

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**TAMİR EDİLEBİLİR ARDIŞIK n -DEN k -ÇIKIŞLI F
SİSTEMİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdullah ÖZDOĞAN

Anabilim Dalı: İstatistik

Programı: Uygulamalı İstatistik

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Gökhan GÖKDERE

ELAZIĞ-2017

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TAMİR EDİLEBİLİR ARDIŞIK n -DEN k -ÇIKIŞLI F SİSTEMİNİN
İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdullah ÖZDOĞAN

132133102

Anabilim Dalı: İstatistik
Programı: Uygulamalı İstatistik

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Gökhan GÖKDERE

ELAZIĞ-2017

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TAMİR EDİLEBİLİR ARDIŞIK n -DEN k -ÇIKIŞLI F SİSTEMİNİN
İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Abdullah ÖZDOĞAN
132133102

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 15.09.2017

Tezin Savunulduğu Tarih: 30.10.2017

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Gökhan GÖKDERE (F.Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Sinan ÇALIK (F.Ü.)

Yrd. Doç. Dr. Fahrettin ÖZBEY (B.E.Ü.)

EKİM-2017

ÖNSÖZ

Tez konusunun belirlenmesi ve yürütülmesi aşamasında, benden destek ve ilgisini esirgemeyen saygı değer hocam Yrd. Doç. Dr. Gökhan Gökdere'ye çok teşekkür eder, saygılar sunarım.

Abdullah ÖZDOĞAN
EKİM-2017

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	IV
ABSTRACT	V
TABLolar LİSTESİ	VI
KISALTMALAR LİSTESİ	VII
1. GİRİŞ.....	1
2. TEMEL TANIM VE TEOREMLER	3
3. DOĞRUSAL VE DAİRESEL $TEA(n, k, F)$ SİSTEMİ İÇİN MODEL VARSAYIMLARI	7
4. MODEL ANALİZİ.....	8
5. DOĞRUSAL $TEA(8, 3, F)$ SİSTEMİ	11
5.1. Sistemin t Zamanındaki Güvenilirliği	12
6. DAİRESEL $TEA(8, 3, F)$ SİSTEMİ	17
6.1. Sistemin t Zamanındaki Güvenilirliği	18
7. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	22
KAYNAKÇA	23
ÖZGEÇMİŞ.....	25

ÖZET

Ardışık n -den k -çıkışlı F sistemi n tane bileşenden oluşan ve ancak n tane bileşenden ardışık olarak en az k tanesi arızalandığı zaman arızalanan bir sistem olarak tanımlanır. Ardışık n -den k -çıkışlı F sistemi ile ilgili diğer özel bir sistem türü ise ardışık n -den k -çıkışlı G sistemidir. Ardışık n -den k -çıkışlı G sistemi ise n tane bileşenden oluşan ve ancak ardışık olarak en az k tanesi çalışır durumda olduğu zaman çalışan bir sistem olarak tanımlanır. Ardışık n -den k -çıkışlı sistemlerde eğer sistemi oluşturan bileşenler tamir edilebilir ise bu durumda sistem tamir edilebilir ardışık n -den k -çıkışlı sistem olarak adlandırılır.

Bu çalışmada tamir edilebilir ardışık n -den k -çıkışlı F sistemini inceleyeceğiz ve sistemin doğrusal ve dairesel olduğu durumlar için herhangi bir t zamanındaki güvenilirliğini belirlemeye çalışacağız.

Anahtar Kelimeler: Tamir edilebilir ardışık n -den k -çıkışlı F sistemi, genelleştirilmiş geçiş olasılığı, anahtar bileşen, güvenilirlik.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE REPAIRABLE CONSECUTIVE k -OUT-OF- $n:F$ SYSTEM

The consecutive k -out-of- $n:F$ system is defined as a system which consists of n components such that the system breakdowns if and only if at least k consecutive components fail. Another special type of system related to the consecutive k -out-of- $n:F$ system is the consecutive k -out-of- $n:G$ system. A consecutive k -out-of- $n:G$ system is an ordered sequence of n components such that the system works if and only if at least k consecutive components work. If we consider that components are repairable, then consecutive k -out-of- n systems are called a repairable systems.

In this study, we will examine the repairable consecutive k -out-of- $n:F$ system and try to determine its reliability at any time t for situations where the system is linear and circular.

Key Words: Repairable consecutive k -out-of- $n:F$ system, generalized transition probability, key component, reliability.

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 5.1. Doğrusal sistem için, farklı λ ve μ değerlerine bağlı olarak elde edilen sistem güvenilirliği	16
Tablo 6.1. Dairesel sistem için, farklı λ ve μ değerlerine bağlı olarak elde edilen sistem güvenilirliği	21



KISALTMALAR LİSTESİ

- $A(n, k)$: Ardışık n -den k -çıkışlı sistem
 $A(n, k, F)$: Ardışık n -den k -çıkışlı F sistemi
 $A(n, k, G)$: Ardışık n -den k -çıkışlı G sistemi
 $TEA(n, k)$: Tamir edilebilir ardışık n -den k -çıkışlı sistem
 $TEA(n, k, F)$: Tamir edilebilir ardışık n -den k -çıkışlı F sistemi



1. GİRİŞ

Endüstride, birlikte çalışacak şekilde tasarlanmış bileşenlerin bir araya gelmesinden oluşan sistemler, zaman içerisinde daha karmaşık bir hale gelmiştir. Bu gibi sistemlerde, sistemin bağlantı mekanizmalarını tanımlayabilmek için teorik olarak paralel ve seri sistemlerin genel hali olan $A(n, k)$ sistemi tasarlanmıştır. Bu sistemi kullanmanın iki ana avantajı vardır:

- 1) Genellikle seri sistemlerden daha yüksek güvenilirliğe sahiptir.
- 2) Genellikle paralel sistemlerden daha uygun maliyete sahiptir.

Bu tür sistemler, sistemi oluşturan bileşenlerin kendi aralarındaki mantıksal veya fiziksel bağlantılarına göre doğrusal veya dairesel olarak karakterize edilirler. Ayrıca bu tür sistemler, kullanıcı için önemli olan amaç doğrultusunda, sistemin çalışma prensibi üzerine oluşturulduğunda “G” sistemi, sistemin çalışmama prensibi üzerine oluşturulduğunda ise “F” sistemi olmak üzere iki şekilde ifade edilirler. $A(n, k)$ sistem modelleri ilk olarak 1980 yılında Kontoleon tarafından ortaya konmuştur [12]. Bu tür sistemler telekomünikasyondaki telsiz bağlantısı istasyonlarının ve petrol boru hattı sistemlerinin tasarlanmasında [4], proton ve nötron iyonları gibi yoğun taneciklere büyük kinetik enerji sağlayan cihazlardaki vakum sistemlerinin tasarlanmasında [11] ve uzay aracı röle istasyonlarının tasarlanmasında kullanılmaktadır [5].

$A(n, k, F)$ sistemi n tane bileşenden oluşan ve ancak n tane bileşenden ardışık olarak en az k tanesi arızalandığı zaman arızalanan bir sistem olarak tanımlanır. $A(n, k, F)$ sistemi ile ilgili diğer özel bir sistem türü ise $A(n, k, G)$ sistemidir. $A(n, k, G)$ sistemi ise n tane bileşenden oluşan ve ancak ardışık olarak en az k tanesi çalışır durumda olduğu zaman çalışan bir sistem olarak tanımlanır. $A(n, k)$ sisteminin çalışma prensibi ve güvenilirliği detaylı olarak [4] tarafından incelenerek literatüre kazandırılmıştır. Doğrusal ve dairesel olmak üzere, bahsetmiş olduğumuz sistemlerin güvenilirliği hakkında çok sayıda çalışma mevcuttur [1, 6, 7, 8, 9, 21].

$A(n, k)$ sistemin de eğer sistemi oluşturan bileşenler tamir edilebilir ise bu durumda sistem $TEA(n, k)$ sistem olarak adlandırılır. Literatür de $TEA(n, k)$ sistemi ile ilgili sınırlı sayıda çalışma mevcuttur [3, 10, 13-20].

$TEA(n, k, F)$ sistemini ele almış olduğumuz bu çalışmamızda ilk olarak genelleştirilmiş geçiş olasılığını ve anahtar bileşen kavramını kullanarak sistemin doğrusal ve dairesel olduğu durumlar için durum geçiş olasılıklarının nasıl elde edileceği verilecektir. Daha sonra elde edilen durum geçiş olasılıklarını kullanarak sistem için geçiş oran matrisi oluşturulacaktır. En son olarak ise, sistemi oluşturan bileşenlerin bilindiği durumda sistemin doğrusal ve dairesel olduğu durumlar için ayrı ayrı olarak t zamanındaki kullanılabilirliği elde edilecektir. Mühendislik sistemlerinde, sistemi oluşturan bileşenlerin sayısı verilmediğinde sistemin t zamanındaki kullanılabilirliğini hesaplamak çok karmaşık ve zor olacaktır. Ancak mühendislik uygulamalarında bileşen sayısı çoğu zaman bilinmektedir.



2. TEMEL TANIM VE TEOREMLER

Tanım 2.1. Genelleştirilmiş Geçiş Olasılığı

Kabul edelim ki $\{N(t), t \geq 0\}$ sonlu Ω durum uzayına sahip sürekli zamanlı homojen Markov süreci olsun. Eğer, belirli bir $i \in \Omega$ durumu için M_i durum var ise aşağıdaki olasılığı yazabiliriz:

$$p_{i(m)} = P\{N(t) = i \text{ durumunun } m \text{ inci olayı} | N(t) = i\}$$

Yukarıdaki eşitlikte $m = 1, 2, \dots, M_i$ ve

$$\sum_{m=1}^{M_i} p_{i(m)} = 1$$

dir. Ayrıca

$$p_{i(m)j} = P\{N(t + \Delta t) = j | \text{Süreç } i \text{ durumunun } m \text{ inci olayında } t \text{ zamanında başlar}\}$$

olsun. Bu durumda genelleştirilmiş geçiş olasılığı aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$p_{ij}(\Delta t) = \sum_{m=1}^{M_i} p_{i(m)} p_{i(m)j}(\Delta t). \quad (2.1)$$

Genelleştirilmiş geçiş olasılığında $j \neq i$ için $p_{i(m)j} = q_{i(m)j}(\Delta t) + o(\Delta t)$ olsun. Bu durumda

$$p_{ij}(\Delta t) = q_{ij}(\Delta t) + o(\Delta t)$$

ve

$$p_{ii}(\Delta t) = 1 - \sum_{j \neq i} q_{ij}(\Delta t) + o(\Delta t) = 1 - q_i(\Delta t) + o(\Delta t)$$

elde edilir. Yukarıdaki eşitliklerde

$$q_{ij} = \sum_{m=1}^{M_i} p_{i(m)} q_{i(m)j}$$

ve

$$q_i = \sum_{j \neq i} q_{ij}$$

dir. Eğer i durumunun her olayı eşit olasılıkla gerçekleşiyor ise, o zaman aşağıdaki eşitlikleri elde edebiliriz:

$$p_{i(m)} = \frac{1}{M_i},$$

$$p_{ij}(\Delta t) = \frac{1}{M_i} \sum_{m=1}^{M_i} q_{i(m)j}(\Delta t) + o(\Delta t), \quad j \neq i,$$

$$p_{ii}(\Delta t) = 1 - \frac{1}{M_i} \sum_{j \neq i} \sum_{m=1}^{M_i} q_{i(m)j}(\Delta t) + o(\Delta t).$$

Eğer $M_i = 1$ olursa, o zaman genelleştirilmiş geçiş olasılığı olan $p_{ij}(\Delta t)$ normal geçiş olasılığına dönüşür. Dolayısıyla normal geçiş olasılığı yukarıda tanımlamış olduğumuz genelleştirilmiş geçiş olasılığının özel bir durumu olmuş olur.

Tanım 2.2. Anahtar Bileşen

Kabul edelim ki sistem arızalanmış olsun. Sistemin arızalanmasına neden olan arızalı bileşenlerden herhangi bir tanesi tamir edilip sisteme dâhil olduğunda sistem çalışır duruma geçebiliyorsa bu arızalı bileşene anahtar bileşen adı verilir.

Aşağıdaki teorem doğrusal $TEA(n, k, F)$ sistemi için geçerlidir.

Teorem 2.1.

Kabul edelim ki M_{-i} doğrusal $TEA(n, k, F)$ sisteminin $-i$ durumundaki farklı olaylarının sayısını gösterebilir. Bu durumda $1 \leq i \leq d$ için

$$M_{-i} = \sum_{r=0}^{\min(n-i+1, \lfloor i/k \rfloor)} (-1)^r \binom{n-i+1}{r} \binom{n-kr}{n-i}$$

elde edilir [3].

Yukarıdaki teoremden $d = n - \lfloor n/k \rfloor$ dir. Ayrıca $\lfloor x \rfloor$ ifadesi, x sayısından küçük veya ona eşit en büyük tam sayıyı temsil etmektedir. Örneğin doğrusal $TEA(7, 3, F)$ 'de

$$d = 7 - \left\lfloor \frac{7}{3} \right\rfloor = 7 - 2 = 5$$

elde edilir. Benzer şekilde doğrusal $TEA(8, 2, F)$ 'de

$$d = 8 - \left\lfloor \frac{8}{2} \right\rfloor = 8 - 4 = 4$$

elde edilir.

Aşağıdaki teorem dairesel $TEA(n, k, F)$ sistemi için geçerlidir.

Teorem 2.2.

Dairesel $TEA(n, k, F)$ sisteminde $-i$ durumundaki farklı olayların sayısı M_{-i} ifadesi ile gösterilsin. Bu durumda $1 \leq i \leq d$ için

$$M_{-i} = \sum_{r=0}^{m_1^*} (-1)^r \binom{n-i+1}{r} \binom{n-kr}{i-kr}$$

$$- \sum_{l=k}^{\min(i, 2(k-1))} (2k-1-l) \sum_{r=0}^{m_l^*} (-1)^r \binom{n-i-1}{r} \binom{n-l-kr-2}{i-l-kr}$$

elde edilir [16]. Burada,

$$m_1^* = \min\left(n-i+1, \left\lfloor \frac{i}{k} \right\rfloor\right),$$

$$m_l^* = \min\left(n-i-1, \left\lfloor \frac{i-l}{k} \right\rfloor\right),$$

ve

$$b < a \text{ için } \sum_{i=a}^b f(i) \equiv 0$$

dır. Yukarıdaki teoremde $d = n - \lceil n/k \rceil$ dir. Ayrıca $\lceil x \rceil$ ifadesi, x sayısından büyük veya ona eşit en küçük tam sayıyı temsil etmektedir. Örneğin dairesel $TEA(7, 3, F)$ 'de

$$d = 7 - \left\lceil \frac{7}{3} \right\rceil = 7 - 3 = 4$$

elde edilir. Benzer şekilde dairesel $TEA(8, 2, F)$ 'de

$$d = 8 - \left\lceil \frac{8}{2} \right\rceil = 8 - 4 = 4$$

elde edilir.

3. DOĞRUSAL VE DAİRESEL $TEA(n, k, F)$ SİSTEMİ İÇİN MODEL VARSAYIMLARI

Aşağıda doğrusal ve dairesel $TEA(n, k, F)$ sistemi için bazı varsayımlar verilmektedir.

Varsayım 1: Sistem bir doğru boyunca veya dairesel olarak sıralanmış n tane özdeş bileşenden ve bir tamirciden oluşsun. Sistem, ancak ve ancak ardışık k tane bileşen arızalandığı zaman arızalanır.

Varsayım 2: Başlangıçta sistemi oluşturan bütün bileşenler çalışır durumdadır.

Varsayım 3: i inci bileşenin çalışma süresi üstel dağılıma sahip olup olasılık yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$f_i(t) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda t}, & t > 0 \\ 0, & t \leq 0 \end{cases}, i = 1, 2, \dots, n.$$

Varsayım 4: Sistemde çok küçük bir zaman aralığında aynı anda birden fazla bileşenin arızalanma olasılığı ihmal edilmiştir.

Varsayım 5: Tamir, ilk arızalanan bileşen öncelikli olarak tamir edilir prensibi üzerine kurulmuştur. Aynı anda birden fazla bileşen tamir edilemez. Ayrıca tamir olan bileşenler yenisi kadar iyi olarak kabul edilmiştir.

Varsayım 6: i inci bileşenin tamirde geçirdiği süre üstel dağılıma sahip olup olasılık yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$g_i(t) = \begin{cases} \mu e^{-\mu t}, & t > 0 \\ 0, & t \leq 0 \end{cases}, i = 1, 2, \dots, n.$$

Varsayım 7: Sistem arızalı durumdayken arızalı olmayan bileşenler sistem durduğu için arızalanamazlar.

4. MODEL ANALİZİ

Kabul edelim ki $N(t)$ sistemin t zamanındaki durumunu göstere sin. Bir önceki bölümde vermiş olduğumuz model varsayımlarına bağlı kalırsak $N(t)$ ifadesi aşağıdaki olası değerleri alabilir:

$$N(t) = \left\{ \begin{array}{ll} 0, & \text{Sistemde } t \text{ zamanında bütün bileşenler} \\ & \text{çalışır durumda ise sistem çalışır} \\ -1, & \text{Sistemde } t \text{ zamanında bir bileşen} \\ & \text{arızalı durumda ise sistem çalışır} \\ -2, & \text{Sistemde } t \text{ zamanında iki bileşen} \\ & \text{arızalı durumda ise sistem çalışır} \\ \vdots & \vdots \\ -k, & \text{Sistemde } t \text{ zamanında } k \text{ tane bileşen} \\ & \text{arızalı durumda ise sistem çalışır} \\ \vdots & \vdots \\ -d, & \text{Sistemde } t \text{ zamanında } d \text{ tane bileşen} \\ & \text{arızalı durumda ise sistem çalışır} \\ k, & \text{Sistemde } t \text{ zamanında } k \text{ tane bileşen} \\ & \text{arızalı durumda ise sistem arızalanır} \\ k + 1, & \text{Sistemde } t \text{ zamanında } k + 1 \text{ tane bileşen} \\ & \text{arızalı durumda ise sistem arızalanır} \\ \vdots & \vdots \\ d + 1, & \text{Sistemde } t \text{ zamanında } d + 1 \text{ tane bileşen} \\ & \text{arızalı durumda ise sistem arızalanır} \end{array} \right.$$

Eğer sistem doğrusal ise yukarıdaki ifadede belirtilen d sayısı Teorem 2.1 de belirtildiği şekilde bulunur, eğer sistem dairesel ise o zaman d sayısı Teorem 2.2 de belirtildiği şekilde hesaplanır.

Bu durumda $\{N(t), t \geq 0\}$ ifadesi $\Omega = \{0, -1, -2, \dots, -d, k, k + 1, \dots, d + 1\}$ durum uzayına sahip sürekli zamanlı homojen Markov süreci olmuş olur. Bahsi geçen bu sürecin çalışma durumları $W = \{0, -1, -2, \dots, -d\}$ kümesi ile arızalı durumları ise $F = \{k, k + 1, \dots, d + 1\}$ kümesi ile gösterilir.

Tanım 1.1, Tanım 1.2 ve model varsayımlarına göre doğrusal ve dairesel $TEA(n, k, F)$ sistemlerinin durum geçiş olasılıklarını aşağıdaki gibi elde edebiliriz [3,16]:

Eşitlik (2.1) de $i = 0$ ve $j \in \Omega$ için

$$p_{0j}(\Delta t) = \begin{cases} n\lambda\Delta t + o(\Delta t), & j = -1 \\ 1 - n\lambda\Delta t + o(\Delta t), & j = 0 \\ o(\Delta t), & j \neq 0, -1 \end{cases}, \quad (4.1)$$

elde ederiz.

Eşitlik (2.1) de $1 \leq i \leq d$ ve $j \in \Omega$ için

$$p_{-ij}(\Delta t) = \begin{cases} \mu\Delta t + o\Delta t, & j = -(i-1) \\ (i+1) \frac{M_{-(i+1)}}{M_{-i}} \lambda\Delta t + o\Delta t, & j = -(i+1) \\ \left((n-i) - (i+1) \frac{M_{-(i+1)}}{M_{-i}} \right) \lambda\Delta t + o\Delta t, & j = i+1 \\ 1 - ((n-i)\lambda + \mu)\Delta t + o\Delta t, & j = -i \\ o\Delta t, & \text{diğer } j \text{ değerleri için} \end{cases}, \quad (4.2)$$

elde ederiz.

Eşitlik (2.1) de $k \leq i \leq d+1$ ve $j \in \Omega$ için

$$p_{ij}(\Delta t) = \begin{cases} \mu\Delta t + o\Delta t, & j = -(i-1) \\ 1 - \mu\Delta t + o\Delta t, & j = i \\ o\Delta t, & \text{diğer } j \text{ değerleri için} \end{cases}, \quad (4.3)$$

elde ederiz.

Yukarıda (4.1), (4.2) ve (4.3) eşitlikleri ile verilen durum geçiş olasılıkları kullanarak, sistemin geçiş oran matrisi olan Q

$$Q = (q_{ij}), \quad i, j \in \Omega \quad (4.4)$$

şeklinde elde edilir. Burada

$$q_{ij} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{p_{ij}(\Delta t)}{\Delta t} \right), \quad i, j \in \Omega, \quad i \neq j,$$

$$q_j = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{1 - p_{jj}(\Delta t)}{\Delta t} \right), \quad j \in \Omega.$$

Geçiş oran matrisi olan Q kullanılarak sisteme ait bazı önemli güvenilirlik indislerini hesaplayabiliriz. Bahsi geçen güvenilirlik indisleri; sistemin kullanılabilirliği, sistemde arızaların oluşum oranı, sistemin ilk ortalama arızalanma süresi ve sistemin güvenilirliği şeklindedir. Bu çalışmamızda, sistemin t zamanındaki kullanılabilirliğinin nasıl hesaplandığı verilecektir.

5. DOĞRUSAL $TEA(8, 3, F)$ SİSTEMİ

Bu bölümde bir önceki bölümde öne sürmüş olduğumuz yöntemlerin uygulamasını yapmak için bileşen sayısının $n = 8$ olduğu ve bileşenlerin bir doğru boyunca sıralandığı özel bir sistem ele alınmıştır. Ayrıca bu sistem ardışık olarak $k = 3$ tane bileşeni arızalandığı zaman arızalanır şeklinde tasarlanmıştır. Sonuç olarak bu bölümde doğrusal $TEA(8, 3, F)$ sistemi incelenmeye çalışılmıştır.

$TEA(8, 3, F)$ sisteminin durum uzayı $\Omega = \{0, -1, -2, -3, -4, -5, -6, 3, 4, 5, 6, 7\}$ kümesi ile gösterilir. $W = \{0, -1, -2, -3, -4, -5, -6\}$ kümesi sistemin çalışan durumlarını ve $F = \{3, 4, 5, 6, 7\}$ kümesi de sistemin arızalı olduğu durumları gösterir. (4.1), (4.2) ve (4.3) eşitlikleri ve (4.4) ifadesi kullanılırsa $Q(L)$ matrisini aşağıdaki gibi elde edebiliriz [3]:

$$Q(L) = \begin{pmatrix} -8\lambda & 8\lambda & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \mu & d_1 & 7\lambda & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mu & d_2 & \frac{75}{14}\lambda & 0 & 0 & 0 & \frac{9}{14}\lambda & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \mu & d_3 & \frac{18}{5}\lambda & 0 & 0 & 0 & \frac{7}{5}\lambda & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mu & d_4 & \frac{16}{9}\lambda & 0 & 0 & 0 & \frac{20}{9}\lambda & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mu & d_5 & \frac{3}{8}\lambda & 0 & 0 & 0 & \frac{21}{8}\lambda & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu & d_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2\lambda \\ 0 & 0 & \mu & 0 & 0 & 0 & 0 & -\mu & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mu & 0 & 0 & 0 & 0 & -\mu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mu & 0 & 0 & 0 & 0 & -\mu & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu & 0 & 0 & 0 & 0 & -\mu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu & 0 & 0 & 0 & 0 & -\mu \end{pmatrix}.$$

Burada $d_l = -[(8 - l)\lambda + \mu]$, $l = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ şeklinde tanımlanmıştır.

5.1. Sistemin t Zamanındaki Güvenilirliği

Kabul edelim ki

$$p_j(t) = P\{N(t) = j\}, \quad j \in \Omega$$

olsun. Kolmogorov-Feller ileri denklemine göre Fokker-Planck denklemini $p_0(0) = 1$, $p_j(0) = 0, j \neq 0$ ve $j \in \Omega$ olmak üzere aşağıdaki gibi elde edebiliriz [2]:

$$p'_j(t) = \sum_{k \in \Omega} p_k(t) q_{kj},$$

Kabul edelim ki

$$P(t) = (p_0(t), p_{-1}(t), p_{-2}(t), p_{-3}(t), p_{-4}(t), p_{-5}(t), p_{-6}(t), p_3(t), p_4(t), p_5(t), p_6(t), p_7(t))$$

olsun. O zaman Q matrisini kullanarak Fokker-Planck denklemini $P(0) = (1, 0, \dots, 0)$ başlangıç koşulu ile matris formda yeniden

$$P'(t) = P(t)Q, \tag{5.1.1}$$

şeklinde yazabiliriz. (5.1.1) eşitliği daha açık olarak aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$p'_0(t) = -8\lambda p_0(t) + \mu p_{-1}(t),$$

$$p'_{-1}(t) = 8\lambda p_0(t) - (7\lambda + \mu)p_{-1}(t) + \mu p_{-2}(t),$$

$$p'_{-2}(t) = 7\lambda p_{-1}(t) - (6\lambda + \mu)p_{-2}(t) + \mu p_{-3}(t) + \mu p_3(t),$$

$$p'_{-3}(t) = \frac{75}{14}\lambda p_{-2}(t) - (5\lambda + \mu)p_{-3}(t) + \mu p_{-4}(t) + \mu p_4(t),$$

$$p'_{-4}(t) = \frac{18}{5} \lambda p_{-3}(t) - (4\lambda + \mu) p_{-4}(t) + \mu p_{-5}(t) + \mu p_5(t),$$

$$p'_{-5}(t) = \frac{16}{9} \lambda p_{-4}(t) - (3\lambda + \mu) p_{-5}(t) + \mu p_{-6}(t) + \mu p_6(t),$$

$$p'_{-6}(t) = \frac{3}{8} \lambda p_{-5}(t) - (2\lambda + \mu) p_{-6}(t) + \mu p_7(t),$$

$$p'_3(t) = \frac{9}{14} \lambda p_{-2}(t) - \mu p_3(t),$$

$$p'_4(t) = \frac{7}{5} \lambda p_{-3}(t) - \mu p_4(t),$$

$$p'_5(t) = \frac{20}{9} \lambda p_{-4}(t) - \mu p_5(t),$$

$$p'_6(t) = \frac{21}{8} \lambda p_{-5}(t) - \mu p_6(t),$$

$$p'_7(t) = 2\lambda p_{-6}(t) - \mu p_7(t).$$

Yukarıda verilen denklem sistemi kullanılarak doğrusal $TEA(8, 3, F)$ sisteminin t zamanındaki kullanılabilirliği

$$A(t) = p_0(t) + p_{-1}(t) + p_{-2}(t) + p_{-3}(t) + p_{-4}(t) + p_{-5}(t) + p_{-6}(t)$$

şeklinde elde edilir. Ancak bu çalışmadaki asıl amacımız sistemin t zamanındaki güvenilirliğini hesaplamak olduğu için, bölüm 4 de verilen sürekli zamanlı homojen Markov süreci olan $\{N(t), t \geq 0\}$ ifadesini beş tane yutucu duruma sahip $\{\tilde{N}(t), t \geq 0\}$ ifadesi şeklinde ele alalım. $\{N(t), t \geq 0\}$ ve $\{\tilde{N}(t), t \geq 0\}$ Markov süreçleri arasındaki fark $\{N(t), t \geq 0\}$ sürecindeki arızalı durumların oluşturduğu küme $\{\tilde{N}(t), t \geq 0\}$ sürecinde yutucu durumların kümesi olmuş olmasıdır.

Doğrusal $TEA(8,3,F)$ sisteminin t zamanındaki güvenilirliğini hesaplayabilmek için

$$\check{p}_j(t) = P\{\check{N}(t) = j\}, \quad j \in \Omega$$

olsun. Bu durumda, sistemin t zamanındaki güvenilirliği

$$R(t) = \check{p}_0(t) + \check{p}_{-1}(t) + \check{p}_{-2}(t) + \check{p}_{-3}(t) + \check{p}_{-4}(t) + \check{p}_{-5}(t) + \check{p}_{-6}(t)$$

şeklinde elde edilir. Olasılık analizinden, aşağıdaki diferansiyel denklem sistemini $\check{P}'_w(0) = (1, 0, 0, 0, 0, 0, 0)$ başlangıç koşulu ile kolaylıkla elde edebiliriz:

$$\check{P}'_w(t) = \check{P}_w(t)B, \quad (5.1.2)$$

Yukarıdaki diferansiyel denklem sisteminde

$$\check{P}_w(t) = (\check{p}_0(t), \check{p}_{-1}(t), \check{p}_{-2}(t), \check{p}_{-3}(t), \check{p}_{-4}(t), \check{p}_{-5}(t), \check{p}_{-6}(t))$$

ve

$$B = \begin{pmatrix} -8\lambda & 8\lambda & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \mu & d_1 & 7\lambda & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mu & d_2 & \frac{75}{14}\lambda & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \mu & d_3 & \frac{18}{5}\lambda & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mu & d_4 & \frac{16}{9}\lambda & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mu & d_5 & \frac{3}{8}\lambda \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu & d_6 \end{pmatrix}$$

şeklindedir. Burada $d_l = -[(8-l)\lambda + \mu], l = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ dir.

Ayrıca (5.1.2) eşitliğini

$$\check{p}'_j(0) = \begin{cases} 1 & j = 0 \text{ için} \\ 0 & j \neq 0 \text{ fakat } j \in W \text{ için} \end{cases}$$

başlangıç koşulları ile aşağıdaki şekilde yeniden yazabiliriz:

$$\check{p}'_0(t) = -8\lambda\check{p}_0(t) + \mu\check{p}_{-1}(t),$$

$$\check{p}'_{-1}(t) = 8\lambda\check{p}_0(t) - (7\lambda + \mu)\check{p}_{-1}(t) + \mu\check{p}_{-2}(t),$$

$$\check{p}'_{-2}(t) = 7\lambda\check{p}_{-1}(t) - (6\lambda + \mu)\check{p}_{-2}(t) + \mu\check{p}_{-3}(t),$$

$$\check{p}'_{-3}(t) = \frac{75}{14}\lambda\check{p}_{-2}(t) - (5\lambda + \mu)\check{p}_{-3}(t) + \mu\check{p}_{-4}(t),$$

$$\check{p}'_{-4}(t) = \frac{18}{5}\lambda\check{p}_{-3}(t) - (4\lambda + \mu)\check{p}_{-4}(t) + \mu\check{p}_{-5}(t),$$

$$\check{p}'_{-5}(t) = \frac{16}{9}\lambda\check{p}_{-4}(t) - (3\lambda + \mu)\check{p}_{-5}(t) + \mu\check{p}_{-6}(t),$$

$$\check{p}'_{-6}(t) = \frac{3}{8}\lambda\check{p}_{-5}(t) - (2\lambda + \mu)\check{p}_{-6}(t),$$

Şimdi yukarıdaki denklem sisteminin $\check{P}_W(t)$ şeklinde oluşacak çözümünü bulmak için Runge-Kutta metodunu uygulayarak sistemin t zamanındaki $R(t)$ güvenilirliği elde edilmeye çalışılacaktır. Eğer λ ve μ değerleri verilmiş olsa Runge-Kutta metodunu uygulayarak sistemin t zamanındaki $R(t)$ güvenilirliğini sayısal olarak belirleyebiliriz. Bunun için farklı λ ve μ değerlerinin sistemin güvenilirliğinde meydana getirdikleri değişiklikleri görebilmek için üç farklı parametre seti kullanacağız. İlk parametre seti $\lambda = 0.5, \mu = 1.5$; ikinci parametre seti $\lambda = 1.5, \mu = 1.5$ ve üçüncü parametre seti $\lambda = 1.5, \mu = 0.5$ olarak ele alınacaktır. Aşağıdaki tabloda üç parametre seti için sistemin t zamanındaki $R(t)$ güvenilirliği verilmeye çalışılmıştır.

Tablo 5.1. Doğrusal sistem için, farklı λ ve μ değerlerine bağlı olarak elde edilen sistem güvenilirliği

	$R(t)$		
t	$\lambda = 0.5, \mu = 1.5$	$\lambda = 1.5, \mu = 1.5$	$\lambda = 1.5, \mu = 0.5$
0.1	0.9993	0.9864	0.9859
0.2	0.9958	0.9257	0.9211
0.3	0.9879	0.8242	0.8113
0.4	0.9755	0.7028	0.6799
0.5	0.9586	0.5795	0.5476
0.6	0.9379	0.4655	0.4278
0.7	0.9138	0.3666	0.3263
0.8	0.8869	0.2842	0.2443
0.9	0.8580	0.2177	0.1803
1.0	0.8274	0.1651	0.1316

6. DAİRESEL $TEA(8, 3, F)$ SİSTEMİ

Bir termoelektrik santralindeki kapalı devre su tedarik sistemi için, sekiz tane su pompası ve bir tamirci olsun. Eğer üç veya daha fazla ardışık su pompası arızalanırsa sistem arızalanır. Böylece, bu sistem dairesel $TEA(8, 3, F)$ sistemi olarak modellenebilir. Bölüm 4'e göre durum uzayı $\Omega = \{0, -1, -2, -3, -4, -5, 3, 4, 5, 6\}$ kümesi ile gösterilir. $W = \{0, -1, -2, -3, -4, -5\}$ kümesi sistemin çalışan durumlarını ve $F = \{3, 4, 5, 6\}$ kümesi de sistemin arızalı olduğu durumları gösterir. (4.1), (4.2) ve (4.3) eşitlikleri ve (4.4) ifadesi kullanılırsa $Q(D)$ matrisini aşağıdaki gibi elde edebiliriz [16]:

$$Q(D) = \begin{pmatrix} -8\lambda & 8\lambda & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \mu & d_1 & 7\lambda & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mu & d_2 & \frac{36}{7}\lambda & 0 & 0 & \frac{6}{7}\lambda & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \mu & d_3 & \frac{19}{6}\lambda & 0 & 0 & \frac{11}{6}\lambda & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mu & d_4 & \frac{45}{38}\lambda & 0 & 0 & \frac{107}{38}\lambda & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mu & d_5 & 0 & 0 & 0 & 3\lambda \\ 0 & 0 & \mu & 0 & 0 & 0 & -\mu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mu & 0 & 0 & 0 & -\mu & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mu & 0 & 0 & 0 & -\mu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu & 0 & 0 & 0 & -\mu \end{pmatrix}.$$

Burada $d_l = -[(8 - l)\lambda + \mu]$, $l = 1, 2, 3, 4, 5$ şeklinde tanımlanmıştır.

6.1. Sistemin t Zamanındaki Güvenirliliği

Bölüm 5.1 de verilen Fokker-Planck denklemini göz önüne alalım ve

$$P(t) = (p_0(t), p_{-1}(t), p_{-2}(t), p_{-3}(t), p_{-4}(t), p_{-5}(t), p_3(t), p_4(t), p_5(t), p_6(t))$$

olduğunu kabul edelim. O zaman $Q(D)$ matrisini kullanarak Fokker-Planck denklemini $P(0) = (1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)$ başlangıç koşulu daha açık olarak aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$p'_0(t) = -8\lambda p_0(t) + \mu p_{-1}(t),$$

$$p'_{-1}(t) = 8\lambda p_0(t) - (7\lambda + \mu)p_{-1}(t) + \mu p_{-2}(t),$$

$$p'_{-2}(t) = 7\lambda p_{-1}(t) - (6\lambda + \mu)p_{-2}(t) + \mu p_{-3}(t) + \mu p_3(t),$$

$$p'_{-3}(t) = \frac{36}{7}\lambda p_{-2}(t) - (5\lambda + \mu)p_{-3}(t) + \mu p_{-4}(t) + \mu p_4(t),$$

$$p'_{-4}(t) = \frac{19}{6}\lambda p_{-3}(t) - (4\lambda + \mu)p_{-4}(t) + \mu p_{-5}(t) + \mu p_5(t),$$

$$p'_{-5}(t) = \frac{45}{38}\lambda p_{-4}(t) - (3\lambda + \mu)p_{-5}(t) + \mu p_6(t),$$

$$p'_3(t) = \frac{6}{7}\lambda p_{-2}(t) - \mu p_3(t),$$

$$p'_4(t) = \frac{11}{6}\lambda p_{-3}(t) - \mu p_4(t),$$

$$p'_5(t) = \frac{107}{38}\lambda p_{-4}(t) - \mu p_5(t),$$

$$p'_6(t) = 3\lambda p_{-5}(t) - \mu p_6(t).$$

Yukarıda verilen denklem sistemi kullanılarak tamir edilebilir dairesel ardışık 8-den-3-çıkışlı F sisteminin t zamanındaki kullanılabilirliği

$$A(t) = p_0(t) + p_{-1}(t) + p_{-2}(t) + p_{-3}(t) + p_{-4}(t) + p_{-5}(t)$$

şeklinde elde edilir. Ancak bu çalışmadaki asıl amacımız sistemin t zamanındaki güvenilirliğini hesaplamak olduğu için, bölüm 4 de verilen sürekli zamanlı homojen Markov süreci olan $\{N(t), t \geq 0\}$ ifadesini dört tane yutucu duruma sahip $\{\tilde{N}(t), t \geq 0\}$ ifadesi şeklinde ele alalım. $\{N(t), t \geq 0\}$ ve $\{\tilde{N}(t), t \geq 0\}$ Markov süreçleri arasındaki fark $\{N(t), t \geq 0\}$ sürecindeki arızalı durumların oluşturduğu küme $\{\tilde{N}(t), t \geq 0\}$ sürecinde yutucu durumların kümesi olmuş olmasıdır.

Dairesel $TEA(8,3,F)$ sisteminin t zamanındaki güvenilirliğini hesaplayabilmek için

$$\tilde{p}_j(t) = P\{\tilde{N}(t) = j\}, \quad j \in \Omega$$

olsun. Bu durumda, sistemin t zamanındaki güvenilirliği

$$R(t) = \tilde{p}_0(t) + \tilde{p}_{-1}(t) + \tilde{p}_{-2}(t) + \tilde{p}_{-3}(t) + \tilde{p}_{-4}(t) + \tilde{p}_{-5}(t)$$

şeklinde elde edilir. Olasılık analizinden, aşağıdaki diferansiyel denklem sistemini $\tilde{P}'_w(0) = (1, 0, 0, 0, 0, 0)$ başlangıç koşulu ile kolaylıkla elde edebiliriz:

$$\tilde{P}'_w(t) = \tilde{P}_w(t)C, \quad (6.1.1)$$

Yukarıdaki diferansiyel denklem sisteminde

$$\tilde{P}_w(t) = (\tilde{p}_0(t), \tilde{p}_{-1}(t), \tilde{p}_{-2}(t), \tilde{p}_{-3}(t), \tilde{p}_{-4}(t), \tilde{p}_{-5}(t))$$

ve

$$C = \begin{pmatrix} -8\lambda & 8\lambda & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \mu & d_1 & 7\lambda & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mu & d_2 & \frac{36}{7}\lambda & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \mu & d_3 & \frac{19}{6}\lambda & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mu & d_4 & \frac{45}{38}\lambda \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mu & d_5 \end{pmatrix}$$

şeklindedir. Burada $d_l = -[(8-l)\lambda + \mu], l = 1, 2, 3, 4, 5$ dir.

Ayrıca (6.1.1) eşitliğini

$$\tilde{p}'_j(0) = \begin{cases} 1 & j = 0 \text{ için} \\ 0 & j \neq 0 \text{ fakat } j \in W \text{ için} \end{cases}$$

başlangıç koşulları ile aşağıdaki şekilde yeniden yazabiliriz:

$$\tilde{p}'_0(t) = -8\lambda\tilde{p}_0(t) + \mu\tilde{p}_{-1}(t),$$

$$\tilde{p}'_{-1}(t) = 8\lambda\tilde{p}_0(t) - (7\lambda + \mu)\tilde{p}_{-1}(t) + \mu\tilde{p}_{-2}(t),$$

$$\tilde{p}'_{-2}(t) = 7\lambda\tilde{p}_{-1}(t) - (6\lambda + \mu)\tilde{p}_{-2}(t) + \mu\tilde{p}_{-3}(t),$$

$$\tilde{p}'_{-3}(t) = \frac{36}{7}\lambda\tilde{p}_{-2}(t) - (5\lambda + \mu)\tilde{p}_{-3}(t) + \mu\tilde{p}_{-4}(t),$$

$$\tilde{p}'_{-4}(t) = \frac{19}{6}\lambda\tilde{p}_{-3}(t) - (4\lambda + \mu)\tilde{p}_{-4}(t) + \mu\tilde{p}_{-5}(t),$$

$$\tilde{p}'_{-5}(t) = \frac{45}{38}\lambda\tilde{p}_{-4}(t) - (3\lambda + \mu)\tilde{p}_{-5}(t).$$

Şimdi yukarıdaki denklem sisteminin $\tilde{P}_W(t)$ şeklinde oluşacak çözümünü bulmak için Runge-Kutta metodunu uygulayarak sistemin t zamanındaki $R(t)$ güvenilirliği elde edilmeye çalışılacaktır. Eğer λ ve μ değerleri verilmiş olsa Runge-Kutta metodunu uygulayarak sistemin t zamanındaki $R(t)$ güvenilirliğini sayısal olarak belirleyebiliriz. Bunun için farklı λ ve μ değerlerinin sistemin güvenilirliğinde meydana getirdikleri değişiklikleri görebilmek için üç farklı parametre seti kullanacağız. İlk parametre seti $\lambda = 0.5, \mu = 1.5$; ikinci parametre seti $\lambda = 1.5, \mu = 1.5$ ve üçüncü parametre seti $\lambda = 1.5, \mu = 0.5$ olarak ele alınacaktır. Aşağıdaki tabloda üç parametre seti için sistemin t zamanındaki $R(t)$ güvenilirliği verilmeye çalışılmıştır.

Tablo 6.1. Dairesel sistem için, farklı λ ve μ değerlerine bağlı olarak elde edilen sistem güvenilirliği

	$R(t)$		
t	$\lambda = 0.5, \mu = 1.5$	$\lambda = 1.5, \mu = 1.5$	$\lambda = 1.5, \mu = 0.5$
0.1	0.9991	0.9824	0.9818
0.2	0.9945	0.9066	0.9009
0.3	0.9843	0.7857	0.7703
0.4	0.9685	0.6479	0.6218
0.5	0.9474	0.5146	0.4800
0.6	0.9217	0.3973	0.3581
0.7	0.8924	0.3002	0.2602
0.8	0.8602	0.2231	0.1852
0.9	0.8260	0.1637	0.1297
1.0	0.7904	0.1188	0.0896

7. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, genelleştirilmiş geçiş olasılığı ve anahtar bileşen kavramları kullanılarak $TEA(n, k, F)$ sistemi incelenmeye çalışılmıştır. Çalışmamızda sistemin doğrusal ve dairesel olduğu durumlar ayrı ayrı ele alınmış ve zamana bağlı olarak sistemin güvenilirliği verilen parametre değerlerine göre elde edilmeye çalışılmıştır. Doğrusal ve dairesel $TEA(n, k, F)$ sistemi için oluşturulan Tablo 5.1 ve Tablo 6.1 deki değerler incelendiğinde $\lambda < \mu$ olduğu durumda sistemin yüksek güvenilirliğe sahip olduğu ve $\lambda = \mu$ ve ya $\lambda > \mu$ olduğunda da sistemin daha düşük güvenilirliğe sahip olduğu görülmektedir.

Hazırlamış olduğumuz bu çalışmada sistemi oluşturan bütün bileşenlerin çalışma sürelerinin λ parametrelili üstel dağılıma sahip olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca sistemi oluşturan bütün parçaların arızalandıktan sonra tamirde geçirdikleri süreleri de μ parametrelili üstel dağılıma sahip olduğu kabul edilmiştir. Bundan sonraki yapacağımız çalışmalarımızda $TEA(n, k, F)$ sistemini, bileşenlerinin çalışma sürelerinin birbirinden farklı parametrelere sahip üstel dağıldığı durumlar altında incelemeye çalışacağız. Yani, n tane bileşenden oluşan $TEA(n, k, F)$ sistemi için bileşenlerin sırasıyla $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$ parametrelili üstel dağılıma sahip olduğu kabul edilecek ve sistemin durum geçiş olasılıkları yeniden belirlenmeye çalışılacaktır. Ayrıca, sistemi oluşturan bileşenlerin çalışma sürelerinin üstel dağılımdan farklı bir dağılıma sahip olduğu durum içinde $TEA(n, k, F)$ sistemi çalışılacaktır.

KAYNAKÇA

- [1] **Bollinger, R.C. and Salvia, A.A.**, 1982. Consecutive- k -out-of- n : F network. IEEE Transaction on Reliability, 31, 53-56.
- [2] **Cao, J. H. and Cheng, K.**, 1986. Introduction to Reliability Mathematics, Applied Mathematical Modelling, Beijing: Science Press.
- [3] **Cheng, K. and Zhang, Y.L.**, 2001. Analysis for a consecutive- k -out-of- n : F repairable system with priority in repair. International Journal of Systems Science, 32, 591-598.
- [4] **Chiang, D.T. and Niu, S.C.**, 1981. Reliability of a consecutive- k -out-of- n : F system. IEEE Transaction on Reliability, 30, 87-89.
- [5] **Chiang, D. and Chiang, R.**, 1986. Relayed communication via consecutive- k -out-of- n : F system. IEEE Transaction on Reliability, 35, 65-70.
- [6] **Derman, C., Liberman, G.J. and Ross, S.M.**, 1982. On the consecutive- k -out-of- n : F system. IEEE Transaction on Reliability, 31, 57-63.
- [7] **Eryilmaz, S.**, 2014. Parallel and consecutive k -out-of- n : F systems under stochastic deterioration, Appl. Math. Comput., 227, 19-26.
- [8] **Gokdere, G., Gurcan, M. and Kılıç, M. B.**, 2016. A new method for computing the reliability of consecutive k -out-of- n : F systems, Open Phys., 14, 166-170.
- [9] **Gokdere, G. and Gurcan, M.**, 2016. Mühendislik uygulamalarında kullanılan ardışık n den k çıkışlı sistemlerin güvenilirlik analizi. Afyon Kocatepe Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi. 16, 461-467.
- [10] **Gokdere, G.**, 2017. Tamir edilebilir ardışık n 'den 2-çıkışlı F sistemi. Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi. 29(1), 349-354.
- [11] **Kao, S.C.**, 1982. Computing reliability from warranty. Proc. Am. Statist. Assoc., Sect. Statist. Comput. 309-312.
- [12] **Kontoleon, J.M.**, 1980. Reliability determination of a r -successive-out-of- n : F system. IEEE Transaction on Reliability, 29, 437.
- [13] **Lam, Y. and Zhang, Y.L.**, 1999. Analysis of repairable consecutive-2-out-of- n : F repairable systems with Markov dependence. International Journal of Systems Science, 30, 799-809.
- [14] **Lam, Y. and Zhang, Y.L.**, 2000. Repairable consecutive- k -out-of- n : F system with Markov dependence. Naval Research Logistics, 47, 18-39.
- [15] **Lam, Y. and Ng, H.K.T.**, 2001. A general model for consecutive- k -out-of- n : F repairable system with exponential distribution and $(k - 1)$ -step Markov dependence. European Journal of Operational Research, 129, 663-682.
- [16] **Yam, R.C.M., Zuo, M.J. and Zhang, Y.L.**, 2003. A method for evaluation of reliability indices for repairable circular consecutive- k -out-of- n : F systems. Reliability Engineering and System Safety, 79, 1-9.
- [17] **Zhang, Y.L. and Wang, T.P.**, 1996. Repairable consecutive-2-out-of- n : F system. Microelectronic Reliability, 36, 605-608.

- [18] **Zhang, Y.L., Wang, T.P. and Jia, J.S.,** 1998. Reliability analysis of consecutive- $(n - 1)$ -out-of- n : G repairable system. Chinese Journal of Automation, 10, 181-186.
- [19] **Zhang, Y.L. and Lam, Y.,** 1998. Reliability of consecutive- k -out-of- n : G repairable system. International Journal of Systems Science, 29, 1375-1379.
- [20] **Zhang, Y.L., Zuo, M.J. and Yam, R.C.M.,** 2000. Reliability analysis for a circular consecutive-2-out-of- n : F repairable system with priority in repair. Reliability Engineering and System Safety, 68, 113-120.
- [21] **Zuo, M.J. and Kuo, W.,** 1990. Design and performance analysis of consecutive- k -out-of- n structure. Naval Research Logistics, 37, 203-230.



ÖZGEÇMİŞ

1988 Elazığ doğumluyum. 1995 yılında ilkokul, 2000 yılında ortaokul ve 2003 yılında liseye başladım. 2007 yılında Fırat Üniversitesi İstatistik bölümüne başladım. 2011 yılında mezun oldum. 2013 yılında Şırnak Üniversitesinde göreve başladım. Şu anda Bursa Kamu Hastaneleri Birliğinde istatistikçi olarak görev yapmaktayım. 2014 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Anabilim Dalı, Uygulamalı İstatistik Bilim Dal'ında yüksek lisans eğitimine başlamış ve halen devam etmekteyim

