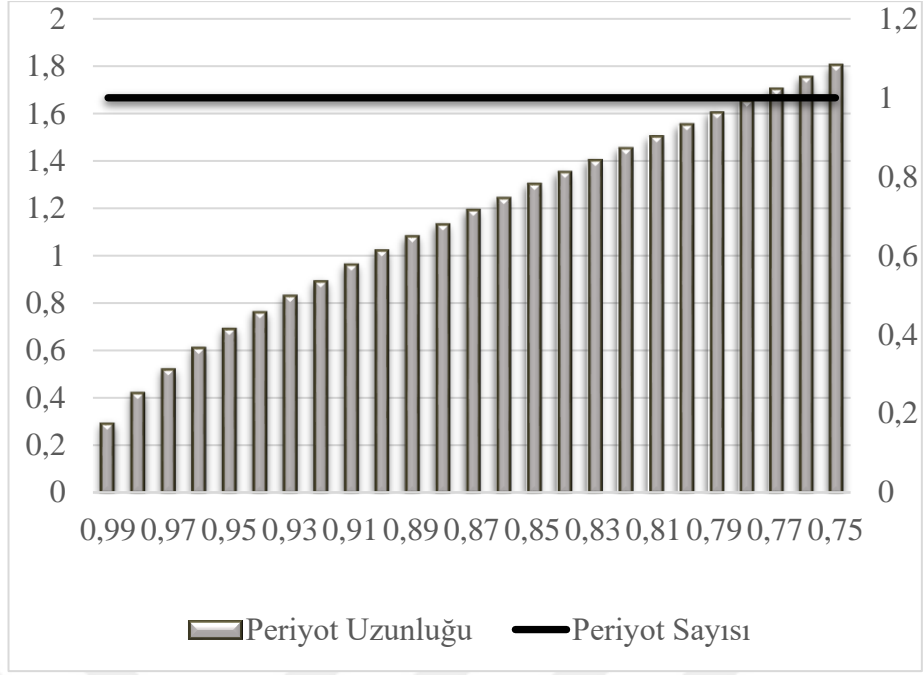
Güvenilirlik Değeri	Min $C(n,\tau)$ $\lambda=(0,4;0,3)$	% Değişim	Min $C(n,\tau)$ $\lambda=(0,9;0,1)$	% Değişim	Min $C(n,\tau)$ $\lambda=(0,1;0,9)$	% Değişim
0,95	294,31	-	425,53	-	510,30	-
0,90	255,75	13,10	299,02	29,73	431,43	15,46
0,85	234,72	8,22	243,76	18,48	393,46	8,80
0,80	221,51	5,63	214,71	11,92	367,86	6,51
0,75	212,00	4,29	195,85	8,79	352,62	4,14
0,70	204,98	3,31	180,37	7,90	338,63	3,97

$\lambda_2$  değerinin artması gizli hata oluşma sıklığını, dolayısıyla arızalı çalışma maliyetinin etkisini arttırmıştır. Çizelge 5.22'den görüleceği üzere son iki senaryo karşılaştırıldığında  $\lambda_2$  değerinin artması güvenilirlik değeri hedeflemesinin azaltılmasıyla oluşan maliyet iyileştirmesini yüzdesel olarak düşürmüştür. Çünkü güvenilirlik değeri ne kadar düşerse düşsün, arızalı çalışma maliyetinin sistem üzerine etkisi çok yüksektir. Daha önceki bölümlerde de ulaştığımız sonuç olan arızalı çalışma maliyetinin, sistem bakım politikası üzerine maksimum etkisi bu bölümde de bir kez daha ispatlanmıştır.

### 5.3.2 Kontrol maliyeti, yenileme maliyetine yakinken güvenilirlik etkisi

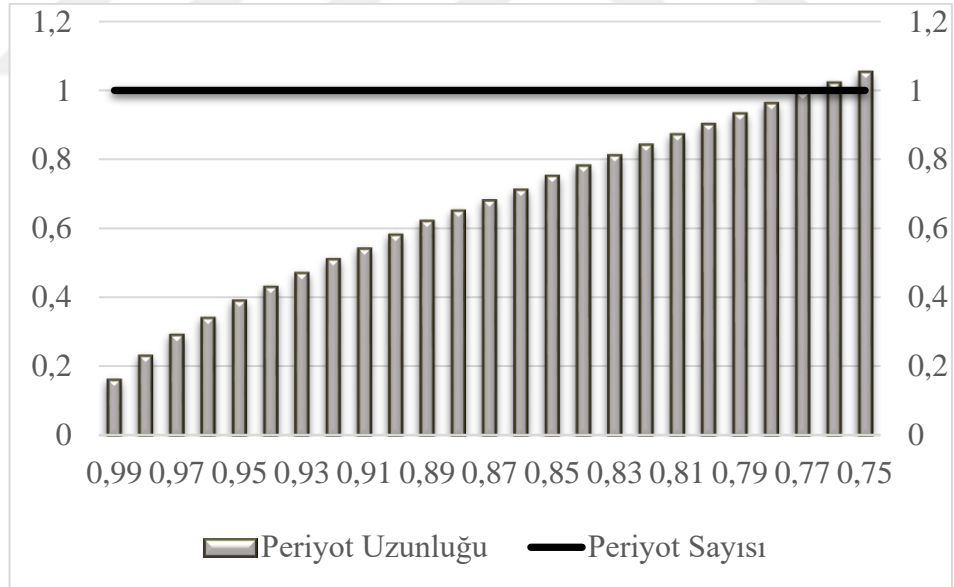
Periyodik kontrol maliyetinin çok yüksek olduğu ve karar verici için sistemi yenilemenin bakım yapmaktan daha cazip olduğu durumlar bölüm 5.1 ve 5.2'de incelenmişti. Bu bölümde, önceki bölümlerden farklı olarak güvenilirlik değeri hedefinin azaltılmasının sistemin bakım politikasında bir etkisi olup olmadığını incelemek için maliyet parametreleri, periyodik kontrol maliyeti, önleyici yenileme maliyeti, arıza sonucu yenileme maliyeti ve arızalı çalışma maliyeti değerleri sırasıyla 100, 150, 200 ve 10 kabul edilmiş, bölüm 5.3.1'deki gibi hataların birbirine yakın sıklıklarda ve birinin diğerine göre daha yüksek sıklıkta olduğu 3 senaryo ele alınmıştır. Elde edilen grafikler Şekil 5.38, 5.39, 5.40, 5.41, 5.42 ve Şekil 5.43'te verilmiştir.

Şekil 5.38, Şekil 5.39 ve Şekil 5.40'ta grafik halinde elde edilen sonuçlar birbirine çok benzemektedir. 3 senaryodan da güvenilirlik değeri ne olursa olsun kontrol maliyeti çok yüksekken ve arızalı çalışma maliyeti etkisi yokken, ilk kontrol yapıldıktan sonra sistemin yenilenmesi gerektiği sonucu çıkarılmaktadır. Aynı sonuca iki hata tipinin de hangi parametrelerde olasılık dağılımlarına sahip olurlarsa olsunlar periyot sayısına etkileri olmadığı ilave edilebilir.



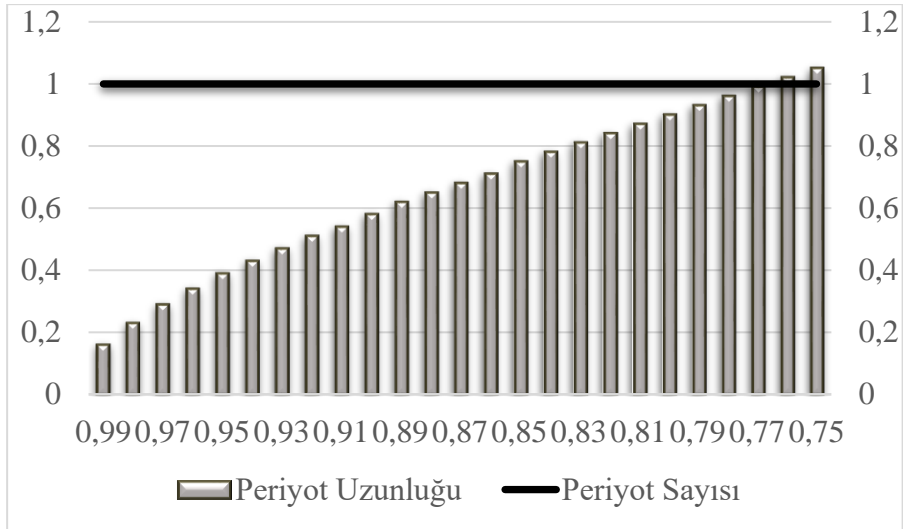
Şekil 5.38: Hata sıklıkları birbirine yakınken güvenilirlik değeri %75'e kadar düşürüldüğünde n ve  $\tau$  değerleri

En iyi sonuç %75 güvenilirlik değerinde bir 1,8 birim zamanda bir bakım yapıp ilk bakımdan sonra önleyici yenileme yapmaktır.



Şekil 5.39: Görünür hata sıklığı yüksekken güvenilirlik değeri %75'e kadar düşürüldüğünde n ve  $\tau$  değerleri

En iyi sonuç %75 güvenilirlik değerinde bir 1,05 birim zamanda bir bakım yapıp ilk bakımdan sonra önleyici yenileme yapmaktır.

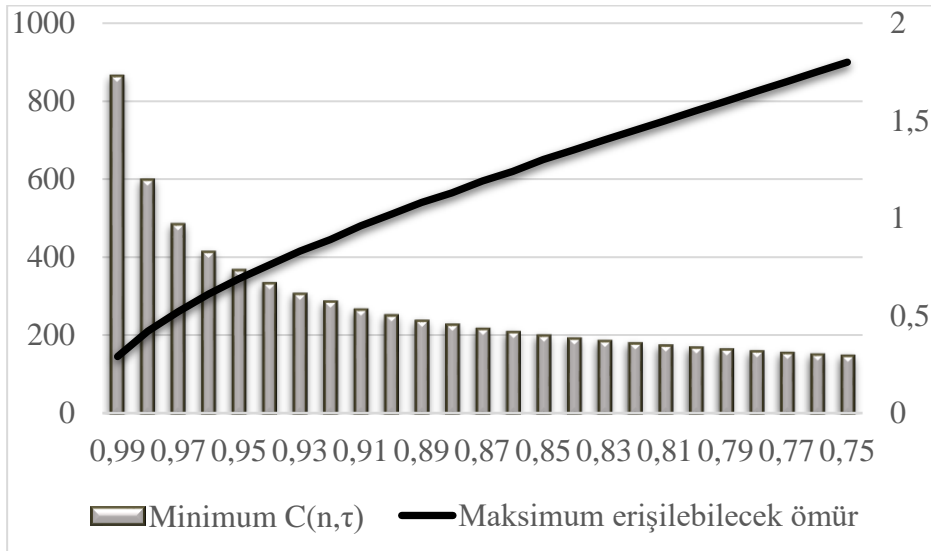


Şekil 5.40: Gizli hata sıklığı yüksekken güvenilirlik değeri %75'e kadar düşürüldüğünde n ve  $\tau$  değerleri

İncelen üç senaryoda elde edilen sonuçlar Çizelge 5.23'te özetlenmiştir.

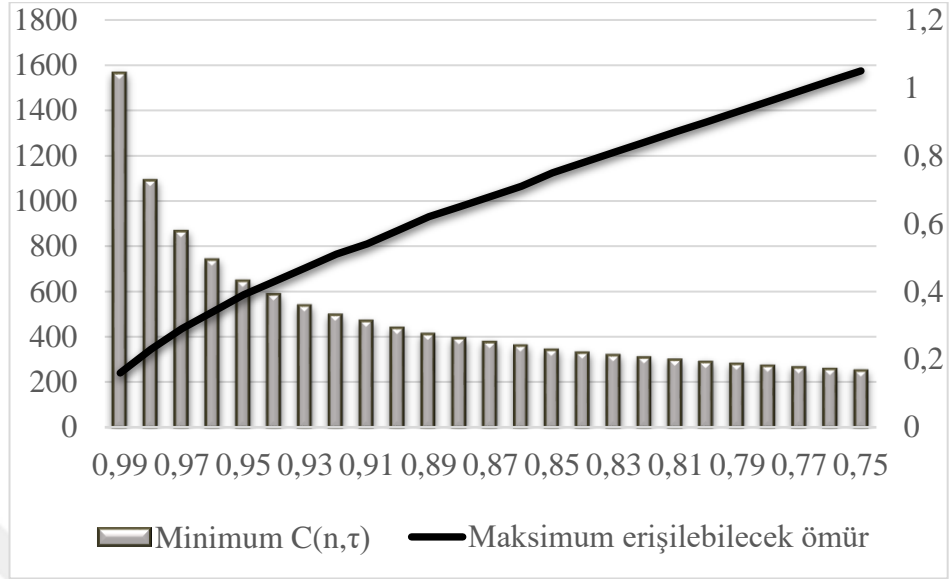
Çizelge 5.23: Tüm hata kombinasyonları için hedeflenen güvenilirlik değeri ile "n" ve " $\tau$ " değişimi

Güvenilirlik Değeri	$\lambda=(0,3;0,4)$		$\lambda=(0,9;0,1)$		$\lambda=(0,1;0,9)$	
	Periyot Sayısı	Periyot Uzunluğu	Periyot Sayısı	Periyot Uzunluğu	Periyot Sayısı	Periyot Uzunluğu
0,95	1	0,69	1	0,39	1	0,39
0,9	1	1,02	1	0,58	1	0,58
0,85	1	1,3	1	0,75	1	0,75
0,8	1	1,55	1	0,9	1	0,9
0,75	1	1,8	1	1,05	1	1,05

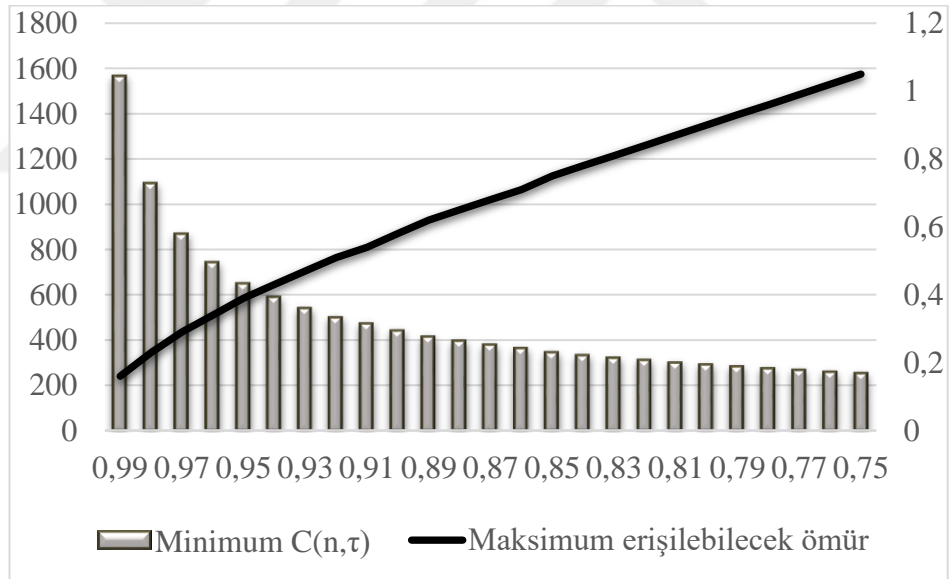


Şekil 5.41: Hata sıklıkları birbirine yakınken güvenilirlik değeri %75'e kadar düşürüldüğünde  $C(n, \tau)$  ve  $(n. \tau)$  değerleri

En iyi sonuçta %75 güvenilirlik değeri sırasında 1,8 birim zaman kadar ömür elde edilmiş ve 146,58'lik maliyet ortaya çıkmıştır.



Şekil 5.42: görünür hata sıklığı yüksekken güvenilirlik değeri %75'e kadar düşürüldüğünde  $C(n, \tau)$  ve  $(n. \tau)$  değerleri



Şekil 5.43: Gizli hata sıklığı yüksekken güvenilirlik değeri %75'e kadar düşürüldüğünde  $C(n, \tau)$  ve  $(n. \tau)$  değerleri

Şekil 5.41'de gösterilen, hata sıklıkları birbirine yakınken hedeflenen güvenilirlik değeri düşürüldüğünde oluşan sonuçlar diğer iki senaryodaki sonuçlara sayısal olarak yakın olmasa da Şekil 5.42 ve Şekil 5.43'te elde edilen sonuçlar birbirine çok yakındır. Çizelge 5.24'te üç senaryo için elde edilen minimum ortalama zaman başına maliyet ve maksimum erişilebilecek ömür verilerinin güvenilirlik hedefinin azalmasıyla oluşan değişimi özetlenmiştir.

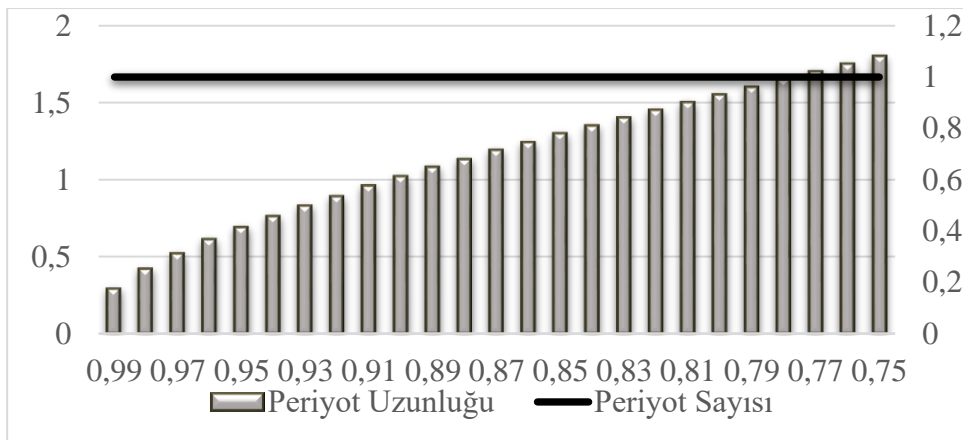
Çizelge 5.24: Tüm hata kombinasyonları için hedeflenen güvenilirlik değeri ile "Min C(n,τ)" ve "n\*τ" değişimi

Güvenilirlik Değeri	$\lambda=(0,3;0,4)$		$\lambda=(0,9;0,1)$		$\lambda=(0,1;0,9)$	
	Min C(n,τ)	n*τ	Min C(n,τ)	n*τ	Min C(n,τ)	n*τ
0,95	365,86	0,69	646,01	0,39	647,83	0,39
0,9	250,09	1,02	438,24	0,58	440,38	0,58
0,85	198,39	1,30	342,44	0,75	344,57	0,75
0,8	168,23	1,55	288,51	0,90	290,41	0,90
0,75	146,59	1,80	250,41	1,05	251,89	1,05

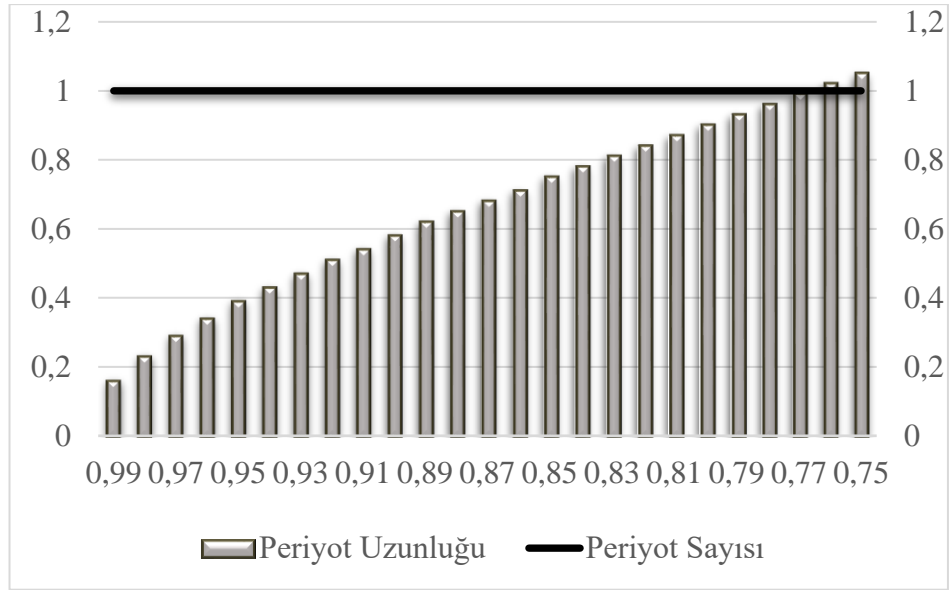
Çizelge 5.24'ten görüleceği üzere tüm hata kombinasyonları için güvenilirlik değeri hedefi düştüğünde minimum ortalama zaman başına maliyet azalmakta ve maksimum erişilebilecek ömür artmaktadır. Ayrıca hata tiplerinden birinin diğerine göre olan sıklığının sonuca etkisi çok azdır. Halbuki bir önceki bölümde arızalı çalışma maliyeti yüksek olduğundan  $\lambda_2$ 'deki değişim sonucu etkilemekteydi.

### 5.3.3 Yenileme maliyetleri diğer maliyetlerden çok yüksekken güvenilirlik etkisi

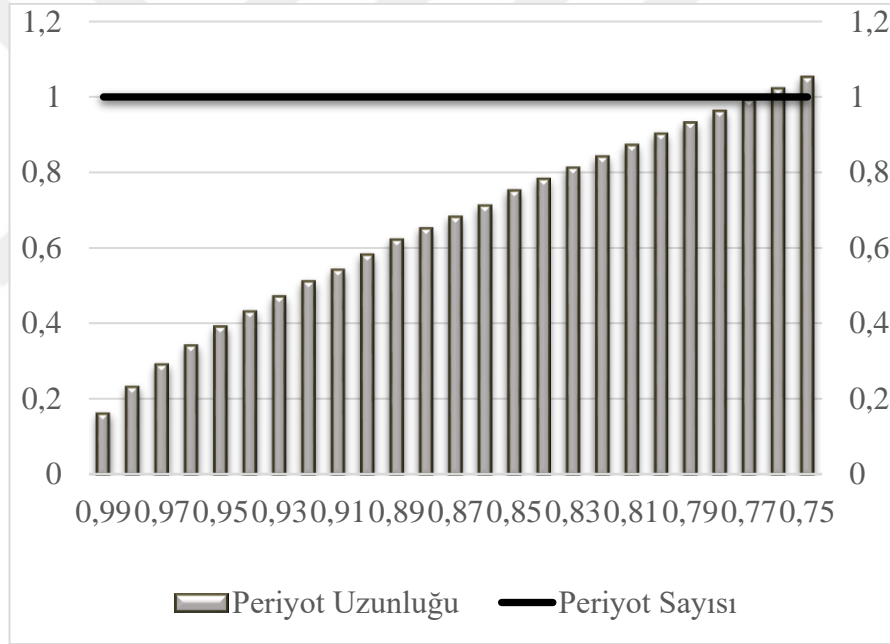
Yenileme maliyetlerinin oransal olarak çok yüksek olduğu durumlar bölüm 5.1 ve 5.2'de incelenmişti. Bu bölümde, önceki bölümlerden farklı olarak güvenilirlik değeri hedefinin azaltılmasının sistemin bakım politikasında bir etkisi olup olmadığını incelemek için maliyet parametreleri, periyodik kontrol maliyeti, önleyici yenileme maliyeti, arıza sonucu yenileme maliyeti ve arızalı çalışma maliyeti değerleri sırasıyla 10, 150, 200 ve 10 kabul edilmiş, bölüm 5.3.1 ve 5.3.2'deki gibi hataların birbirine yakın sıklıklarda ve birinin diğerine göre daha yüksek sıklıkta olduğu 3 senaryo ele alınmıştır. Elde edilen grafikler Şekil 5.44, 5.45, 5.46, 5.47, 5.48 ve Şekil 5.49'da verilmiştir.



Şekil 5.44: Hata sıklıkları birbirine yakınken güvenilirlik değeri %75'e kadar düşürüldüğünde n ve τ değerleri



Şekil 5.45: Görünür hata sıklığı yüksekken güvenilirlik değeri %75'e kadar düşürüldüğünde n ve  $\tau$  Değerleri



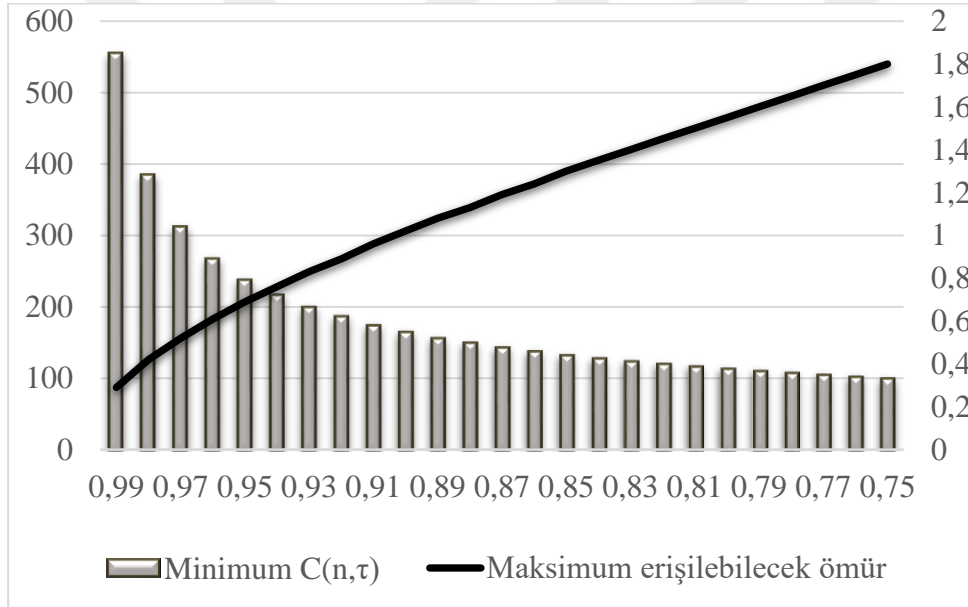
Şekil 5.46: Gizli hata sıklığı yüksekken güvenilirlik değeri %75'e kadar düşürüldüğünde n ve  $\tau$  değerleri

Şekil 5.44, Şekil 5.45 ve Şekil 5.46 incelendiğinde Bölüm 5.3.2'de elde edilen sonuçlara çok benzer sonuçlar alındığı görülmektedir. Çizelge 5.25'te verilen özet sonuçlarla Çizelge 5.24 karşılaştırıldığında da bu benzerlik daha açık görülebilir. İki durumda da her güvenilirlik değeri için en iyi bakım politikalarında aynı periyot uzunluklarına sahip ilk periyottan sonra yenileme yapılmaktadır. Çizelge 5.25'te yenileme maliyetleri çok yüksekken elde edilen özet sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 5.25: Tüm hata kombinasyonları için hedeflenen güvenilirlik değeri ile "n" ve "τ" değişimi

Güvenilirlik Değeri	$\lambda=(0,3;0,4)$		$\lambda=(0,9;0,1)$		$\lambda=(0,9;0,1)$	
	Periyot Sayısı	Periyot Uzunluğu	Periyot Sayısı	Periyot Uzunluğu	Periyot Sayısı	Periyot Uzunluğu
0,95	1	0,69	1	0,39	1	0,39
0,9	1	1,02	1	0,58	1	0,58
0,85	1	1,3	1	0,75	1	0,75
0,8	1	1,55	1	0,9	1	0,9
0,75	1	1,8	1	1,05	1	1,05

Çizelge 5.25'ten görüleceği üzere güvenilirlik kısıtı gevşedikçe periyot uzunluğu sabit kalmış fakat önleyici yenileme yapılacak periyot sayısı değişmemiştir.

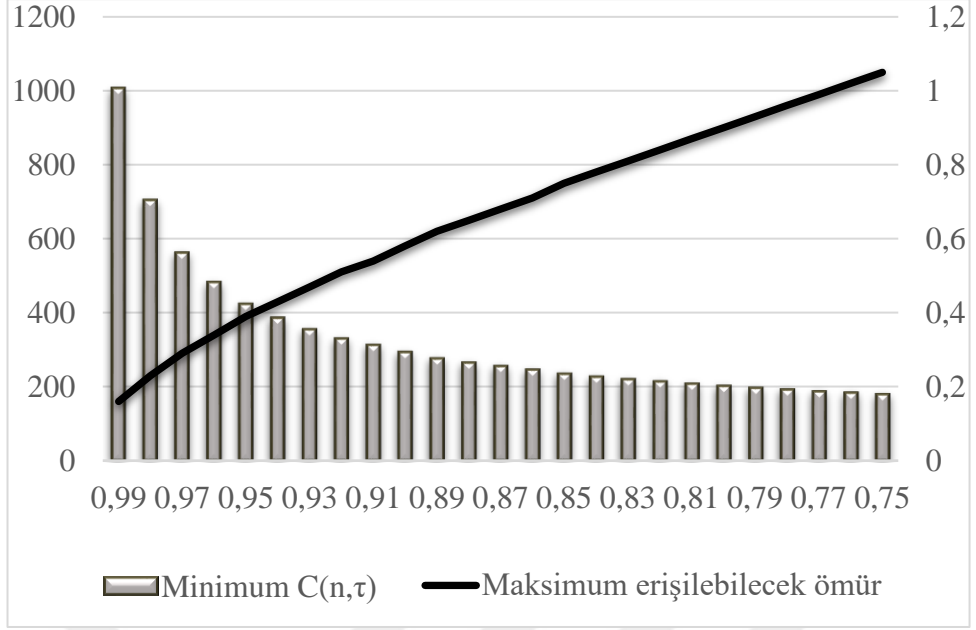


Şekil 5.47: Hata sıklıkları birbirine yakınken güvenilirlik değeri %75'e kadar düşürüldüğünde  $C(n, \tau)$  ve  $(n, \tau)$  değerleri

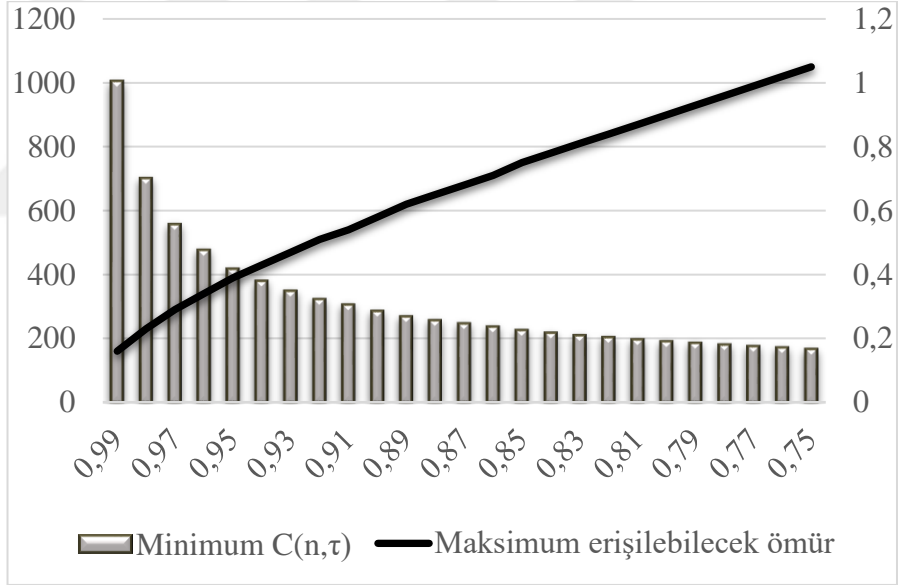
Şekil 5.47'ye göre en iyi sonuç %75 güvenilirlik değeri altında 1,8 birim zamanda bir bakım yapıp ilk bakım sonucunda önleyici yenileme yapılması kararıdır. Bu karar sonucundan oluşacak maliyet 99,46'dır.

Şekil 5.47, Şekil 5.48 ve Şekil 5.49 de bir önceki bölümde verilen Şekil 5.41, Şekil 5.42 ve Şekil 5.43'e benzemektedir. Aradaki tek farklılık kontrol maliyetinin farklı olmasından kaynaklı olarak minimum  $C(n, \tau)$  değeridir.





Şekil 5.48: Görünür hata sıklığı yüksekken güvenilirlik değeri %75'e kadar düşürüldüğünde  $C(n, \tau)$  ve  $(n, \tau)$  değerleri



Şekil 5.49: Gizli hata sıklığı yüksekken güvenilirlik değeri %75'e kadar düşürüldüğünde  $C(n, \tau)$  ve  $(n, \tau)$  değerleri

Maksimum erişilebilecek ömür değerleri aynı dağılım fonksiyon parametreleri için eşittir. Çizelge 5.26'da hedeflenen güvenilirlik değeri değişimi ile  $C(n, \tau)$  ve  $(n, \tau)$  değerlerindeki değişim özetlenmiştir.

Çizelge 5.26: Tüm hata kombinasyonları için hedeflenen güvenilirlik değeri ile "min C(n,τ)" ve "n\*τ" değişimi

Güvenilirlik Değeri	$\lambda=(0,3;0,4)$		$\lambda=(0,9;0,1)$		$\lambda=(0,1;0,9)$	
	Min C(n,τ)	n*τ	Min C(n,τ)	n*τ	Min C(n,τ)	n*τ
0,95	236,98	0,69	422,67	0,39	417,17	0,39
0,9	163,94	1,02	292,98	0,58	285,36	0,58
0,85	131,59	1,30	234,14	0,75	224,75	0,75
0,8	112,84	1,55	201,50	0,90	190,61	0,90
0,75	99,46	1,80	178,76	1,05	166,39	1,05

Çizelge 5.24 ve Çizelge 5.26 incelendiğinde görülmektedir ki hedeflenen güvenilirlik değeri ve “λ” parametreleri ne olursa olsun, kontrol maliyetinin ve yenileme maliyetinin, sistemin en iyi bakım politikasına etkisi yoktur. Sadece Min C(n,τ) değerleri değişmektedir. Bu değerler de daha önceden bahsedildiği üzere oransal değerler olup tam reel karşılığı bulunmamaktadır. Hesaplamaların ve karşılaştırmaların kolaylığı açısından verilen bu değerler karar verici tarafından değiştirilebilmektedir.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde, artan arızalanma sıklığı özelliğindeki dağılım fonksiyonuna sahip iki farklı karakteristikte hata tipine maruz sistemlerde ödüllü yenileme süreçleri teorisinden faydalanılarak birim zamanda ortaya çıkan maliyeti minimize edecek bakım politikası geliştirilmesi hedeflenmiştir. Literatürde parametre optimizasyonu olarak da geçen bu problemde sistemimizin girdileri, maliyet parametreleri ve iki hata tipinin sahip olduğu dağılım fonksiyonları bilgisidir. Güvenilirlik kısıtı altında yapılan hesaplamalar sonucu çıktımız, birim zamandaki maliyeti minimize eden kontrol periyodu uzunluğu( $\tau$ ) ve önleyici yenileme yapılacak periyot numarasıdır( $n$ ).

Sistem çalışmasını anında durduran ve o anda sistem yenilenmesine yol açan “Görünür Hata” ve sadece kontroller sırasında farkedilebilecek “Gizli Hata”ya maruz sistemimizde literatürde daha önce değinilmeyen hassasiyet analizleri yapılmıştır. Çalışmamızdaki temel motivasyonumuz da literatürdeki açıkları mümkün olduğu kadarıyla kapatıp bundan sonraki çalışmalara kaynak oluşturabilecek sonuçlar elde etmektir. Bu motivasyon kapsamında, sistemimizin girdileri olan maliyet parametreleri ve hata fonksiyonlarının değişiminin sonuca etkileri ve temel kısıtımız olan güvenilirlik kısıtının gevşetilmesinin sonuçları araştırılmıştır.

Bu çalışmada yapılan hesaplamalar sırasında her türlü ihtimalin incelenebilmesi açısından her seferinde bir parametre değiştirilmiş ve değişimin sonuca etkisi araştırılmıştır. Bölüm 5.1’de maliyet parametrelerinin değişiminin bakım politikasına etkisi incelenmiş ve arızalı çalışma maliyetinin değişiminin sonuç üzerinde çok kuvvetli bir etkisi olduğu, kontrol maliyeti ve yenileme maliyetlerinin bakım politikası üzerinde aynı etkiyi oluşturamadığı görülmüştür. Arızalı çalışma maliyeti yükseldikçe hata farkedilene kadar oluşacak maliyetten kaçınabilmek ve hata oluşursa erkenden farketmek adına kontrol periyotları kısalmış, arızalı çalışma maliyet azaldıkça gizli hatanın oluşmasının birim zamandaki maliyete etkisi çok olmayacağı için periyot uzunlukları artmıştır.

Benzer bir etki Bölüm 5.2’de gizli hatanın sahip olduğu olasılık yoğunluk fonksiyonun parametre değişiminde de gözlemlenmiştir. Hata sıklığı artarsa kontrol periyotları hata farkedilene kadar oluşacak maliyetten kaçınabilmek için kısalmış, hata sıklığı azaldığında ise gizli hata oluşması büyük bir maliyete yol açmayacağı için kontrol periyotları uzamıştır. Görünür hata sıklığının artıp azalması ise belirgin bir etkiye neden olmamıştır.

Son olarak bölüm 5.3’te incelenen güvenilirlik kısıtının maliyet üzerine etkisi de literatürde çoğu kaynakta ihmal edilmiştir. Sistem güvenilirliğinin gözardı edildiği durumlarda elde edilen sonuçlar çok yanıltıcı olabildiğinden bizim çalışmamızda son bölüm haricinde kısıt %90 olarak kabul edilmiştir. Bölüm 5.3’te ise güvenilirlik kısıtı %50’lere kadar gevşetilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler sırasında ve bölüm 5.1’de yaptığımız maliyet parametrelerinin birer birer değiştirilmesi ile de görülmüştür ki, kontrol ve yenileme maliyetleri güvenilirlik kısıtı ne olursa olsun sonuca etki etmemekte; tek gözle görülür etki arızalı çalışma maliyeti ile oluşmaktadır. Bölüm 5.3’ten elde ettiğimiz bundan sonraki çalışmalar için kullanılabilecek bir diğer veri de güvenilirlik kısıtının %80’nin altına düşmesinin maliyet iyileşmesinde belirgin bir etki oluşturmadığıdır.

Sonuç olarak denilebilir ki, gizli hatanın gözlemlenme sıklığı ve arızalı çalışma maliyeti dışında sistemin bakım politikasını etkileyen parametre bulunmamaktadır.

Bu tezde yapılan tüm hesaplamalar tüm enumerasyon yöntemi ile ayrı ayrı yapılmıştır. Bundan sonra yapılacak çalışmalar MATLAB gibi bir platformda kodlanıp daha otomize hale getirilebilir. Çalışmamızda yer verdiğimiz gizli ve görünür hatalardan üç ve daha fazla olursa ne gibi sonuçlar elde edilebileceği literatürde yer almaması açısından incelenebilir. Son olarak da bizim sistemimizde göz ardı ettiğimiz yaklaşık %2’lik bir ihtimale tekabül eden iki kontrol periyodu arasında önce gizli hata sonra görünür hata oluşma ihtimali de hesaplamalara dahil edilip daha kesin sonuçlar elde edilebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] **L.Pintelon, F.Puyvelde**, *Maintenance Decision Making*, (Syf 135), Hollanda, (2006)
- [2] **R. E. Barlow, et al.**, (1963). Optimum checking procedures, *SIAM J.*, 11(4), 1078-1095.
- [3] **V.Makis et al.**, (1989). Optimal replacement in the proportional hazards model, *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 30, 172-183.
- [4] **W. Wang et al.**, (2003). Solution algorithms for a nonhomogeneous multi-component inspection model, *Computers & Operations Research*, 30, 19-34.
- [5] **H.Cha, et al.**, (2019). Stochastic modeling for systems with delayed failures, *Reliability Engineering and System Safety*, 188, 118–124.
- [6] **A. Chelbi, D.Ait-Kadi** (1999). An optimal inspection strategy for randomly failing equipment, *Reliability Engineering and Systems Safety*, 63, 127–131.
- [7] **Z. Li et al.**,(2010). optimization of exponential distribution testing period based on reliability degradation, *Advanced Materials Research*, 118-120, 304-308.
- [8] **F. Badia et al.**,(2001). Optimization of inspection intervals based on cost, *Journal of Applied Probability*, 38, 872-881.
- [9] **G.Klutke, et al.**, The availability of inspected systems subject to shocks and graceful degradation, *IEEE Transactions on Reliability*, 51, 371-374.
- [10] **L.Yang et al.**, (2018) Hybrid preventive maintenance of competing failures under random environment, *Reliability Engineering & System Safety*, 174, 130-140
- [11] **F. Badia et al.**, (2002). “Optimal inspection and preventive maintenance of units with revealed and unrevealed failures”, *Reliability Engineering & System Safety*, 78 (2), 157-163.
- [12] **A.Chelbi, et al.**, (2008). optimal inspection and preventive maintenance policy for systems with self-announcing and non-self-announcing failures, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 14, 34-45.
- [13] **V.Babishin et al.**, (2016). Optimal maintenance policy for multicomponent systems with periodic and opportunistic inspections and preventive replacements, *Applied Mathematical Modelling*, 40, 10480-10505
- [14] **X. Ma, et al.**, (2017). Optimal inspection and replacement strategy for systems subject to two types of failures with adjustable inspection intervals, *J. Shanghai Jiaotong Univ.(Sci.)*, 22, 752-755
- [15] **S.Seyedhosseini et al.**, (2018). “Imperfect inspection optimization for a two-component system subject to hidden and two-stage revealed failures over a finite time horizon”, *Reliability Engineering & System Safety*, 174, 141-156
- [16] **I.Gertsbakh**, *Lectures in Reliability Theory With Applications to Preventive Maintenance* (Bölüm 2, Syf 24), Beerşeba, (2000)

- [17] **I.Gertsbakh**, *Lectures in Reliability Theory With Applications to Preventive Maintenance* (Bölüm 2, Syf 22), Beerşeba, (2000)
- [18] **A. Elsayed**, *Reliability Engineering*, Vol 2(Syf 3), Amerika, (2012)
- [19] **B. Epstein, I.Weissman**, *Mathematical Models For Systems Reliability*, Vol 4(Syf 63), Amerika, (2013)



## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyad** :Mahmut İbrahim ULUCAK  
**Uyruğu** :Türkiye Cumhuriyeti  
**Doğum Tarihi ve Yeri** :29.01.1994 Ankara  
**E-posta** :iulucak@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU:

- Lisans** : 2016, TOBB ETÜ, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği

### MESLEKİ DENEYİM:

Yıl	Yer	Görev
2016-Halen	TÜBİTAK UZAY	Araştırmacı

**YABANCI DİL:** İngilizce

### TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Ulucak M.İ.**, (2019). Gizli ve görünür hatalara maruz sistemlerde en iyi bakım politikasının belirlenmesi, YAEM2019, Haziran 12-14, Ankara