

# CEZA FONKSİYONUyla DURDURMALI GENETİK ALGORİTMALAR İLE TRANSFORMATÖR MERKEZLERİNDE OPTİMUM AŞIRI AKIM RÖLE KOORDİNASYONU

**Barış GÜRSU**

TEİAŞ 13.İletim Tesis ve İşletme Grup Müdürlüğü-Elazığ  
[gurubaris@hotmail.com](mailto:gurubaris@hotmail.com)

(Geliş/Received: 01.04.2013; Kabul/Accepted: 11.09.2014)

## ÖZET

Bu çalışmada 154 kV transformatör merkezlerinde, güç transformatörü giriş ve çıkış fiderleriyle orta gerilim dağıtım fiderlerinin optimum ters zamanlı aşırı akım röle koordinasyonu, ceza fonksiyonuyla durdurmalı Genetik Algoritmalar (CFD-GA) yöntemiyle yapılmıştır. Yeni bir yöntem olan CFD-GA yönteminin, aşırı akım röle koordinasyonundaki performansına vurgu yapılmıştır. Bu yöntem, selektivite bölgeleri arasındaki zaman farkı esnekliğiyle her çeşit aşırı akım röle koordinasyonu yapabilen bir yöntemdir. CFD-GA ile hem geleneksel ani ayar mecburiyetli hem de ani ayarsız aşırı akım röle koordinasyonu uygulamaları yapılmıştır. Ayrıca, çaprazlama ve mutasyonda yalnız 2 tabanı, yalnız 10 tabanı ve her generasyonda rasgele olarak belirlenen 2 ya da 10 tabanından birini kullanan karışık tabanlı CFD-GA, röle koordinasyonu uygulamalarında karşılaştırılarak, taban performansı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Transformatör Merkezi, Koruma, Aşırı Akım, Anisiz Koordinasyon, Genetik Algoritma.

## OPTIMUM OVERCURRENT RELAY COORDINATION VIA GENETIC ALGORITHM METHOD STOPPED BY PENALTY FUNCTION IN SUBSTATIONS

### ABSTRACT

In this study, in 154 kV substations, optimum inverse time overcurrent relay coordination of power transformer input and output feeders and of distribution feeders are formed. A new GA method stopped by penalty function (CFD-GA) is utilized at the design stage. The performance of the method is emphasized. This method is able to do all kind of overcurrent relay coordination owing to time difference flexibility between selectivity zones. Overcurrent relay coordinations with both compulsory instant setting and without instant setting are made via CFD-GA. Three kinds of applications are made; Only 2 base, Only 10 base, randomly chosen 2 or 10 base are used in crossover and mutation in each generation. The results of these applications are compared with each other and the base performance is determined.

**Key Words:** Substation, Protection, Overcurrent, The Coordination Without Instant, Genetic Algorithm.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Elektriğin üretim, iletim ve dağıtımında güvenilirlik ve süreklilik vazgeçilemez en önemli iki faktördür. Bu iki faktör de, elektriğin üretimden insanların kullanımına ulaşana kadar olan süreçte elektrik sistemlerinin korunmasını mecburi kılmaktadır. Elektrik güç sistemlerinde iyi bir tasarım, uygun işletme şartları ve teçhizatların bakımlarının iyi yapılması, arıza oluşma ihtimalini azaltsa da tamamen ortadan kaldırmaz. Bu nedenle güç sistemi elemanlarını oluşabilecek arızalara karşı en iyi şekilde

korumak gerekir [1]. Güç sistemlerinde oluşan arızaları belirlemek ve güç sistemi elemanlarını korumak için kullanılan rölelerden arızaya en yakın olanı, arızayı algılayarak kesicisi vasıtasıyla arızalı bölümün enerjisini kestirir. Arıza akımları algılanıp arıza yeterli sürede temizlenmezse çok daha ciddi arızalara yol açarak hem enerji kalitesi hem de sistemin sürekliliği büyük ölçüde etkilenir. Ciddi hasarların sonucunda güç transformatörü de zarar görebilir, böylece uzun bakım onarım süresi ve nakliye problemleri de ortaya çıkar [2].

Aşırı akım rölelerinin koordinasyonu problemi, sınırlayıcıları olan nonlineer ve karmaşık bir problemdir. Koordinasyonun temelinde akım (Iç) ve zaman (td) hesabı yatar [3]. [3]'te aşırı akım rölesi koordinasyonu için hibrit parçacık sürü optimizasyon yöntemi kullanılmış, lineer programlama ve GA metoduyla karşılaştırılmıştır. Aşırı akım rölelerinin koordinasyonu için, [4]'te lineer programlama metodu kullanılmıştır. Genetik Algoritmalar (GA) kullanılarak, aşırı akım rölelerinin uygun olarak seçilmesine yönelik yapılan [5]'teki çalışmada tanımlanan amaç fonksiyonunda akım ve zaman ağırlıkları kullanılmıştır. [6]'da enterkonekte güç sistemlerinde optimum yönlü aşırı akım röle koordinasyonu, 8 baralı 14 röleli bir sistemde GA ile yapılmış, ancak çözüm iterasyon sayısının oldukça fazla olduğu dikkati çekmiştir. [7]'de dağıtım sisteminde aşırı akım rölelerinin optimum koordinasyonu için penaltı (Büyük-M) metodu kullanılmış radyal ve ring şebeke uygulamaları yapılmıştır. [8-12]'de aşırı akım rölelerinin koordinasyonunda parçacık sürü optimizasyon algoritmaları (PSO) kullanılmıştır. [8]'de 6 baralı sistem, [9]'da 3 ve 8 baralı sistem, [10]'da 14 baralı sistem, [11]'de 3 ve 4 baralı sistem uygulamaları yapılmıştır. [12]'de mesafe koruma ile yönlü aşırı akım koruma arasındaki koordinasyon Hibrit PSO ile yapılmış, 8 baralı sistemde uygulanmıştır. Modifiye edilmiş diferansiyel evrim algoritması (DEA) ile yönlü aşırı akım röle koordinasyonunun yapıldığı [13]'teki çalışmada 3,4 ve 6 baralı sistem uygulamaları yapılmıştır. [14]'te yapay sinir ağları, [15]'te hem yapay sinir ağları hem de bulanık mantık kullanılarak aşırı akım rölesi çalışma zamanları hesaplanmıştır. [16]'da lineer programlama, [17-27]'de GA metodu kullanılarak optimum aşırı akım röle koordinasyonları yapılmıştır.

Bu çalışmanın literatürdeki GA ile yapılan çalışmalardan farklı olan özgün noktaları;

-Uygunluk fonksiyonuna ceza fonksiyonunun eklendiği yeni bir GA modeli oluşturularak, algoritmanın ceza fonksiyonuyla sonlandırılması ve bu fonksiyon marifetiyle, daha düşük iterasyonlarda optimum çözüme ulaşılması,

-IEC 255-3 standardına dayalı ters zamanlı aşırı akım röle koordinasyonu için esnek yapıda hazırlanan programın verdiği avantajlar sayesinde selektivite bölgesi sayısının, selektivite bölgeleri arasındaki zaman farkının, en ilk açacak rölelerin zamanının, kısa devre akımında ya da akım trafolarının nominal akımlarının kaç katında anili çalışma moduna geçeceğinin istenilen şekilde seçilmesiyle gerçek sistemlere uygulanabilme olanağının verilmesi,

-Çaprazlama ve mutasyonda kullanılan taban performansının belirlenmesi,

-CFD-GA ile, geleneksel ani ayar mecburiyetli aşırı akım röle koordinasyonunun optimum olarak yapılmasının yanında, uygun dağıtım fiderlerinde yeni önerilen ani ayarsız röle koordinasyonunun da kullanılabileceğinin gösterilmesi, şeklinde belirtilebilir.

Çalışmada, önce aşırı akım koruma prensibinden bahsedilmiş, daha sonra Genetik Algoritmalar yöntemi kısaca tanıtarak optimum ters zamanlı aşırı akım röle koordinasyonu için GA akış şeması belirlenmiştir. Bunun için ceza fonksiyonunun eklendiği yeni bir uygunluk fonksiyonu tanımlanmıştır. CFD-GA ile gerçek bir güç sistemindeki röle koordinasyonunda, çaprazlama ve mutasyonda yalnız 2 tabanı, yalnız 10 tabanı ve her iki tabanın da kullanıldığı karışık taban uygulamaları, geleneksel anili koordinasyon ve yeni önerilen ani ayar gereksiz koordinasyon şeklinde yapılarak yöntemin performansı belirlenmiştir.

## 2. AŞIRI AKIM KORUMA (OVERCURRENT PROTECTION)

Akım trafolarının dönüştürme oranlarına bağlı olarak, sekonderden geçen akım, aşırı akım rölelerine uygulanır. Aşırı akım rölesinden geçen bu akımın değeri, rölenin akım ayar değerini aştığında, röle ayarlandığı sürede, komuta ettiği kesiciyi açtırır. Aşırı akım rölesini çalıştıracak arıza akımı, iki ya da üç faz arası kısa devreler, yük akımının belirlenen değerin üstüne çıkması ve faz-toprak kısa devreleri sonucu oluşabilir.

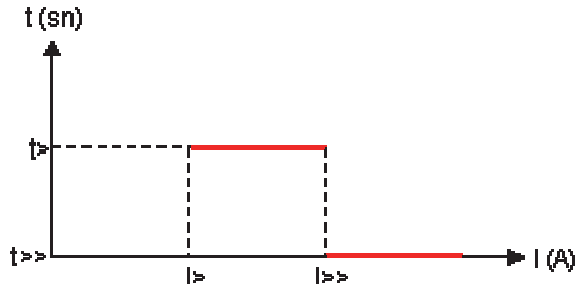
### 2.1. Akım-Zaman Karakteristikleri (Current-Time Characteristics)

Röleden geçen akımla, röle çalışma zamanı arasındaki bağıntıya çalışma ya da akım-zaman karakteristiği denilmektedir. Aşırı akım röleleri, zaman gecikmesi açısından sabit zamanlı ve ters zamanlı akım-zaman karakteristiklerini ihtiva etmektedirler.

#### *Sabit Zamanlı Röle Karakteristiği (Definite-Time Relay Characteristic)*

Sabit zamanlı karakteristiğe sahip röleler, arıza akımı belli bir değeri aşınca ve bu değerin üstünde belli bir süreden fazla kaldığında açma işareti üretirler.

Şekil 1'de sabit zamanlı rölenin akım-zaman karakteristiği görülmektedir. Arıza akımı, rölenin ayarlandığı akım ( $I>$ ) değerini aştığında, ayarlanan zamanda ( $t>$ ) röle açtırma yapacaktır. Ani açma akım değerine ( $I>>$ ) kadar açma zamanı değişmemektedir. Ani ayarı yapılmışsa, ani açma akımında, ayarlandığı ani zamanında ( $t>>$ ) açma olacaktır.

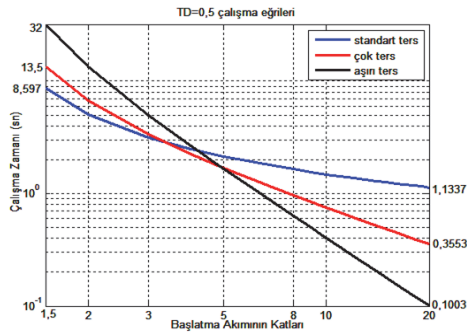


**Şekil 1.** Sabit Zamanlı Röle Akım-Zaman Karakteristiği (The characteristic of current-time for definite time relay)

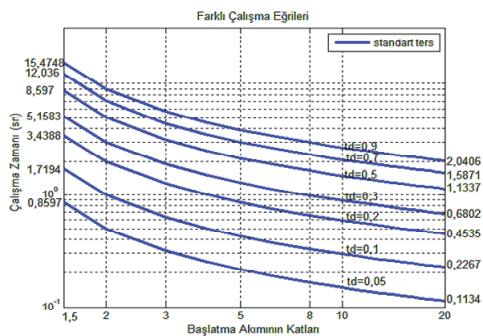
*Ters Zamanlı Röle Karakteristiği (Inverse-Time Relay Characteristic)*

Ters zamanlı karakteristiğe sahip röleler, arıza akımının genliğiyle ters orantılı açma zamanına sahiptirler.

Şekil 2’de ters zamanlı rölenin akım-zaman karakteristikleri görülmektedir. Rölenin ayarlandığı akımın farklı değerlerinde açma zamanları da değişmektedir. Akım arttıkça, eğri tipine bağlı olarak açma süresi düşmektedir. Açma süresi seçimi, eğri seçmek (TD) şeklinde olmaktadır.



(a)



(b)

**Şekil 2.** Ters Zamanlı Çalışma Eğrileri (a) TD=0,5’e göre IEC 255-3 Standardı Eğrileri, (b) Farklı TD Değerlerine Göre Standart Ters Zaman Eğrileri (Invers-time operating curves, (a) IEC 255-3 Standard curves according to TD=0,5, (b) Standard invers-time curves for different TD values)

Ters zamanlı aşırı akım röle eğrileri, IEC 255-3 standardı [28] ters zaman eğrilerine göre, standart ters, çok ters ve aşırı ters olarak 3 farklı formdadır. Bu formlar Tablo 1’de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Akım-Zaman Karakteristik Formları (Current-time characteristic forms)

Eğri Tipi	Çalışma Zamanı
standart ters	$t(I) = TD \cdot \left( \frac{0,14}{M^{0,02} - 1} \right)$
çok ters	$t(I) = TD \cdot \left( \frac{13,5}{M - 1} \right)$
aşırı ters	$t(I) = TD \cdot \left( \frac{80}{M^2 - 1} \right)$

Tablo 1’de geçen; t(I):çalışma zamanı (s), TD:zaman ayarı sabiti, M :başlatma akımının katı (rölenin tesbit ettiği akımın, ayarlı olduğu akıma oranı) ‘dır.  $M = I_r / I_c$ ’ dir.  $I_r$ , röleye gelen akımdır.  $I_c$ , rölenin ayarlı olduğu çalışma akımıdır.

Şekil 2 (a)’da TD=0,5 değerine göre çalışma eğrileri çizilmiştir.

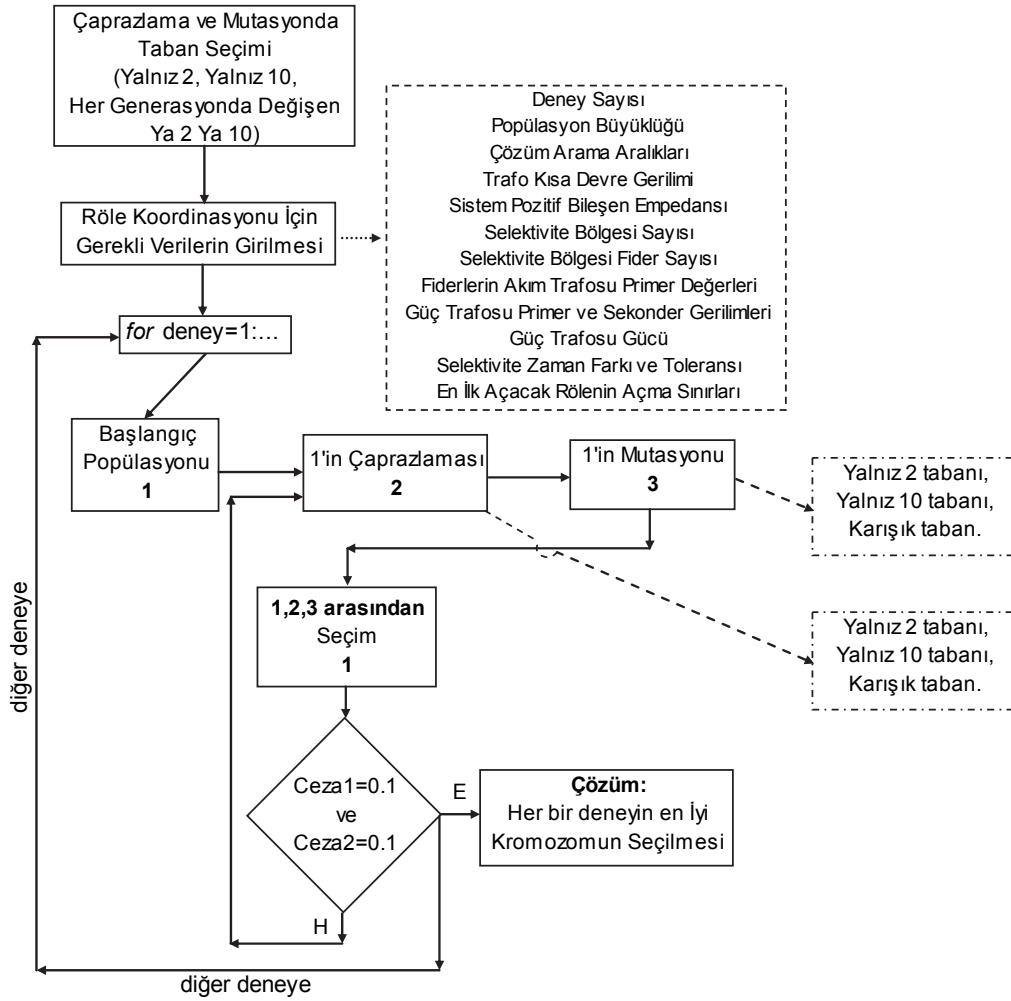
Genellikle aşırı akım rölesine TD değeri girilir. Şekil 2 (b)’de farklı TD değerleriyle farklı standart ters zamanlı çalışma eğrileri görülmektedir. TD değeri büyüdükçe aynı akımda açma zamanı artmakta, akım arttıkça açma zamanı düşmektedir.

### 3. GENETİK ALGORİTMALAR (GENETIC ALGORITHMS)

GA, başlangıçta gelişigüzel olarak üretilen çözüm namzeti olduğu varsayılan değerlerle yola çıkarak, sürekli daha iyiye gitme hedefine yönelik, problemin global optimum çözümünü bulmaya çalışır. GA’nın ilk adımı, başlangıç popülasyonunun oluşturulmasıdır. Başlangıç popülasyonu gelişigüzel oluşturulduğu gibi, kısmen gelişigüzel olarak da oluşturulabilmektedir. GA’nın her generasyonunda bulunan kromozomlar, uygunluk fonksiyonunda yerine konarak uygunluk değerleri hesaplanır. Bu değerlere göre, bir sonraki generasyon ya da çaprazlama veya mutasyon işlemleri için kromozomların seçme işlemi gerçekleştirilir. Çaprazlama, seçilen iki kromozomun genetik bilgi değişimi yapmasıdır. Çaprazlamada iki ata kromozomdan iki yavru kromozom üretilirken, bu dört kromozomun birbirinden farklı olacağı kesin değildir. Ancak mutasyonda bir ata kromozomdan bir yavru kromozom üretilirken, bu iki kromozomun birbirinden farklı olacağı kesindir [29].

### 4. TERS ZAMANLI AŞIRI AKIM RÖLE KOORDİNASYONUNDA CFD-GA UYGULAMASI (THE APPLICATION OF CFD-GA IN INVERSE TIME OVERCURRENT RELAY COORDINATION)

Bu çalışmada 161052 lisans numarası ve 7.5.0.342 (R2007b) versiyonuna sahip MATLAB programlama



Şekil 3. Optimum Röle Koordinasyonu İçin GA Akış Şeması (GA flow diagram for optimum relay coordination)

ile, IEC 255-3 standardına göre, standart ters zamanlı aşırı akım röle çalışma karakteristiği kullanılarak CFD-GA'ya dayalı optimum röle koordinasyonu yapılmıştır. Uygulamalarda Şekil 3'teki akış şeması referans alınmıştır.

#### 4.1. Uygunluk Fonksiyonu (Fitness Function)

Röle koordinasyonu için CFD-GA'da kullanılan minimize edilecek uygunluk fonksiyonu (1) denkleminle tanımlanmıştır.

$$F = \min \left\{ \sum_{röle=1}^N t(I) + (200 \cdot \sum_{röle=1}^N (tep - 1)^2) + ceza_{fonksiyonu} \right\} \quad (1)$$

$t(I)$  röle çalışma zamanı, TD röle zaman sabiti ayarına bağlı olarak değişir.

Çalışmamızda; standart ters zamanlı röle koordinasyonunda;

$0,001 \leq TD \leq 0,6$  şeklinde alınmakla beraber kullanıcının bu aralıkları değiştirmesi esnekliği de sağlanmıştır.  $t(I)$  röle çalışma zamanı, akım trafolarının tep ayarlarına da bağlıdır.

Akım tep ayar aralığı;  $0,5 \leq tep \leq 1$  şeklinde alınmıştır. Örneğin 600/5'lik bir akım trafosu için  $tep=0,9$  olmak demek, sekonderi  $5 \cdot 0,9=4,5$  A, yani primeri  $120 \cdot 4,5=540$  A olarak ayarlanacak demektir. Uygunluk fonksiyonunda kullanılan N, ayarlanacak toplam röle sayısını göstermektedir. Ceza fonksiyonu, (2) denklemindeki gibidir.

$$(Ceza \text{ fonksiyonu} = Ceza1 \cdot Ceza2) \quad (2)$$

Ceza1, en ilk açacak röle ya da rölelerin açma zamanı alt sınırı ile açma zamanı üst sınırı arasında kalma sayısı ile ilgili olarak tanımlanmıştır.

Örneğin röle koordinasyonunda en ilk açacak selektivite bölgesinde 6 adet röle (fider) olsun. Bu rölelerin de açma zamanı alt sınırı 0,2 s, açma zamanı üst sınırı da 0,25 s olsun.

Bu durumda  $0,2 \leq t(I) \leq 0,25$  şartını sağlayan röle sayısı 6 ise, yani tüm röleler de bu şartı sağlamış ise  $ceza1=0,1$  olarak alınmıştır. Bu şartı hiçbir röle sağlamamış ise  $ceza1=20$  alınmakta ve her sağlayan röle için -0,9 ilave edilmektedir. Şekil 4'te Ceza1'in tanımlanması için örnek MATLAB kodu verilmiştir.

```

sayi=0;
if altsinir<=t(I)<=ustsinir
    sayi=sayi+1;
end
toplam=20;i=0;
while i<=ilkacacakrolesayisi
    if sayi==ilkacacakrolesayisi
        cezal=0.1;
        i=ilkacacakrolesayisi+1;
    elseif sayi==i
        cezal=toplam;
        i=ilkacacakrolesayisi+1;
    else
        toplam=toplam-0.9;i=i+1;
    end
end

```

**Şekil 4.** Cezal'in Tanımlanması (The definition of penalty1)

Ceza2, rölelerin artçı durumundaki rölelerle arasındaki selektivite zaman farkını sağlama sayısı ile ilgili olarak tanımlanmıştır.

Örneğin röle koordinasyonunda selektivite bölgesi sayısı 3 olsun ve 1. ve 2. selektivite bölgelerinde 1'er 3. selektivite bölgesinde de 6 röle (fider) olsun. Selektivite bölgeleri arasındaki zaman farkı da 0,3 s olsun. Bu durumda 1. selektivite bölgesindeki röle ile 2. selektivite bölgesi arasında 0,3 s zaman farkını sağlayacak 1 şart, 2. selektivite bölgesindeki 1 röle ile, 3. selektivite bölgesindeki toplam 6 rölenin her biri ile arasında 0,3 s zaman farkı şartını sağlayacak 6 şart olmak üzere toplam 7 şart var demektir.

Bu 7 şartı sağlıyorsa ceza2 fonksiyonu 0,1 alınmakta, bu şartların hiçbirini sağlamıyorsa 1000 ve her sağlanan şart için -10 ilave edilmektedir.

Şekil 5'de Ceza2'nin tanımlanması için örnek MATLAB kodu verilmiştir.

```

sayi=0;
if selektivitezamani<=(t(onceki)-
t(sonraki))<=(selektivitezamani+tolerans)
    sayi=sayi+1;
end
toplam=1000;i=0;
while i<=selektivitesayisi
    if sayi==selektivitesayisi
        ceza2=0.1;
        i=selektivitesayisi+1;
    elseif sayi==i
        ceza2=toplam;
        i=selektivitesayisi+1;
    else
        toplam=toplam-10;i=i+1;
    end
end

```

**Şekil 5.** Ceza2'nin Tanımlanması (The definition of penalty2)

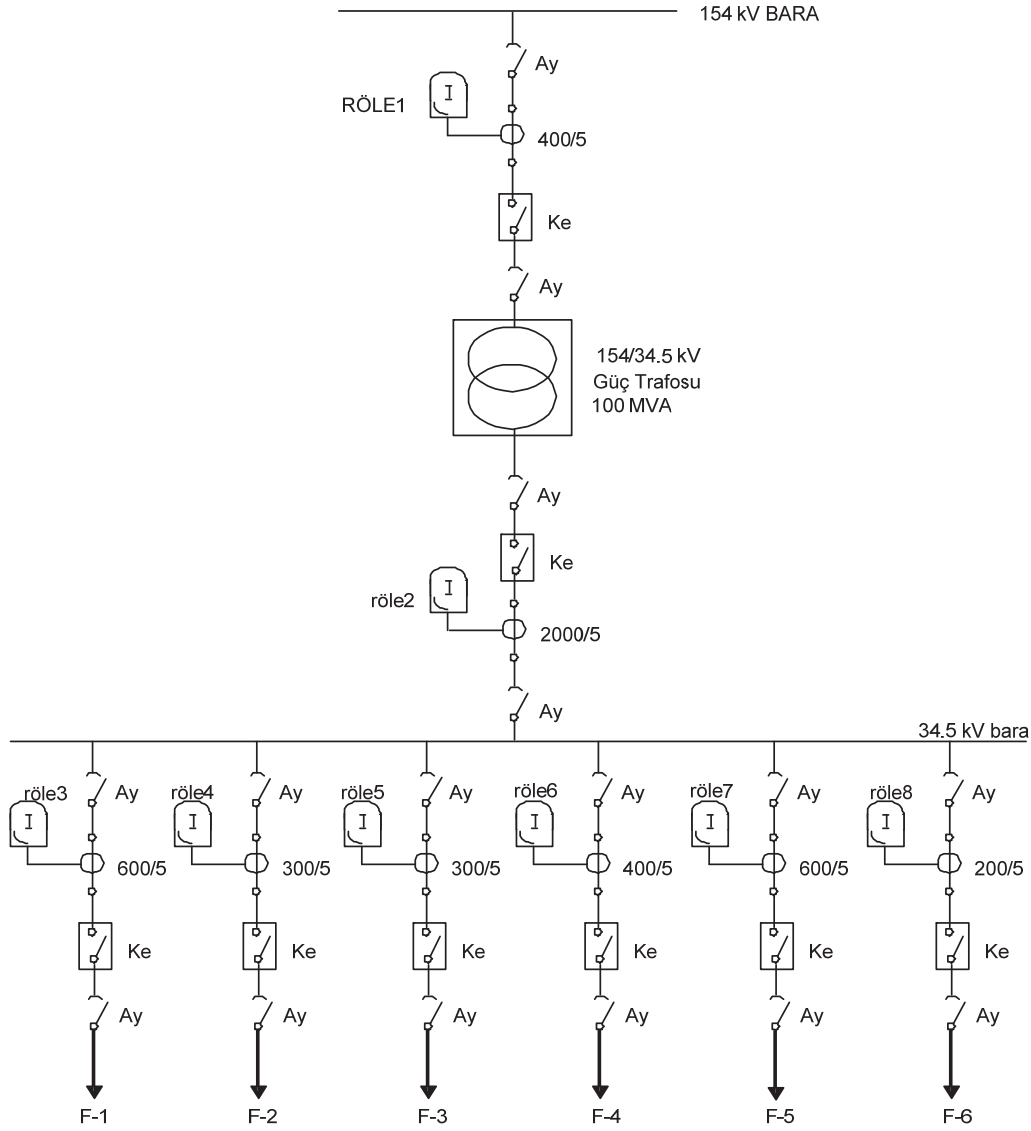
## 4.2. Çaprazlama ve Mutasyon (Crossover and Mutation)

Çalışmada tüm generasyonlarda çaprazlama ve mutasyonda yalnız 2 tabanı, yalnız 10 tabanı ve her generasyonda rasgele belirlenen 2 ya da 10 tabanını kullanan uygulamalar yapılarak karşılaştırılmıştır. Karışık taban uygulamasında hem 2 hem de 10 tabanında işlemler yapılmıştır. 1 ya da 2 şeklinde üretilen rasgele sayı ile o generasyondaki çaprazlamada ve mutasyonda hangi tabanın kullanılacağı belirlenmiştir. Yani aynı generasyonda, rasgele belirlenen tek bir tabanda çaprazlama ve yine ayrı olarak rasgele belirlenen tek bir tabanda mutasyon yapılmıştır. Aynı generasyonda, çaprazlama için rasgele belirlenen örneğin 2 tabanı kullanılırken, mutasyon için yine rasgele belirlenen örneğin 10 tabanı kullanılabilir. Kromozomdaki TD ve tep değerleri kendi içlerinde çaprazlatılmış ve mutasyona uğratılmıştır. 2 tabanında çaprazlama için, TD ve tep değerleri ayrı ayrı 10000 ile çarpıldıktan sonra her biri 14 genli ikili tabana çevrilmiştir. Önceden uygunluklarına göre sıralanan kromozomlar, sıralamalarına göre örneğin 1. ile 2. kromozom, 3. ile 4. kromozom vs. tek noktalı çaprazlamaya uğratılmıştır. 10 tabanındaki çaprazlamada, TD ve tep değerleri yine 10000 ile çarpıldıktan sonra, yine uygunluk sıralamalarına göre 5 haneden oluşan her bir değerdeki 0-9 arasındaki sayılardan tek bir hanesi çaprazlatılmıştır. Çaprazlamaya uğratılacak örneğin 7 fiderli yani 7 adet TD değerine sahip ebeveyn 2 kromozomdan, yine 7 adet TD değeri üretilen kromozom daha elde edilmiştir. 2 tabanında mutasyonda, 10000 ile çarpılan değerler 14 genli ikili tabana çevrilmiş, rasgele seçilen bir geni 0 ise 1'e, 1 ise 0'a çevrilmiştir. 10 tabanındaki mutasyonda 10000 ile çarpılan değerlerden rasgele seçilen bir hanesindeki değer, 0-9 arasında rasgele bir sayı ile yer değiştirmiştir.

## 4.3. Gerçek Bir Sistemde Aşırı Akım Röle Koordinasyonu Uygulaması (Overcurrent Relay Coordination Application in an Actual Power System)

Şekil 6'da gerçek bir güç sistemi tek hat şeması görülmektedir. CFD-GA'ya dayalı optimum röle koordinasyonu uygulamalarımız, bu şema üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Şemada görüldüğü gibi, röle koordinasyonunda trafo giriş ve çıkış fiderleriyle, 6 adet dağıtım hat fideri olarak toplam 8 fider mevcuttur. Koordinasyonda her bir fidere ait rölenin çalışma zaman eğrisi (TD) ve o fidere bağlı akım trafosunun tep ayarı sınırlayıcılara göre optimize edilmiştir. Uygunluk fonksiyonu, fider akım trafolarının tep ayarını mümkün olduğu kadar 1'e, trafonun giriş ve çıkış akım trafolarının tep ayarını da trafonun gücünü geçmeyecek maksimum değerine optimize etmeye yönelik olarak belirlenmiştir.



**Şekil 6.** Röle Koordinasyonu Uygulaması Tek Hat Şeması (Single line scheme for relay coordination applications)

**Tablo 2.** CFD-GA İle Geleneksel Röle Koordinasyonu İçin Giriş Değerleri (Input values for traditional relay coordination via CFD-GA)

Deney Sayısı	1
Popülasyon Büyüklüğü	500
Çaprazlama ve Mutasyonda kullanılan taban	Karışık
TD için çözüm aralıkları	0,001-0,6
Tep için çözüm aralıkları	0,5-1
Trafo kısa devre gerilimi (%Uk)	12,39
Sistem Pozitif Bileşen Empedansı ( $\Omega$ )	0,04473
Güç Trafosu Gücü (MVA)	100
Güç Trafosu Primer Gerilimi (V)	154
Güç Trafosu Sekonder Gerilimi (V)	34,5
Selektivite Bölgesi Sayısı	3
1.Selektivite Bölgesi Fider Sayısı-Akım Trafoları	1-400
2.Selektivite Bölgesi Fider Sayısı-Akım Trafoları	1-2000
3.Selektivite Bölgesi Fider Sayısı-Akım Trafoları	6 / 600-300-300-400-600-200
Selektivite Bölgeleri arasındaki zaman farkı (s)	0,5
Selektivite Bölgeleri arasındaki zaman farkı toleransı	0,01
En ilk açacak rölelerin açma zaman sınırları (s)	1-1,01

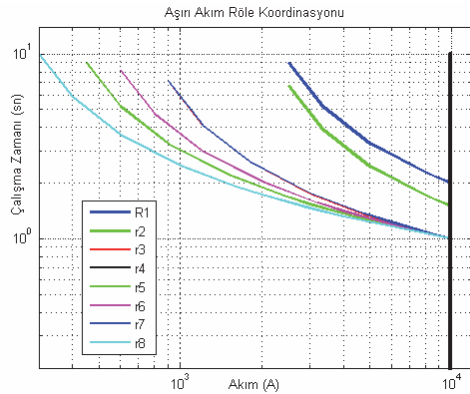
**Tablo 3.** CFD-GA İle Geleneksel Röle Koordinasyonu Optimizasyon Sonuçları (Optimization results of traditional relay coordination via CFD-GA)

Çözüm tepleri	0,9372-0,8367-1-1-1-1-1-1
Çözüm TD	0,5176-0,3890-0,4127-0,5183-0,5185-0,4741-0,4135-0,5820
Çözüm zamanları (s)	2,000-1,502-1,001-1,002-1,001-1,000-1,002-1,002
Çözüm iterasyonu	112
3 Faz Kısa Devre Akımı (A)	9924
İlk ve son iterasyonlarda uygunluk ort.	19893,29-110,31
En İyi Uygunluk ve iterasyonu	12,85-112
En Kötü Uygunluk ve iterasyonu	20060,87-1
Deney uygunluk ortalama	12799,44
2 tabanında çaprazlama/mutasyon	51/58
10 tabanında çaprazlama/mutasyon	61/54

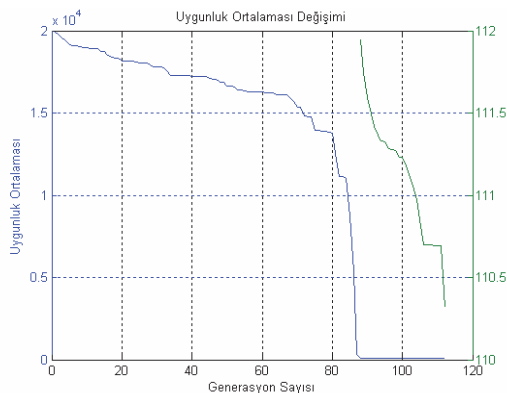
### Uygulama 1: Geleneksel Koordinasyon (Application 1. Traditional Coordination)

Tablo 2’de geleneksel koordinasyon için CFD-GA giriş değerleri görülmektedir.

Tablo 2’deki giriş değerlerine göre CFD-GA çözüm sonuçları Tablo 3’te ve röle çalışma eğrileri de Şekil 7 (a)’da gösterilmiştir. Şekil 7 (b)’de generasyon sayısına bağlı uygunluk ortalaması değişimi görülmektedir



(a)



(b)

**Şekil 7.** CFD-GA İle Geleneksel Röle Koordinasyonu (a) Röle Çalışma Karakteristikleri, (b) Generasyon Sayısına Bağlı Uygunluk Ortalaması Değişimi (Traditional relay coordination via CFD-GA, (a) Relay operating characteristics, (b) Fitness average related to the generation number)

İlk generasyondaki kromozomların tamamının uygunluk ortalaması 19893 iken ceza fonksiyonu ile durdurulan algoritmanın son iterasyonunda uygunluk ortalaması 110’a düşmüştür. 88. generasyondan itibaren uygunluk ortalaması yavaş düştüğünden ve şekilde bariz görünmediğinden, bu düşüş grafik içerisinde ayrıca gösterilmiştir. Yüksek gerilimli transformatör istasyonlarında, geleneksel ters zamanlı aşırı akım röle koordinasyonunda, 34,5 kV baraya bağlı dağıtım fiderlerinde kısa devre akımında açma zamanı 1 s olan eğri seçilmekte ve genellikle selektivite zaman farkı 0,5 s olarak belirlenmektedir. Geleneksel koordinasyonda ters zamanlı çalışma karakteristiğinden başka, kısa devre akımında genellikle 0 (sıfır) s’de açacak ani ayarı da ayrıca yapılmaktadır. Yani kısa devre akımına kadar seçilen zamanlı çalışma karakteristiğinde röle çalışırken, kısa devre akımı oluşursa ani ayarda çalışmaya geçmektedir. Ayrıca akım trafosu nominal akımının 10 katında belirlenen sürede açma, sonrasında anili çalışma moduna geçme şeklindeki uygulamalar da yaygındır. Selektivite bölgeleri arasında zaman farkına ve en ilk açacak rölenin açma zamanına 0,01 s tolerans bırakılmıştır.

### Uygulama 2: Ani Ayar Gereksiz Koordinasyon ve Çaprazlama ve Mutasyonda Taban Karşılaştırması (Application 2. Instant Setting Unnecessary Coordination and the Comparison of base in Crossover and Mutation)

Çalışmamızda geleneksel ani ayar mecburiyetli koordinasyona, anisiz koordinasyon önerisi için Tablo 4’te giriş değerleri verilen ve aynı giriş değerleriyle çaprazlama ve mutasyonda farklı tabanlar kullanılan uygulamalar yapılmıştır. Bu uygulamalarda, koordinasyonda ilk açacak rölenin kısa devre akımında çalışma zamanı 0,2 s olacak standart ters zamanlı eğri alınmıştır. 0 s değil de 0,2 s alınmasının sebebi de bu fiderlerden beslenen dağıtım sistemi kabinlerine açma zamanının bırakılmak istenmesidir.

Güç sisteminde uygun dağıtım fiderlerinde anisiz aşırı akım röle koordinasyonu uygulanabilir. Optimizasyon sonuçları, en iyi deneylerde, karışık taban için Tablo 5’te, 2 tabanı için Tablo 6’da, 10 tabanı için Tablo 7’de gösterilmiştir.

**Tablo 4.** CFD-GA İle Anisiz Röle Koordinasyonu İçin Giriş Değerleri (Input values for the coordination without instant setting via CFD-GA)

Deney sayısı	10
Popülasyon Büyüklüğü	500
Çaprazlama ve Mutasyonda kullanılan taban	Karışık / 2 / 10
TD için çözüm aralıkları	0,001-0,6
Tep için çözüm aralıkları	0,5-1
Trafo kısa devre gerilimi (%Uk)	12,39
Sistem Pozitif Bileşen Empedansı ( $\Omega$ )	0,04473
Güç Trafosu Gücü (MVA)	100
Güç Trafosu Primer Gerilimi (V)	154
Güç Trafosu Sekonder Gerilimi (V)	34,5
Selektivite Bölgesi Sayısı	3
1.Selektivite Bölgesi Fider Sayısı-Akım Trafoları	1-400
2.Selektivite Bölgesi Fider Sayısı-Akım Trafoları	1-2000
3.Selektivite Bölgesi Fider Sayısı-Akım Trafoları	6 / 600-300-300-400-600-200
Selektivite Bölgeleri arasındaki zaman farkı (s)	0,2
Selektivite Bölgeleri arasındaki zaman farkı toleransı (s)	0,01
En ilk açacak rölelerin açma zaman sınırları (s)	0,2-0,21

**Tablo 5.** CFD-GA İle Anisiz Röle Koordinasyonunda Karışık Taban Optimizasyon Sonuçları (Optimization results on mixed base for the coordination without instant setting via CFD-GA)

Çözüm tepleri	0,9372-0,8367-1-1-1-1-1-1
Çözüm TD	0,1564-0,1039-0,083-0,1052-0,1062-0,0966-0,0834-0,1183
Kısa devre akımında açma zamanları (s)	0,6041-0,4013-0,202-0,2031-0,2051-0,2038-0,2022-0,2039
Her bir deneyin çözüm iterasyonu	130-103-119-145-105-109-107-90-120-146
Tüm deneylere göre ortalama çözüm iterasyonu	117,4
3 Faz Kısa Devre Akımı (A)	9924
Her bir deneyin uygunluk ortalaması	8133,05-9941,93-9985,71-9063,68-10010,46-9625,61-11278,56-10557,40-12234,21-9749,39
Tüm deneylerin uygunluk ortalaması	10058
Her bir deneydeki en iyi uygunluk	6,965-6,970-6,974-6,971-6,971-6,969-6,972-6,978-6,977-6,971
Her bir deneydeki en kötü uygunluk	20084,98-20085,27-20010,25-20085,16-20010,29-20087,25-20087,34-20086,36-20010,26-20084,65
Tüm iterasyonlar içerisinde en iyi iterasyon	130
Her bir deneydeki 2 tabanındaki çaprazlama sayısı	65-56-58-81-56-55-44-49-57-59
Her bir deneydeki 10 tabanındaki çaprazlama sayısı	65-47-61-64-49-54-63-41-63-87
Her bir deneydeki 2 tabanındaki mutasyon sayısı	65-53-52-59-56-47-53-37-61-82
Her bir deneydeki 10 tabanındaki mutasyon sayısı	65-50-67-86-49-62-54-53-59-64
En iyi deneyin ilk ve son iterasyonlardaki uygunluk	19893,15-100,76

Ayrıca en iyi deney röle çalışma eğrileri her 3 uygulama da çok yaklaşık olduğu için sadece karışık taban uygulaması Şekil 8 (a)'da gösterilmiştir. Tablo 5, 6 ve 7'ye göre, her bir deneyin ortalama çözüm iterasyonu karışık taban için 117,4, 2 tabanı için 99,5 ve 10 tabanı için 332,7 olmasına rağmen, tüm

deneylerin uygunluk ortalamaları, karışık tabanda 10058, 2 tabanında 10190, 10 tabanında 13880'dir. Daha fazla deneyde daha düşük uygunluğu yakalama açısından karışık taban ve 10 tabanı uygulamasının 2 tabanı uygulamasına göre daha iyi olduğu görülmüştür.



**Tablo 6.** CFD-GA İle Anisiz Röle Koordinasyonunda 2 Tabanlı Optimizasyon Sonuçları (The optimization results on 2 base for the coordination without instant setting via CFD-GA)

Çözüm tepleri	0,8348- 0,8367-1-1-1-1-1
Çözüm TD	0,1677-0,1052-0,084-0,1048- 0,1073-0,0987-0,0848-0,1200
Kısa devre akımında açma zamanları (s)	0,6075-0,4063-0,2037-0,2024- 0,2072-0,2083-0,2056-0,2068
Her bir deneyin çözüm iterasyonu	86-64-63-104-191-122-154-71-75-65
Tüm deneylere göre ortalama çözüm iterasyonu	99,5
3 Faz Kısa Devre Akımı (A)	9924
Her bir deneyin uygunluk ortalaması	10624,93-11418,88-14125,24-6772,76-10146,54- 6951,64-8568,61-10787,01-9214,07-13294,63
Tüm deneylerin uygunluk ortalaması	10190,43
Her bir deneydeki en iyi uygunluk	30,2142-14,8011-10,0965-6,9839-8,8653- 16,9183-38,7773- 8,6189- 7,3336-7,2999
Her bir deneydeki en kötü uygunluk	20087,58-20084,78-20084,72-20088,77-20090,54- 20086,78-20084,95-20084,42-20088,86-20083,91
Tüm iterasyonlar içerisinde en iyi iterasyon	317
En iyi deneyin ilk ve son iterasyonlardaki uygunluk ort.	19909,27-101,83

**Tablo 7.** CFD-GA İle Anisiz Röle Koordinasyonunda 10 Tabanlı Optimizasyon Sonuçları (The optimization results on 10 base for the coordination without instant setting via CFD-GA)

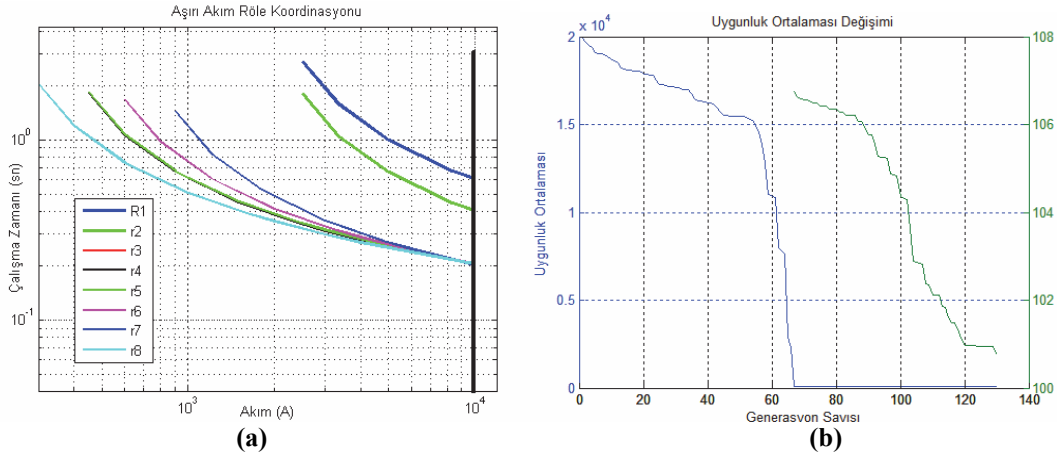
Çözüm tepleri	0,9372- 0,8367-1-1-1-1-1
Çözüm TD	0,1552-0,1042-0,0838-0,1037- 0,1061-0,097-0,0827-0,1164
Kısa devre akımında açma zamanları (s)	0,6000-0,4025-0,2032-0,2002- 0,2049-0,2047-0,2005-0,2006
Her bir deneyin çözüm iterasyonu	328-325-278-347-367-404-342-258-295-383
Tüm deneylere göre ortalama çözüm iterasyonu	332,7
3 Faz Kısa Devre Akımı (A)	9924
Her bir deneyin uygunluk ortalaması	11807,78-13991,22-15991,15-12688,10-13488,12- 13683,00-12224,13-15935,42-15652,69-13346,74
Tüm deneylerin uygunluk ortalaması	13880,83
Her bir deneydeki en iyi uygunluk	6,9577-6,9696-6,9762-6,9675-6,9813- 6,9856-6,9758-6,9787-6,9753-6,9707
Her bir deneydeki en kötü uygunluk	20010,32-20010,32-20010,31-20010,30-20010,49- 20010,36-20010,39-20010,36-20010,41-20010,35
Tüm iterasyonlar içerisinde en iyi iterasyon	328
En iyi deneyin ilk ve son iterasyonlardaki uygunluk ort.	19845,68-102,31

Şekil 8 (a)'da CFD-GA ile karışık tabanda çaprazlama ve mutasyon yapılan anisiz röle koordinasyonunda en iyi deney sonucundaki aşırı akım rölelerinin çalışma karakteristikleri gösterilmiştir.

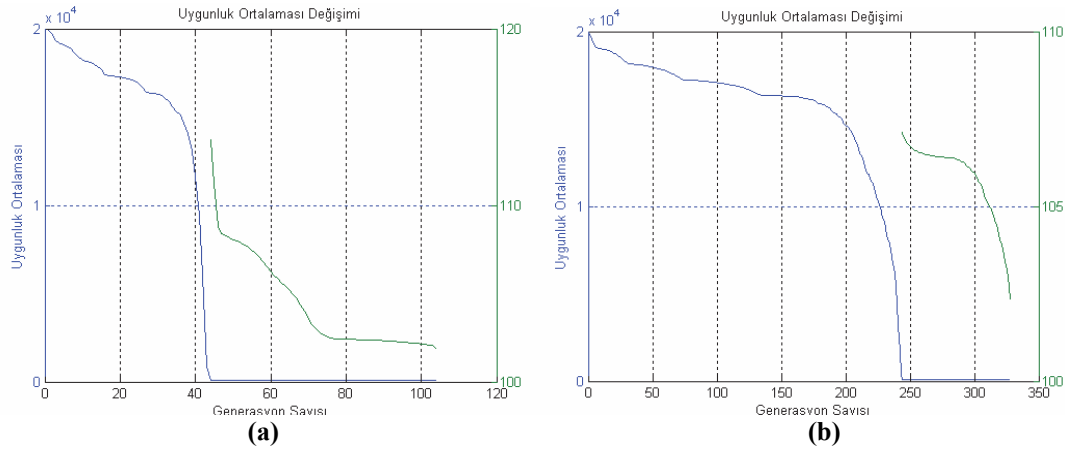
En iyi deney için, anisiz röle koordinasyonunda generasyon sayısına bağlı uygunluk ortalaması değişimi, karışık taban için Şekil 8 (b)'de, 2 tabanlı ve

10 tabanlı için sırasıyla Şekil 9 (a) ve Şekil 9 (b)'de gösterilmiştir

Karışık taban uygulamasında 67.generasyondan, 2 tabanlı uygulamasında 44.generasyondan, 10 tabanlı uygulamasında 244.generasyondan itibaren uygunluk ortalaması düşüşü bariz görünmediğinden şekillerin içerisinde ayrıca çizdirilmiştir.



**Şekil 8.** Karışık Tabanda Ani Ayar Gereksiz Röle Koordinasyonu (a) Röle Çalışma Karakteristikleri, (b) Generasyon Sayısına Bağlı Uygunluk Ortalaması Değişimi (The coordination of relay without instant setting on mixed base, (a) Relay operating characteristics, (b) Fitness average related to the generation number)



**Şekil 9.** Ani Ayarsız Koordinasyonda Generasyon Sayısına Bağlı Uygunluk Ortalaması Değişimi, (a) 2 Tabanı, (b) 10 Tabanı (Fitness average related to the generation number for the coordination without instant setting, (a) 2 base, (b) 10 base)

## 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Çalışmada, yüksek gerilimli transformator merkezlerindeki güç transformatorü giriş ve çıkış fiderleriyle orta gerilim dağıtım fiderlerinin ters zamanlı aşırı akım röle koordinasyonu, önerilen yeni bir yöntem olan CFD-GA ile başarılı bir şekilde yapıldığı gösterilmiştir. CFD-GA'da generasyon sayısı arttıkça uygunluk ortalamasının düştüğü gösterilmiştir. Bu çalışmanın literatürdeki çalışmalardan farklı olan özgün noktaları, IEC 255-3 standardındaki standart ters zamanlı çalışma eğrisine uygulanması amacıyla esnek yapıda hazırlanan programın verdiği avantajlar sayesinde selektivite bölgesi sayısının, selektivite bölgeleri arasındaki zaman farkının, en ilk açacak rölelerin zamanının istenilen şekilde seçilmesiyle gerçek sistemlere uygulanabilme olanağının verilmesinin yanında, anisiz koordinasyonun önerilmesi ve tanımlanan yeni bir GA modelinde yeni bir uygunluk fonksiyonunun tanımlanıp ceza fonksiyonuyla algoritmanın

Ceza fonksiyonu tanımlanmasıyla literatürdeki çalışmalara nazaran daha düşük iterasyonlarda optimum çözüme ulaşılmıştır. Ayrıca çaprazlama ve mutasyonda kullanılan taban performansının belirlenmesi de özgündür. MATLAB'ta hazırlanan CFD-GA'ya dayalı program ile çaprazlama ve mutasyonda rasgele olarak 2 ya da 10 tabanından birinin kullanıldığı yeni karışık tabanlı yöntemin, sadece 2 tabanı ve sadece 10 tabanı kullanılan yöntemlerden aşağı kalır bir performansı olmadığı, hatta uygunluk ortalamasına göre daha iyi olduğu gösterilmiştir. Ayrıca karışık tabanlı röle koordinasyonu uygulamasında daha fazla sayıda deneyde daha düşük uygunluk ortalaması elde edilmiştir. Tüm uygulamalarda düşük iterasyonlarda optimum çözüme yaklaşılmıştır. CFD-GA ile, geleneksel ani ayar mecburiyetli aşırı akım röle koordinasyonunun yanında, ani ayar gereksiz röle koordinasyonu yapılarak, uygun dağıtım fiderlerinde kullanılabileceği belirtilmiştir.

**SEMBOLLER (NOMENCLATURES)**

I>	:Rölenin ayarlanan çalışma akımı (A)
t>	:Rölenin ayarlanan açma zamanı (s)
I>>	:Rölenin ayarlanan ani açma akımı (A)
t>>	:Rölenin ayarlanan ani zamanı (s)
TD	:Rölenin çalışma eğrisi için zaman ayarı sabiti
N	:Ayarlanacak toplam röle sayısı
M	:Başlatma akımının katı (rölenin tespit ettiği akımın, ayarlı olduğu akıma oranı)
I <sub>r</sub>	:Rölenin tespit ettiği akım (A)
I <sub>ç</sub>	:Rölenin ayarlı olduğu akım (A)
%Uk	:Trafo bağlı kısa devre gerilimi
GA	:Genetik Algoritmalar
CFD-GA	:Ceza fonksiyonuyla durdurmalı Genetik Algoritmalar
F	:Uygunluk fonksiyonu
tep	:Röleye girilen akım ayar değeri, ( 0, 1]
t(I)	:Akıma bağlı röle çalışma zamanı (s)
Ceza1	:En ilk açacak röle ya da rölelerin açma zamanı alt sınırı ile açma zamanı üst sınırı arasında kalma sayısı ile ilgili olarak yapılan tanım
Ceza2	:Rölelerin artçı durumundaki rölelerle arasındaki selektivite zaman farkını sağlama sayısı ile ilgili olarak yapılan tanım

**KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- Ekici, S., Yıldırım, S., Poyraz, M.A., "Pattern Recognition Application for Distance Protection", **Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, Cilt 24, No 1, 51-61, 2009.
- Özgönenel, O., "Simulation of Transformer Internal Faults", **Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, Cilt 21, No 1, 107-114, 2006.
- Bashir, M., Taghizadeh, M., Sadeh, J., Mashhadi, H.R., "A New Hybrid Particle Swarm Optimization for Optimal Coordination of Over Current Relay", **International Conference on Power System Technology**, China, 1-6, 2010.
- Chattopadhyay, B., Sachdev, M.,S., Sidhu, T.S., "An On-Line Relay Coordination Algorithm for Adaptive Protection Using Linear Programming Technique", **IEEE Trans. Power Del.** Cilt 11, No 1, 165-173, 1996.
- So, C.W., Li, K.K., Lai, K.T., Fung, K.Y., "Application of Genetic Algorithm for Overcurrent Relay Coordination", **6th Int. Conf. on Developments in Power System Protection**, the University of Nottingham, London, 434, 66-69, 1997.
- Mohammadi, R., Abyaneh, H.A., Razavi, F., Al-Dabbagh, M., Sadeghi, S.H.H., "Optimal Relays Coordination Efficient Method In Interconnected Power Systems", **Journal of Electrical Engineering**, Cilt 61, No 2, 75-83, 2010.
- Bedekar, P.P., Bhide, S.R., Kale, V.S., "Optimum Time Coordination Of Overcurrent Relays In Distribution System Using Big-M (Penalty) Method", **Wseas Transactions on Power Systems**, Cilt 4, Issn: 1790-5060, 2009.
- Vijayakumar, D., Nema, R.K., "Simplified Velocity MPSO for Directional Overcurrent Relay Coordination", **International Journal of Recent Trends in Engineering**, Cilt 1, No 3, 2009.
- Rathinam, A., Sattianadan, D., Vijayakumar, K., "Optimal Coordination of Directional Overcurrent Relays using Particle Swarm Optimization Technique", **International Journal of Computer Applications**, Cilt 10, No 2, 43-47, 2010.
- Zeineldin, H.H., El-Saadany, E.F., Salama, M.M.A., "Optimal Coordination of Overcurrent Relays using a Modified Particle Swarm Optimization", **Electric Power Systems Research**, Cilt 76, No 11, 988-995, 2006.
- Deep, K., Bansal, J.C., "Optimization of Directional Overcurrent Relay Times Using Laplace Crossover Particle Swarm Optimization (LXPSO)", **World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing**, India, 288-293, 2009.
- Sadeh, J., Aminotojari, V., Bashir, M., "Coordination of Overcurrent and Distance Relays Using Hybrid Particle Swarm Optimization", **International Conference on Advanced Power System Automation and Protection**, China, Cilt 2, 1130-1134, 2011.
- Thangaraj, R., Pant, M., Deep, K., "Optimal Coordination of Overcurrent Relays using Modified Differential Evolution Algorithms", **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, Cilt 23, No 5, 820-829, 2010.
- Abyaneh, H.A., Karegar, H.K., Al-Dabbagh, M., "Interpolation of Measured Data Based on Neural Network to Model Overcurrent Relays in Power Systems", **5th Asian Control Conference**, Australia, Cilt 3, 1393-1397, 2004.
- Abyaneh, H.A., Faez, K., Karegar, H.K., "A New Method for Overcurrent Relay (O/C) Using Neural Network and Fuzzy Logic", **IEEE Tencon- Speech and Image Technologies for Computing and Telecommunications**, Cilt 1, 407-410, 1997.
- Noghabi, A.S., Mashhadi, H.R., Sadeh, J., "Optimal Coordination Of Directional Overcurrent Relays Considering Different Network Topologies Using Interval Linear Programming", **IEEE Transactions On Power Delivery**, Cilt 25, No 3, 2010.
- Lee, C.H., Chen, C.R., "Using Genetic Algorithm for Overcurrent Relay Coordination in Industrial Power System", **The 14th International Conference on Intelligent System Applications to Power Systems**, Taiwan, 95-99, 2007.

18. Mohammadi, R., Abyaneh, H.A., Razavi, F., Al-Dabbagh, M., Sadeghi, S.S.H., "Optimal Relays Coordination Efficient Method In Interconnected Power Systems", **Journal of Electrical Engineering**, Cilt 61, No 2, 75–83, 2010.
19. Aslinezhad, M.H., Sadeghzadeh, S.M., Olamaei, J., "Over Current Relays Protective Coordination In Distribution Systems In Presence of Distributed Generation", **International Journal On Technical And Physical Problems Of Engineering**, Cilt 3, No 7, 40-46, 2011.
20. Abdelaziz, A.Y., Talaat, H.E.A., Nosseir, A.I., Hajjar, A.A., "An Adaptive Protection Scheme for Optimal Coordination of Overcurrent Relays", **Electric Power Systems Research**, Cilt 61, 1–9, 2002.
21. So, C.W., Li, K.K., "Overcurrent Relay Coordination by Evolutionary Programming", **Electric Power Systems Research**, Cilt 53, 83–90, 2000.
22. Bedekar, P.P., Bhide, S.R., "Optimum Coordination of Overcurrent Relay Timing using Continuous Genetic Algorithm", **Expert Systems with Applications**, Cilt 38, 11286–11292, 2011.
23. So, C.W., Li, K.K., Lai, K.T., Fung, K.Y., "Application of Genetic Algorithm to Overcurrent Relay Grading Coordination", **Proceedings of the 4th International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management**, APSCOM-97, Hong Kong, Cilt 1, 283-287, 1997.
24. Uthitsunthom, D., Kulworawanichpong, T., "Optimal Overcurrent Relay Coordination using Genetic Algorithms", **2010 International Conference on Advances in Energy Engineering**, China, 162-165, 2010.
25. Bedekar, P.P., Bhide, S.R., "Optimum Coordination Of Directional Overcurrent Relays Using The Hybrid Ga-Nlp Approach", **IEEE Transactions on Power Delivery**, Cilt 26, No 1, 2011.
26. Bedekar, P.P., Bhide, S.R., Kale, V.S., "Optimum Coordination of Overcurrent Relays in Distribution System using Genetic Algorithm", **Third International Conference on Power Systems**, Kharagpur, INDIA 27-29, ICPS–247, Aralık 2009.
27. Kamangar, S.S.H., Abyaneh, H.A., Chabanloo, R.M., Razavi, F., "A New Genetic Algorithm Method for Optimal Coordination of Overcurrent and Earth Fault Relays in Networks with Different Levels of Voltages", **IEEE Bucharest Power Tech Conference**, Romania, 1-5, 2009.
28. **IEC 255-3 International Standard**, Electrical Relays Part-3:Single Input Energizing Quantity Measuring Relays with Dependent or Independent Time, 1989.
29. Gürsu B., **Sezgisel Algoritmalar Kullanarak Transformatör Merkezlerinde Topraklama Ağlarının Tasarımı**, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2009.