Araştırma Makalesi / Research Article

Birnbaum Önem Tabanlı Genetik Algoritma ve Doğrusal Ardışık n-den k-çıkışlı Sistemlerin Optimizasyonunda Uygulaması

Gökhan GÖKDERE*, Yunus GÜRAL

Fırat Üniversitesi, İstatistik Bölümü, Elazığ

Öz

Mühendislik uygulamalarında teknik bir sistemin güvenilirliği, o sistemi oluşturan bileşenlerin güvenilirliklerine bağlıdır. Bazı özel sistemlerde iki veya daha fazla bileşen aynı işleve sahip olabilirler ve bu bileşenler sistemde farklı pozisyonlara atanabilirler. Bu gibi sistemlerde aynı bileşenlerin konumlarını değiştirerek sistemin güvenilirliği artırılabilir. Bu çalışmada seri ve paralel sistemlerin genel hali olan doğrusal ardışık n-den k-çıkışlı sistemler incelenmiş ve sistemi oluşturan bütün bileşenlerin aynı işleve sahip olduğu durum için sistemin optimizasyonu Birnbaum önem tabanlı genetik algoritma yaklaşımı ile sağlanmaya çalışılmıştır. Ayrıca, önermiş olduğumuz yaklaşımın uygulamasını göstermek için petrol taşıma sistemi göz önüne alınmış ve bu sistem üzerinde bir durum çalışmasına yer verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Birnbaum önem tabanlı genetik algoritma, Doğrusal ardışık n-den k-çıkışlı sistem, Sistem güvenilirliği, Optimizasyon.

Birnbaum Importance Based Genetic Algorithm and its Aplication in Optimization of Linear Consecutive k-out-of-n Systems

Abstract

The reliability of a technical system in engineering applications depends on the reliability of the components that consist of the system. In some particular systems, two or more components may have the same function and these components may be assigned to different positions in the system. In such systems, the reliability of the system can be improved by changing the positions of the same components. In this study, linear consecutive k-out-of-n systems which are the general form of serial and parallel systems are examined and the optimization of the system has been tried to be achieved by Birnbaum importance based genetic algorithm approach when all the constituent components of the system have the same function. In addition, the oil transport system has been considered to demonstrate the application of the our proposed approach and a case study has been given for this system.

Keywords: Birnbaum importance based genetic algorithm, Linear consecutive k-out-of-n system, Reliability of system, Optimization.

1. Giriş

Doğrusal ardışık n-den k-çıkışlı ($DA(n,k)$) sistem modelleri daha yüksek güvenilirliğe ve daha uygun maliyete sahip olmalarından dolayı sistem güvenilirliğinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca bütünleşmiş devrelerin, telekomünikasyondaki telsiz bağlantısı istasyonlarının, petrol boru hattı sistemlerinin, proton ve nötron iyonları gibi yoğun taneciklere büyük kinetik enerji sağlayan

*Sorumlu yazar: g.g.gokdere@gmail.com
Geliş Tarihi: 17.05.2018, Kabul Tarihi: 26.10.2018

cihazlardaki vakum sistemlerinin ve uzay aracı röle istasyonlarının tasarlanması gibi çalışmalarda da geniş bir uygulama alanı bulmaktadır.

$DA(n,k)$ sistemler doğrusal olarak sıralanmış n tane bileşenden oluşurlar ve sistemin tasarlanmasına bağlı olarak "F" sistemi ve "G" sistemi olmak üzere iki şekilde ifade edilirler. Doğrusal ardışık n-den k-çıkışlı F ($DA(n,k)\colon F$) sistemi doğrusal olarak sıralanmış n tane bileşenden oluşan ve ardışık olarak en az k bileşeni arızalandığı zaman arızalanan bir sistem olarak tanımlanır. Doğrusal ardışık n-den k-çıkışlı G ($DA(n,k)\colon G$) sistemi ise doğrusal olarak sıralanmış n tane bileşenden oluşan ve ardışık olarak en az k bileşeni çalıştığı zaman çalışan bir sistem olarak tanımlanır. Literatürde bahsetmiş olduğumuz sistemlerin çalışma prensibi ve güvenilirliği hakkında çok sayıda çalışma mevcuttur [1-10].

$DA(n,k)\colon F$ ve $DA(n,k)\colon G$ sistemlerini verimli hale getirmek aynı zamanda sistem güvenilirliğini en üst seviyeye çıkartmak için en uygun bileşen dizilişini bulmak demektir. Bahsedilen bu olay birçok araştırmacı tarafından ilgilenilen tipik bileşen atama problemidir. Bileşen atama problemi ilk olarak Derman [11] tarafından önerilmiştir. Burada amaç farklı güvenilirliklere sahip n tane bileşene n tane pozisyon verilen bir sistemde en uygun yer değiştirmeyi bulmaktır. İşlevsel olarak değiştirilebilir en uygun bileşenleri sistemdeki yeni yerlerine atayarak sistem güvenilirliği en üst seviyeye getirilmiş olunur. Ancak bileşen atama problemi genellikle bileşenlerin dizilme biçimini verimli hale getirme problemidir ve karmaşık sistemler için makul bir zaman içerisinde en uygun atamayı bulmak zordur.

Mühendislik uygulamalarında aynı işlemi yapan çoklu bileşenlere ihtiyaç duyulması doğaldır. Örneğin petrol pompalama sistemini ele alalım. Bu sistemdeki boru hattı boyunca aynı işlevi gerçekleştiren çok sayıda pompa istasyonu vardır. Aynı işlemi yapan pompa istasyonları marka, yaş, bozulma derecesi gibi farklı durumlardan dolayı farklı güvenilirliklere sahip olabilirler. Ayrıca sistemdeki kullanıldıkları yerlerin pozisyonlarından dolayı bileşenler farklı olarak aşınmaya uğrarlar ve bu yüzden zamanla farklı güvenilirliklere sahip olabilirler. Genel olarak daha yeni ve daha pahalı olan bileşenler yüksek kaliteye sahiptirler ve daha güvenilirdirler. Bahsetmiş olduğumuz petrol pompalama sisteminde aynı işlemi yapan pompa istasyonlarının güvenilirliklerinin bilindiğini varsayalım. Burada bileşen atama problemi uygulandığında güvenilirlikleri bilinen bileşenler değişik pozisyonlara atanarak sistem güvenilirliğinin maksimum seviyeye çıkarılması amaçlanır. Fakat bileşenlerin sistem içerisindeki önem ölçüsü dikkate alındığında ve bileşen sayısı arttıkça bu işlem gereğinden fazla zaman alacaktır. Dolayısıyla bileşen atama probleminde önem ölçüsü kavramı ve bileşen sayısı yapılmak istenen işin süresini önemli bir şekilde etkilemektedir.

Önem ölçüsü kavramı aslen Birnbaum [12] tarafından 1969'da önerilmiştir. Bu kavram belirli bir bileşenin sistem güvenilirliğine olan katkısını gösterir. Bütün bileşenlerin önem değerleri hesaba katılarak, sistem güvenirliğini arttırmak için zayıf bileşene gerekli işlemler uygulanabilir. Uygulamada önem ölçüsü farklı türdeki sistemlerin zayıflıklarını belirlemek için geniş ölçüde uygulanmıştır. Bazı Birnbaum önem tabanlı sezgisel metotlar $DA(n,k)$ sistemlerin optimizasyonu için önerilmiştir [13-16]. Birnbaum önem kavramının sistemi verimli hale getirmede etkili olduğu kanıtlanmış olup daha yüksek Birnbaum önem değerine sahip pozisyona daha yüksek güvenilirliğe sahip bileşeni atamak $DA(n,k)$ sistemlerin güvenilirliğini artırmada etkili bir role sahip olacaktır.

Çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin çalışma durumları göz önüne alındığında, genetik algoritma yerel en uygun durumun ötesinde bütün çözüm uzayında arama yapabilir. Fakat bu rastlantısal arama uzun yakınsama süresine de neden olur. Bu durumda, genetik algoritma ile Birnbaum önem kavramının uygulaması genetik algoritmanın rastlantısal olmasını sınırlandıracak ve doğru bir sonuca ulaşmamızı sağlayacaktır.

Bu çalışmada, Birnbaum önem kavramının ve genetik algoritmanın her ikisinin de avantajlarını bir arada bulunduran Birnbaum önem tabanlı genetik algoritma yaklaşımı ile $DA(n,k)$ sistemlerin performanslarını arttırmak amaçlanmıştır. Çalışmamızın geri kalan kısmı şu şekilde organize edilmiştir. Bölüm 2 de ilk olarak $DA(n,k)$ sistemlerin güvenilirliği ve Birnbaum önem kavramı üzerinde durulmuş ve hesaplama işlemleri örneklerle anlatılmaya çalışılmıştır. Son olarak ise Birnbaum önem tabanlı genetik algoritmanın uygulama yöntemleri ayrıntılı bir şekilde verilmiştir. Bölüm 3'de anlatılan yaklaşımın bir uygulaması yapılmıştır. Son bölümde ise yapılan çalışma özetlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu bölümde $DA(n,k){:}\,F$ ve $DA(n,k){:}\,G$ sistemlerinin güvenilirliklerini hesaplayabilmek için literatürde bulunan yöntemler ve sistemi oluşturan bileşenler için Birnbaum önem kavramının nasıl hesaplanacağı verilecektir.

2.1. $\boldsymbol{DA(n,k){:}\,F}$ ve $\boldsymbol{DA(n,k){:}\,G}$ sistemlerinin güvenilirlikleri

$DA(n,k){:}\,F$ sisteminin güvenilirliğini hesaplamak için Zuo ve Kuo [7] aşağıdaki eşitliği önermişlerdir.

$$R_F(k,n,p_i) = 1 - \sum_{i=1}^{n-k+1}\left(p_{i+k}\prod_{j=i}^{i+k-1}(1-p_j)\right) \tag{1}$$

Burada p_i, $i = 1,2,\dots,n$ sistemdeki bileşenlerin güvenilirliklerini temsil etmektedir. Ayrıca $p_{n+1} \equiv 1$ ve $k \leq n \leq 2k$.

Örnek 2.1.1. $DA(4,2){:}\,F$ sistemini göz önüne alalım. Bu sistem doğrusal olarak sıralanmış 4 tane bileşenden oluşmuştur. Sistem ardışık olarak en az ardışık 2 bileşeni arızalandığı zaman arızalanır. Sistemi oluşturan bileşenlerin güvenilirlikleri $p_1 = 0.98$, $p_2 = 0.91$, $p_3 = 0.87$ ve $p_4 = 0.94$ şeklinde verilmiş olsun. Bu durum da sistem güvenilirliği için (1) formülü kullanılırsa

$$R_F(2,4,p_1,p_2,p_3,p_4) = 1 - (p_3(1-p_1)(1-p_2) + p_4(1-p_2)(1-p_3) + (1-p_3)(1-p_4))$$

elde edilir. Sonuç olarak bileşen güvenilirlikleri yukarıdaki eşitlikte kullanılırsa

$$R_F(2,4,0.98,0.91,0.87,0.94) = 0.979636$$

elde edilir.
Kuo ve ark. [17] $DA(n,k){:}\,F$ ve $DA(n,k){:}\,G$ sistemlerinin birbirlerinin duali olduğunu belirtmişlerdir. Dolayısıyla $DA(n,k){:}\,G$ sisteminin güvenilirliği $R_G(k,n,p_i) = 1 - R_F(k,n,1-p_i)$ şeklinde hesaplanır.

Örnek 2.1.2 $DA(4,2){:}\,G$ sistemini göz önüne alalım. Bu sistem doğrusal olarak sıralanmış 4 tane bileşenden oluşmuştur. Sistem en az ardışık 2 bileşeni çalıştığı zaman çalışır. Sistemi oluşturan bileşenlerin güvenilirlikleri $p_1 = 0.98$, $p_2 = 0.91$, $p_3 = 0.87$ ve $p_4 = 0.94$ şeklinde verilmiş olsun. Bu durum da sistem güvenilirliği için

$$R_G(2,4,p_1,p_2,p_3,p_4) = p_1p_2(1-p_3) + p_2p_3(1-p_4) + p_3p_4$$

elde edilir. Sonuç olarak bileşen güvenilirlikleri yukarıdaki eşitlikte kullanılırsa

$$R_G(2,4,0.98,0.91,0.87,0.94) = 0.981236$$

elde edilir.

2.2. Birnbaum Önem Kavramı

Güvenilirlikte Birnbaum önem kavramı önemli bir ölçüdür ve bileşen atama probleminde sıklıkla kullanılmaktadır. Birnbaum önem kavramı bileşenlerin göreli önem değerlerini ve sistem güvenilirliğine olan katkısını hesaplar. Böylece sistem güvenilirliğinde en uygun sıralama için iyi bir rehberdir. Bileşenlerin Birnbaum önem değerleri aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$I(i;P_\pi)=\frac{\partial R(P_\pi)}{\partial p_{\pi_1}}=R\left(p_{\pi_1},\dots,p_{\pi_{i-1}},1,p_{\pi_{i+1}},\dots,p_{\pi_n}\right)-R\left(p_{\pi_1},\dots,p_{\pi_{i-1}},0,p_{\pi_{i+1}},\dots,p_{\pi_n}\right). \tag{2}$$

Burada, π_i , $(i=1,2,\dots,n)$ i-inci pozisyona atanan bileşenin sıra numarasını ve $\pi=(\pi_1,\pi_2,\dots,\pi_n)$ de sistemdeki n tane pozisyona n tane bileşenin bire bir atanan sıralamasını temsil eder. Ayrıca, $P_\pi=(p_{\pi_1},p_{\pi_2},\dots,p_{\pi_n})$ vektörü π sıralaması altında n tane pozisyona sahip göreli güvenilirlik vektörüdür. Yani i-inci pozisyona π_i bileşeni atanır ve böylece i-inci pozisyon p_{π_i} güvenilirliğine sahip olur.
(2) eşitliğine göre Birnbaum önem değerleri bileşen güvenilirliği geliştikçe sistemin güvenilirliğini de geliştiren oranları temsil eder. Dolayısıyla büyük önem değerine sahip bir pozisyon, sistem performansı için önemlidir ve bu pozisyona daha güvenilir bir bileşen atanmalıdır.

Örnek 2.2.1. Bileşen güvenilirlikleri sırasıyla $p_1=0.98$, $p_2=0.91$, $p_3=0.87$ ve $p_4=0.94$ olan $DA(4,2){:}\,F$ sistemini düşünelim. Bu sistem için mevcut bütün bileşenlerin aynı işleve sahip olduklarını kabul edelim. Dolayısıyla bileşenler kendi aralarında istenirse yer değiştirebilir. Bu durumda sistemi oluşturan bileşenlerin pozisyonları için Birnbaum önem kavramlarını hesaplamamız yer değiştirme işlemi için bize bir fikir verecektir. (2) eşitliği ile verilen formül kullanılırsa aşağıdaki sonuçlar elde edilir.

Birinci pozisyon için önem değeri,

$$I(1)=R\left(1,p_{\pi_2},p_{\pi_3},p_{\pi_4}\right)-R\left(0,p_{\pi_2},p_{\pi_3},p_{\pi_4}\right)=0.993508-0.908908=0.0846.$$

İkinci pozisyon için önem değeri,

$$I(2)=R\left(p_{\pi_1},1,p_{\pi_3},p_{\pi_4}\right)-R\left(p_{\pi_1},0,p_{\pi_3},p_{\pi_4}\right)=0.9988-0.8178=0.1810.$$

Üçüncü pozisyon için önem değeri,

$$I(3)=R\left(p_{\pi_1},p_{\pi_2},1,p_{\pi_4}\right)-R\left(p_{\pi_1},p_{\pi_2},0,p_{\pi_4}\right)=0.9883-0.8918=0.0965.$$

Dördüncü pozisyon için önem değeri,

$$I(4)=R\left(p_{\pi_1},p_{\pi_2},p_{\pi_3},1\right)-R\left(p_{\pi_1},p_{\pi_2},p_{\pi_3},0\right)=0.983602-0.929002=0.0546.$$

Sistemdeki mevcut pozisyonlar için elde etmiş olduğumuz değerleri kullanırsak aşağıdaki sonuçları elde edebiliriz.

İkinci pozisyon en yüksek önem değerine sahip olduğu için bu pozisyona güvenilirliği en yüksek olan birinci bileşen yerleştirilir. Üçüncü pozisyon ikinci en büyük güven değerine sahip olduğu için bu pozisyona güvenilirliği ikinci en yüksek olan dördüncü bileşeni, birinci pozisyon üçüncü en yüksek güvenilirliğe sahip olduğu için bu pozisyona ikinci bileşen ve son olarak ise dördüncü pozisyona üçüncü bileşeni yerleştirirsek sistem güvenilirliğini maksimum seviyeye taşımız oluruz. Sonuç olarak sistem güvenilirliği aşağıdaki gibi elde edilmiş olur.

$$R_F(2,4,0.91,0.98,0.94,0.87)=0.9894.$$

2.3. Genetik algoritma

Bu bölümde Birnbaum önem tabanlı genetik algoritmanın uygulama yöntemleri ayrıntılı olarak verilmiştir. Daha detaylı bilgi için [18] bakılabilir.

(1) $DA(n,k)$ sisteminin amaç fonksiyonunu ve çözüm uzayını belirlemek.
$DA(n,k)$ sistemin güvenilirliği, maksimum güvenilirlik değerini bulmak için optimizasyonda amaç fonksiyonu olarak kullanılır. Örneğin araştırmak istediğimiz sistem $DA(n,k){:}\,F$ sistemi ise (1) eşitliği ile vermiş olduğumuz formül bizim için amaç fonksiyonu olmaktadır. Çözüm uzayı bileşenlerin farklı

dizilişlerinin kümesidir. Sistem güvenilirliği sistemdeki bileşenlerin farklı dizilişleri ile farklı olabilir. Eğer sistem n bileşene sahip ise çözümün büyüklüğü $n!$ dir.

(2) Kodlama yöntemini ve kod alanını belirlemek.

$DA(n,k)$ sisteminin özelliklerine göre Birnbaum önem tabanlı genetik algoritma sembolik kodlama yöntemini benimser. “Gen” bir bileşeni ifade eder.

n tane bileşenin bir dizilişi bir kromozom oluşturur, yani bileşenlerin bir π ataması bir kromozom olarak kodlanmıştır. Bu yüzden bir kromozomdaki farklı genler farklı güvenilirliklere sahip bileşenleri ifade eder. Bir genin kod uzayı bileşenlerin sayısını belirtmektedir. O zaman ele almış olduğumuz sistemde gen değerinin aralığı $\{1,2,\ldots,n\}$ olacak şekilde belirlenir.

(3) m kromozoma sahip bir başlangıç popülasyonu üretmek.

Birnbaum önem tabanlı genetik algoritma bir başlangıç popülasyonundan başlar. Bu popülasyon $DA(n,k)$ sistemini verimli hale getirmek için potansiyel çözümü temsil eden bir miktar kromozomdan oluşmaktadır. m tane kromozom bileşenlerin m türlü dizilişi anlamına gelirken bileşenlerin bir dizilişi bir kromozom anlamına gelir. Bu makalede başlangıçtaki bir kromozom iki aşamalı yaklaşıma dayalı Birnbaum önem kavramına dayanılarak oluşturulacaktır [19]. Geri kalan $m-1$ tane kromozom ise rastgele oluşturulacaktır.

(4) Başlangıç popülasyonunun her bir kromozomunun uyumluluğunu değerlendir.

$DA(n,k)$ sistemini verimli hale getirmenin amacı $(0-1)$ tanım aralığında değişen sistem güvenilirliğini maksimum seviyeye getirmektir. $R(\pi_t)$ şeklinde tanımlanan sistem güvenilirliği π_t $(t=1,2,\ldots,m)$ kromozomunun uygunluğunu hesaplamak için amaç fonksiyonu olarak kullanılır. Sistem güvenilirliğinin $(0-1)$ tanım aralığında alacağı değer sadece bileşenlerin dizilimine ve bileşenlerin $DA(n,k)$ sistemindeki güvenilirliklerine bağlıdır.

(5) Eğer geçerli popülasyon sonlandırma koşulu 1'i sağlarsa algoritmayı durdur ve en uygun çözüm çıktısını al.

Sonlandırma koşulu 1, popülasyondaki kromozom sayısının önceden belirlenmiş bir değeri geçemeyeceği anlamına gelmektedir.

(6) Mevcut popülasyondaki en iyi kromozomu kaydet.

En iyi çözüm olarak popülasyondaki en büyük güvenilirliğe sahip kromozom belirlenir ve sonraki aşama için muhafaza edilir.

(7) Mevcut popülasyondaki her bir kromozomun ölçek uygunluğunu değerlendir.

Ölçek uygunluğu popülasyonun çeşitliği ve yakınsaklığındaki erken oluşumu dengelemek için kullanılır. Popülasyonun ölçek uygunluğu yalnızca en iyi çözümü aramak için popülasyonun çeşitliliğini içermez aynı zamanda bir an evvel kabul edilebilir en iyi çözüme yakınsayarak katkıda bulunur. Ölçek dönüşümü ile π_t kromozomunun uygunluğu $\mathbb{R}(\pi_t)$ ile yer değiştirir. $\mathbb{R}(\pi_t)$ ifadesi

$$\mathbb{R}(\pi_t) = aR(\pi_t) + b$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada a ve b parametrelerdir. Kabul edelim ki dönüşümden önce f^m ifadesi m tane kromozomun maksimum uygunluk değerini, f_m ifadesi m tane kromozomun minimum uygunluk değerini ve f ifadesi m tane kromozomun ortalama uygunluk değerini göstersin. Benzer şekilde kabul edelim ki dönüşümden sonra $\mathbb{f}^m$ ifadesi m tane kromozomun maksimum uygunluk değerini, $\mathbb{f}_m$ ifadesi m tane kromozomun minimum uygunluk değerini ve $\mathbb{f}$ ifadesi m tane kromozomun ortalama uygunluk değerini göstersin. Eğer a ve b parametreleri $f = \mathbb{f}$ ve $\mathbb{f}^m = S_f \mathbb{f}_m$ eşitliklerini sağlarsa o zaman a ve b parametreleri aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$a = \frac{(S_f - 1)f}{(f - f_m)S_f + (f^m - f)}\ , \quad b = (1-a)f\ .$$

Burada, S_f ölçek uygunluğu faktörüdür. $S_f \gg 1$ olduğunda yüksek uygunluğa sahip kromozom erken oluşuma ve yerel en iyi çözüme sebep olan tüm popülasyonu kısa zamanda kontrol altına alacaktır. $S_f \approx 1$ olduğunda ise popülasyonun dağılımı her zaman yüksek olacaktır ve yakınsama oranı da çok düşük olacaktır.

(8) Eğer geçerli popülasyon sonlandırma koşulu 2'yi sağlarsa algoritmayı durdur ve en uygun çözüm çıktısını al.

α çok küçük pozitif bir sayı olmak üzere,

$$(f - f_m)S_f + (f^m - f) < \alpha$$

eşitsizliği sonlandırma koşulu 2 için bir gösterge olarak kullanılır.

(9) Her bir kromozomun uygunluğuna göre mevcut popülasyon üzerinde seçim uygula.
Seçim işlemi yeni popülasyon oluşturmak için mevcut popülasyondan m kromozom seçilmesidir. Burada,

$$\frac{\mathbb{R}(\pi_t)}{\sum_{j=1}^{m} \mathbb{R}(\pi_j)}$$

olasılığına sahip yeni popülasyondan bir kromozomun seçildiği orantısal model benimsenmiştir. Bu yüzden, kromozomun uygunluğu ne kadar büyük ise yeni popülasyondan seçilmesi şansı artacaktır.

(10) Yeni popülasyon üzerinde çaprazlama uygula.
Burada aynı tesadüfi olasılığa sahip iki kesişim noktasını seçerek gen değişimi uygulanır. Bu iki kesişim noktaları eski kromozom çifti arasında eşleşme kısımlarını üretir. Gen değişimi kromozom çifti üzerinde uygulandığında, bir kromozom diğer kromozomun genlerine göre kendi gen pozisyonlarını değiştirir ve yeni kromozom oluşturulur.
Örnek vermek gerekirse 8 bileşenden oluşan bir sistem düşünelim ve bu sistem için oluşabilecek iki kromozomu

$\pi_1 = 74186325$ ve $\pi_2 = 16357482$

şeklinde tanımlayalım. Aynı tesadüfi olasılığa sahip iki kesişim noktası 4 ve 5 olsun. Bu durumda birinci kromozomda 4 ve 5 kesişim noktaları sırasıyla 8 ve 6 genlerine karşılık gelirken ikinci kromozomda 4 ve 5 kesişim noktaları sırasıyla 5 ve 7 genlerine karşılık gelmektedir. Dolayısıyla güncel yeni kromozom olan $\acute{\pi}_1$ üretmek için birinci kromozomda 5 ile 8 ve 6 ile 7 genlerinin pozisyonlarını değiştirmemiz gerekir. Sonuç olarak

$$\acute{\pi}_1 = 64157328$$

elde edilir.

(11) Yeni kromozomlarda mutasyon uygula.
Gen değişimi operasyonundan sonra, popülasyonun değişkenliğini sürdürebilmek için m tane gen'den oluşan ve p_m olasılığına sahip her bir yeni kromozom değiştirilir ve arama alanı genişletilir. Değişim operatörü rastgele iki pozisyon seçer ve bu iki pozisyonda genler değiştirilir.
Örnek vermek gerekirse $\pi_2 = 16357482$ şeklinde tanımlamış olduğumuz kromozomu ele alalım. Değişim için 2. ve 5. pozisyonları rastgele seçelim. O zaman bu pozisyonlardaki 6 ve 7 genleri yeni kromozom üretmek için yer değiştirilir. Sonuç olarak

$$\acute{\pi}_2 = 17356482$$

elde edilir.

(12) Her bir yeni kromozomun uygunluğunu değerlendir.

(13) Yeni kromozom üzerinde iki aşamalı yaklaşıma dayalı Birnbaum önem kavramını uygula.

(14) Yeni kromozom üzerinde seçkinleştirme stratejisini uygula.
Yeni popülasyondaki en küçük uygunluğa sahip kromozomlardan birini 6.Adımda kaydedilen en iyi kromozomla değiştir.

(15) Güncellenen yeni popülasyonu al ve 5. Adıma git.

3. Bulgular ve Tartışma

Petrol nakliyesi, üretimden işleme aşamasına kadar tedarik zincirinde önemli bir yer teşkil etmektedir. Petrol nakil sisteminde, teslimatın pürüzsüz tamamlanabilmesi için pompa istasyonları tarafından petrole basınç uygulanmalı ve ısıtılmalıdır. Bu işlemden sonra her pompa istasyonunun bir sonraki pompa istasyonuna petrolü transfer etmesi gerekmektedir. Fakat bazı durumlarda sistemi oluşturan pompa istasyonlarından bir veya daha fazlası çalışmayabilir. Bu durumda arızalı olan pompa istasyonundan önce gelen pompa istasyonlarının kapasitesi sistemin doğru çalışabilmesi açısından önem arz etmektedir. Sistemi oluşturan pompa istasyonlarının kapasitesine bağlı olarak bir pompa istasyonu kendisinden sonra gelen pompa istasyonu arızalı olsa bile petrolü arızalı olan pompa istasyonundan sonra gelen istasyona transfer edebilir. Bu durum tamamen pompa istasyonunun kapasitesine bağlıdır.

Bu bölümde, önermiş olduğumuz yaklaşımın bir uygulaması olarak 10 adet pompa istasyonundan oluşan bir petrol taşıma sistemini göz önüne alalım. Ele alınan sistemde arızalı bileşenler üzerinden işlem yapılıyorsa bu sistem F sistemi olarak tasarlanır aksi durumda yani çalışan bileşenler üzerinden işlem yapılıyor ise de G sistemi olarak tasarlanır. Çalışmamızda tasarlamış olduğumuz sistem F sistemi olarak ele alınmış ve eğer bir pompa istasyonu arızalanırsa, komşu istasyonlar yükü taşıyabileceklerinden dolayı petrol akışının kesilmeyeceği kabul edilmiştir. Ancak birbirini takip eden iki pompa istasyonu arızalandığında petrol akışı durdurulur ve sistem arıza durumuna geçer. Petrol taşıma sisteminde pompa istasyonları fonksiyonel olarak aynı olduğu için sistemde herhangi bir pozisyona atanabilirler. Böylece pompa istasyonlarını sistemdeki bileşenler olarak düşünürsek, bahsi geçen petrol taşıma sistemini $DA(10,2)$: F sistemi olarak ele alabiliriz. Kabul edelim ki 10 adet pompa istasyonundan oluşan petrol taşıma sistemimizde bileşenlerin güvenilirlikleri μ ortalamalı ve σ standart sapmalı normal dağılıma sahip olsun. Bu durumda μ'nün ve σ'nın farklı değerleri için pompa istasyonlarının alabilecekleri başlangıç güvenilirlikleri tesadüfi dağılıma göre üretilerek bileşenlerin sırasına göre aşağıdaki tabloda verildi.

Tablo 1. μ'nün ve σ'nın farklı değerleri için bileşenlerin alabilecekleri başlangıç güvenilirlikler

	$\mu = 0.92$, $\sigma = 0.001$	$\mu = 0.94$, $\sigma = 0.002$	$\mu = 0.95$, $\sigma = 0.003$
p_1	0.919095	0.935922	0.944446
p_2	0.919691	0.935924	0.945646
p_3	0.919820	0.939180	0.946197
p_4	0.919841	0.939363	0.947611
p_5	0.920063	0.939897	0.948583
p_6	0.920252	0.939934	0.948889
p_7	0.920396	0.940564	0.950556
p_8	0.920726	0.940619	0.951235
p_9	0.920943	0.941748	0.951557
p_{10}	0.921021	0.941962	0.951640

Tablo 1'de tesadüfi olarak elde edilen olasılıklar için Birnbaum önem tabanlı genetik algoritma yaklaşımı kullanılırsa $DA(10,2)$: F sisteminin güvenilirliğini maksimum yapan bileşen dizilimi

$$\pi = 2\ 9\ 4\ 7\ 6\ 5\ 8\ 3\ 10\ 1$$

şeklinde elde edilir. Ayrıca verilen bu dizilim için sistem güvenilirliği $\mu = 0.92$, $\sigma = 0.001$ olduğu durum için $R = 0.9476$, $\mu = 0.94$, $\sigma = 0.002$ için $R = 0.9695$ ve $\mu = 0.95$, $\sigma = 0.003$ için $R = 0.9779$ olarak elde edilir.

4. Sonuç ve Öneriler

Çalışmamızda $DA(n,k){:}\,F$ ve $DA(n,k){:}\,G$ sistemlerinin güvenilirliklerini maksimum seviyeye çıkarabilmek için en uygun bileşen diziliminin oluşturulması amaçlanmıştır. En uygun bileşen dizilimini oluşturabilmek için Birnbaum önem tabanlı genetik algoritma yaklaşımı uygulanmıştır. Bu yaklaşımda amaç fonksiyonu olarak $DA(n,k){:}\,F$ ve $DA(n,k){:}\,G$ sistemlerinin güvenilirliği alınmış ve bu sistemlerin güvenilirliklerinin nasıl hesaplanacağına dair örneklerler verilmiştir. Ayrıca önerilen yaklaşımın uygulaması, petrol taşıma sisteminin $DA(n,k){:}\,F$ sistemine modellenmesiyle verilmeye çalışılmıştır. $DA(n,k){:}\,F$ ve $DA(n,k){:}\,G$ sistemleri birbirlerinin duali olduğundan $DA(n,k){:}\,G$ sistemi için ayrı bir uygulama yapılmamıştır.

Kaynaklar

[1] Kontoleon J.M. 1980. Reliability determination of a r-successive-out-of-n: F system. IEEE Transaction on Reliability, 29: 437.

[2] Chiang D.T., Niu S.C. 1981. Reliability of a consecutive-k-out-of-n: F system. IEEE Transaction on Reliability, 30: 87-89.

[3] Kao S.C. 1982. Computing reliability from warranty. Proc. Am. Statist. Assoc., Sect. Statist. Comput. 309-312.

[4] Chiang D., Chiang R. 1986. Relayed communication via consecutive-k-out-of-n: F system. IEEE Transaction on Reliability, 35: 6570.

[5] Bollinger R.C., Salvia A.A. 1982. Consecutive-k-out-of-n: F network. IEEE Transaction on Reliability, 31: 53-56.

[6] Derman C., Liberman G.J., Ross S.M. 1982. On the consecutive-k-out-of-n: F system. IEEE Transaction on Reliability, 31: 57-63.

[7] Zuo M.J., Kuo W. 1990. Design and performance analysis of consecutive-k-out-of-n structure. Naval Research Logistics, 37: 203-230.

[8] Eryılmaz S. 2014. Parallel and consecutive k-out-of-n: F systems under stochastic deterioration, Appl. Math. Comput., 227: 19-26.

[9] Gokdere G., Gurcan M., Kılıç M.B. 2016. A new method for computing the reliability of consecutive k-out-of-n: F systems, Open Phys., 14: 166-170.

[10] Gokdere G., Gurcan M., 2016. Mühendislik Uygulamalarında Kullanılan Ardışık n den k Çıkışlı Sistemlerin Güvenilirlik Analizi, AKÜ FEMÜBİD., 16: 461-467.

[11] Derman C., Lieberman G.J., Ross S.M. 1972. On optimal assembly of systems. Nav Res Logist, 19 (4): 569-74.

[12] Birnbaum Z.W. 1969. in *On the importance of different components in a multicomponent system*. New York: Academic Press, 581-92.

[13] Faghih-Roohi S., Xie M., Ng K.M., Yam R.C.M. 2014. Dynamic availability assessment and optimal component design of multi-state weighted k-out-of-n systems. Reliab. Eng. Syst. Saf., 123: 57-62.

[14] Kuo W., Zhu X.Y. 2012. Some recent advances on importance measures in reliability. IEEE Trans Reliab., 61 (2): 344-60.

[15] Zhang L.G., Lu Z.Z., Cheng L, Fan C. 2014. A new method for evaluating Borgonovo moment-independent importance measure with its application in an aircraft structure. Reliab. Eng. Syst. Saf. 132: 163-75.

[16] Lisnianski A., Frenkel I., Khvatskin L. 2015. On Birnbaum importance assessment for aging multi-state system under minimal repair by using the L_z-transform method. Reliab Eng Syst Saf., 142: 258-66.

[17] Kuo W., Zhang W., Zuo M. 1990. A consecutive-k-out-of-n: G system: The mirror image of a consecutive-k-out-of-n: F system. IEEE Transactions on Reliability, R-39 (2): 244-253.

[18] Cai Z, Si S, et al. 2016. Optimization of linear consecutive-k-out-of-n system with a Birnbaum importance-based genetic algorithm. Reliab Eng Syst Saf., 152: 248-258.

[19] Yao Q.Z., Zhu X.Y., Kuo W. 2011. Heuristics for component assignment problems based on the Birnbaum importance. IIE Trans., 43 (9): 633-46.