

Elektromanyetizm Algoritması İle Radyal Şebekelerde Ters Zamanlı Yönsüz Selektif Aşırı Akım Röle Koordinasyonu

Inverse Time Non-Directional Selective Overcurrent Relay Coordination in Radial Systems via Electromagnetism Algorithm

Bariş Gürsu

TEİAŞ 13.İletim Tesis ve İşletme Grup Müdürlüğü-Elazığ
gursubaris@hotmail.com

Özet

Bu çalışmada, bir trafo merkezinde sekonderi orta gerilim seviyesinde olan güç transformatörü primer tarafı fideri ve sekonder tarafı fideri ile bu güç transformatöründen beslenen orta gerilim seviyesindeki dağıtım fiderlerinin bulunduğu bir radyal şebekede optimum yönsüz aşırı akım röle koordinasyonu Elektromanyetizm Algoritması (EM) ile yapılmıştır. Röle koordinasyonunda Türkiye Elektrik İletim ve Dağıtım sisteminde genellikle kullanılan IEC 255-3 standardına dayalı standart ters zamanlı çalışma karakteristiği kullanılmıştır. Ters Zamanlı çalışma modunda selektiviteyle birlikte, sabit zamanlı anide de selektivite yapılmıştır. 3-faz kısa devre akımında anili çalışma modu kullanılmış, ters zamanlı çalışma modunda akım trafosunun nominal akımının 10 katında istenen zamanda açma sağlanmıştır.

Abstract

In this study, optimum non-directional overcurrent relay coordination is made in a radial system via electromagnetism algorithm. Three selectivity zones are taken in radial system application. These zones are; the primary side of power transformer, the secondary side of the power transformer and the distribution side connected to medium voltage bus. The standart inverse time-current characteristic form is used based on IEC 255-3 standard in the relay coordination. This characteristic is also used in Turkey electrical transmission and distribution system. Both time-selectivity and instantaneous-selectivity are made in relay coordination. Instantaneous operating mode is used in 3 phase-short circuit current. Tripping at the requested time at 10 times of the nominal current of the current transformer is provided in inverse-time study mode.

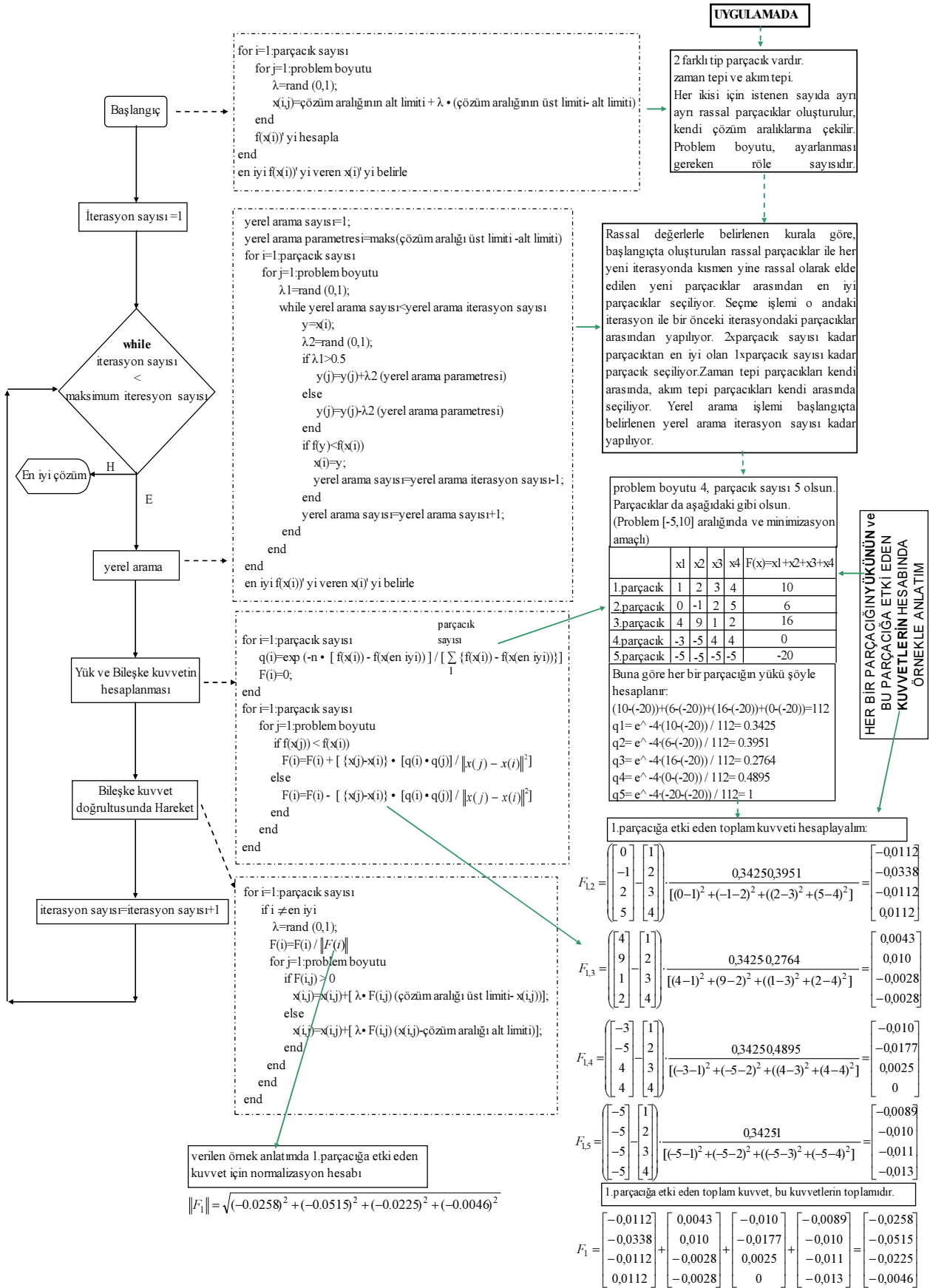
1. Giriş

Elektrik, üretilip iletim sistemine, iletim sisteminden de dağıtım sistemi şebekesine geçtikten sonra tüketicilere ulaşır. Elektrik iletim sisteminden dağıtım sistemine geçmesi, iletim sistemi içerisinde yer alan transformatör merkezlerindeki (TM) güç transformatörü aracılığıyla olur. Elektrik güç sistemlerinde iyi bir tasarım, yenileme ve bakımlar ne kadar yapılsa da arızalarla karşılaşılabilir. Bu itibarla elektrik iletim ve dağıtım şebekelerinin işletilmeleri sırasında da arızalar oluşabilmektedir. Bu nedenle öncelikle insan hayatını

korumak amaçlı ve aynı zamanda oldukça pahalı olan elektrik şebeke teçhizatlarını da koruyan koruma sistemlerinin kullanılması zorunludur. Koruma sistemleri denilince akla ilk gelen, güç sistemini canlı olarak her an izleyen rölelerin en temel görevi, arıza anında optimum sürede, seçici olarak arıza bölgesini servis harici ettirmesidir. Buradaki temel amaç ta, arıza sonucu oluşabilecek zararları minimuma düşürmektir. Bu zararlar da; arızaya maruz kalan bir canlının olması ihtimali, arızaya maruz kalan güç sistemi teçhizatının bir canlıya zarar verebilmesi ihtimali, gereksiz yere tüketicinin enerjisiz kalması, teçhizatın hasarlanması, teçhizatın hasarlanmasına binaen değişim ihtiyacından kaynaklanan maddi külfetin oluşması, onarım ya da değişim süresinin artması ve dolayısıyla yeniden devreye alma işleminin gecikmesi, sistemin bütününe kararlılığının bozulabilmesi ve en genel haliyle kaliteli ve emniyetli olarak enerjinin iletilmemesi olarak belirtilebilir. Bahsi geçen bu zararların hepsi, bir dağıtım kabininde oluşan bir arızanın transformatör merkezindeki güç transformatörüne intikal etmesiyle de olabilir. Buna mani olabilmek için bu çalışmada, Elektromanyetizm Algoritması ile, transformatör merkezlerinde optimum ters zamanlı yönsüz selektif aşırı akım röle koordinasyonu yapılmıştır. Literatürde aşırı akım röle koordinasyonu ile ilgili Diferansiyel Evrim Algoritması [1-4] ve Genetik Algoritmalar [5-8] ile yapılan çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmanın özgün noktası, Elektromanyetizm Algoritmasıyla yapılan aşırı akım röle koordinasyonu ile ilgili başka bir çalışmaya rastlanmamasıdır.

2. Elektromanyetizm Algoritması

[9]'daki çalışma ile ortaya çıkan Elektromanyetizm Algoritması adını elektromanyetizma teorisindeki elektrik yüklü parçacıklar arasındaki etkileşime neden olan itme-çekme olayından almıştır. Bu algoritmaya göre, çözüm uzayındaki her bir nokta, yüklü parçacıklardır. Her bir parçacığın bir yükü vardır ve bu yükü de amaç fonksiyonuyla orantılıdır. Parçacıklar yüküne göre, birbirine karşı itme ya da çekme kuvveti uygular. Her bir parçacığa etkiyen toplam kuvvet de vektörel olarak hesaplanır ve parçacıklar bu kuvvet doğrultusunda ve yönünde hareket ettirilir. Bu hareket ile optimum çözüme ulaşılmaya çalışılır. Elektromanyetizm algoritmasında, popülasyondaki her bir bireye, popülasyondaki diğer tüm bireyler tek tek etki eder. Şekil 1'de Elektromanyetizm Algoritması akış şeması, program kodu ve örneklerle anlatımı gösterilmiştir.



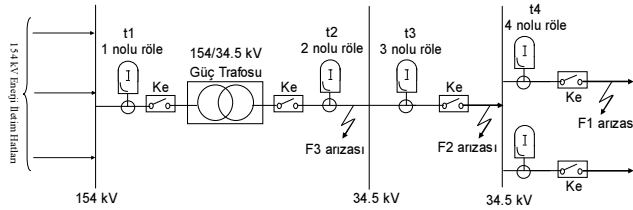
Şekil 1:Elektromanyetizm Algoritması Akış Şeması, Program Kodu ve Algoritmanın Örnekli Anlatımı

3. Radyal Şebekelerde Selektif Yönsüz Aşırı Akım Röle Koordinasyonu

Yönsüz aşırı akım rölesi, sadece akım bilgisine bağlı olarak çalışır. Fidere ait akım trafosunun primerinden geçen akım, akım trafosunun dönüştürme oranında sekonderine yansır. Kısa devre arızasında primerden ve dolayısıyla sekonderden geçen akım artar. Bu durumda akım trafosunun sekonderine bağlı olan aşırı akım rölesi bobinindeki akım da artar. Bu akımın değeri, rölenin ayarlı olduğu akım değerini geçerse, röle ayarlandığı süre sonunda kontağını kapayarak kesicisinin açma bobinini enerjiler ve kesicisini açtırır [3].

Aşırı akım arızalarına karşı korumada temel ilke, selektif koruma mantığıdır. Selektif (seçici) koruma mantığı; arızanın, oluştuğu noktaya en yakın yerde ve diğer bölgelere sirayet etmeyecek ve arızalı bölümde hasar oluşmayacak kadar kısa sürede kesilmesidir. Arızalı noktaya en yakın yerdeki röle çalışmaz ya da röle çalışsa da kesicisi arızalı kısmı devre harici etmez ise, bir sonraki artçı koruma durumundaki rölenin ayarlandığı zamanda çalışıp, kumanda ettiği kesicisinin arızayı temizlemesi gerekmektedir [6].

Şekil 2'deki gibi radyal bir şebekede, F1 arızasında 4 nolu rölenin arızayı algılayarak ayarlandığı t4 süresinde kesicisini açtırması beklenir. 4 nolu röle arızayı algılamaz ya da arızayı algılasa da kesicisi açma yapmazsa arıza devam ettiği için, artçı koruması durumundaki 3 nolu rölenin 4 nolu rölenin çalışma zamanından bir müddet daha sonra olan t3 zamanında (t3>t4) çalışarak arızayı temizlemesi gerekir. Aynı şekilde 3 nolu röle de açma yaptırmazsa 2 nolu rölenin, 2 nolu röle de açma yaptırmazsa 1 nolu rölenin arızayı kesmesi gerekir. Bu şekilde bir selektif aşırı akım korumada, arıza akımı her halükarda güç sistemindeki teçhizatlar zarar vermeyecek kadar kısa sürede kesilmelidir. F2 arızasında önce 3 nolu rölenin ayarlandığı t3 zamanında arızayı temizlemesi beklenir. 3 nolu röle kesicisi vasıtasıyla arızayı temizleyemezse artçı koruması olan 2 nolu rölenin t2 zamanında (t2>t3), 2 nolu röle de arızayı temizleyemezse 1 nolu rölenin ayarlandığı t1 zamanında (t1>t2) kesicileri vasıtasıyla arızayı kesmesi gerekir. Aynı durumlar F3 arızası için de geçerlidir. F3 arızasında önce 2 nolu rölenin, 2 nolu röle arızayı temizleyemezse artçı koruması olan 1 nolu rölenin arızayı temizlettirmesi gerekmektedir. Örneğin F1 arızasında 4 nolu röleden önce ya da 4 nolu röleyle beraber 1,2,3 nolu rölelerin herhangi birinin çalışması selektif koruma mantığı içerisinde yer almaz. Çünkü arızaya en yakın olan 4 nolu rölenin sadece çalışması beklenirken gereksiz yere mesela 2 nolu röle de aynı anda çalışırsa güç trafosu çıkışı devre harici olacağından tüm fiderler gereksiz yere enerjisiz kalacaktır [4]. F1, F2 ya da F3 arızalarında 1,2,3 ve 4 nolu rölelerin herhangi biri arızayı temizlettirmezse, arıza devam ederken önce güç sistemindeki en pahalı teçhizat olan güç trafosuna zarar verecek, sonra da arıza 154 kV barayı besleyen enerji iletim hatlarına da intikal edecektir.

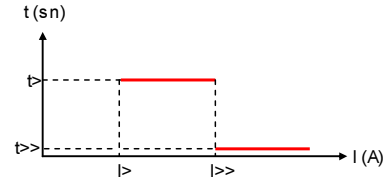


Şekil 2: Radyal Bir Şebeke Tek Hat Şeması

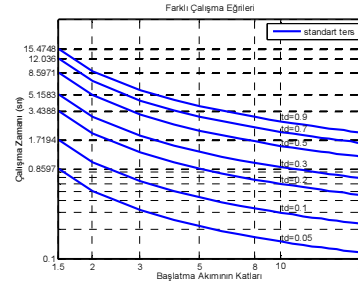
4. Aşırı Akım Rölesi Çalışma Karakteristiği

Aşırı akım rölesinin algıladığı akımla, rölenin ayarlanan çalışma akımı arasındaki bağıntı çalışma karakteristiğini (akım-zaman karakteristiğini) ifade etmektedir.

Aşırı akım röleleri, çalışma karakteristiklerine göre sabit zamanlı ve ters zamanlı olarak iki şekilde çalıştırılabilirler. Şekil 3'te sabit zamanlı çalıştırılan rölenin çalışma karakteristiği görülmektedir. Sabit zamanlı çalışma karakteristiğinde, arıza akımı, rölenin ayarlandığı akım (I_a) değerini aştığında, ayarlanan zamanda (t_a) röle açtırma yapacaktır. Akım değeri ne olursa olsun, ani açma akım değerine ($I_{>>}$) kadar açma zamanı değişmemektedir. Ani açma ayarı yapılmışsa, ani açma akım değerinde, ayarlandığı ani zamanında da ($t_{>>}$) açma olacaktır.



Şekil 3: Sabit Zamanlı Çalışma Karakteristiği



Şekil 4: 'td' Değerlerine Göre Standart Ters Zamanlı Çalışma Eğrileri

Şekil 4'te IEC 255-3 [10] standardında yer alan standart ters zamanlı çalışma karakteristiği için farklı çalışma eğrileri görülmektedir. Standart ters zamanlı çalışma karakteristiği, (1) eşitliğinde ve Şekil 4'te gösterildiği gibi, arıza akımının genliğiyle ters orantılı açma zamanına sahiptir. Türkiye elektrik iletim ve dağıtım sistemlerinde genellikle (1) eşitliğinde gösterilen standart ters zamanlı çalışma karakteristiği kullanılmaktadır.

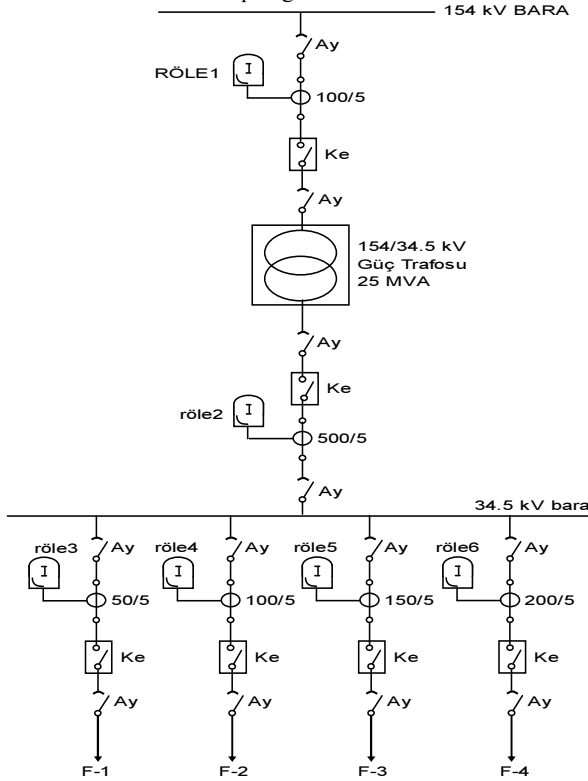
$$t(I) = td \cdot \left(\frac{0.14}{\left(\frac{I_f}{I_c} \right)^{0.02} - 1} \right) \quad (1)$$

t(I) röle çalışma süresi (s), I_c röle çalışma akımı, I_f arıza akımı, td açma süresine (t(I)) bağlı zaman sabitidir. td zaman tepisi sabiti, rölenin hangi arıza akımında (I_f), hangi akım tepine (I_c) göre, kaç saniyede (t(I)) açma yapması isteniyorsa ona göre belirlenir. Aşırı akım rölesine zamanlı çalışmada genellikle td zaman tepisi ve I_c akım tepisi girilir. Böylelikle röle çalışma akımının kaç katında (I_f/I_c) hangi zamanda (t(I)) açması isteniyorsa röle çalışma eğrisi belirlenmiş olunur. Dolayısıyla zaman ve akım tepisi, rölenin çalışma eğrisini belirler.

Şekil 4'te görüldüğü gibi, 'td' değeri büyüdükçe aynı akımda açma zamanı artmakta ve akım arttıkça açma zamanı düşmektedir.

5. Elektromanyetizm Algoritmasının Radyal Bir Şebekede Yönsüz Aşırı Akım Röle Koordinasyonuna Uygulanması

Şekil 5’ te radyal bir şebekede trafo giriş ve çıkış fiderleri ile 34.5 kV orta gerilim dağıtım fiderlerinden oluşan bir güç sisteminin tek hat şeması gösterilmiştir. Burada 3 selektivite bölgesi vardır. Bunlar 34.5 kV baraya bağlı fiderler kısmı, trafo çıkış fideri kısmı ve trafo giriş fideri kısmıdır. Her bir rölenin istenen açma değerini sağlayacak td değeri ve her bir röleye girilecek akım tep değerleri optimize edilmiştir. Yani optimizasyonda 2 farklı parçacık tipi vardır. Bunlardan biri, her bir fidere ait rölenin ‘ td ’ değerleri, diğeri de her bir fidere ait akım trafosu akım tep değerleridir.



Şekil 5: Güç Sistemi Tek Hat Şeması

5.1. Amaç Fonksiyonu

Elektromanyetizm Algoritması ile ters zamanlı yönsüz aşırı akım röle koordinasyonu için kullanılan amaç fonksiyonu, (2) denklemi ile tanımlanmıştır. N ; td ve akım tep ayarı için optimize edilecek toplam röle sayısıdır.

$$T = \min \left\{ \left[\sum_{röle=1}^N t(I) \right] + \left\{ 100 \cdot \left[\sum_{röle=1}^N (tep - 1)^2 \right] \right\} + [ceza] \right\} \quad (2)$$

EM’de kullanılacak amaç fonksiyonu, rölenin açma zamanını minimuma, akım tepini de maksimuma (akım trafosunun nominal değerine) getirecek şekilde denklem (2)’deki gibi minimizasyon amaçlı oluşturulmuştur. Güç trafosu giriş ve çıkış fiderleri için de akım tep, güç trafosunun gücünü geçmeyecek maksimum değerine optimize edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca ceza fonksiyonuyla da selektivite bölgeleri arasındaki zaman farkı ve en ilk çalışacak rölenin istenen çalışma zamanında kalması sağlanmıştır. Fider akım trafosu 100/5 oranında ise, akım tepinin örneğin 0.8 olması

demek, sekonderinin $5 \cdot 0.8 = 4$ A, primerinin de $100/5 = 20$, $20 \cdot 4 = 80$ A olması demektir.

5.1.1. Ceza Fonksiyonu

$$ceza_{fonksiyonu} = ceza_{selektivite} \cdot ceza_{ilk} \quad (3)$$

(3) denklemi ile özgün olarak tanımladığımız ceza fonksiyonunun 2 bileşeni vardır. Bunlar selektivite zamanıyla ve arızaya en yakın rölenin çalışma zamanıyla ilgilidir. Selektivite zamanı, fideri koruyan röle ile onun bir sonraki artçı koruması durumundaki fider rölesi ile arasındaki istenen açma zamanı farkıdır. $ceza_{selektivite}$, selektivite zamanıyla ilgili olarak tanımlanmıştır.

$$t_{selektivitezamanısinir} \leq t_{selektivitezamanı} \leq t_{selektivitezamanıustsinir} \quad (4)$$

(4) şartını hiçbir röle sağlamamışsa $ceza_{selektivite}$ 1000 alınmış ve (4) şartını sağlayan her bir röle için 50 çıkarılmıştır. Tüm röleler bu şartı sağlamışsa $ceza_{selektivite}$ 0.1 alınmıştır.

$ceza_{ilk}$ arıza durumunda arızaya en yakın en ilk açtırma yaptıracak seçici bölgesindeki rölenin açma zamanıyla ilgili olarak tanımlanmıştır.

$$t_{enilkacackrolealsinir} \leq t_{enilkroleamazamanı} \leq t_{enilkacackroleustsinir} \quad (5)$$

(5) şartını kaynaktan en uzak ilk seçici bölgedeki hiçbir röle sağlamamışsa $ceza_{ilk}$ 20 alınmış ve (5) şartını sağlayan kaynaktan en uzaktaki her bir röle için 4 çıkarılmıştır. Kaynaktan en uzaktaki arızaya en yakın bölgedeki tüm röleler (5) şartını sağlamışsa $ceza_{ilk}$ 0.1 alınmıştır.

EM’de durdurma kriteri olarak ceza fonksiyonu bileşenleri referans alınmıştır. Hem $ceza_{selektivite}$ hem de $ceza_{ilk}$ 0.1 olduğunda algoritma durdurulmuş, en iyi çözüm bulunmuştur [3,4,6,8].

5.2. Röle Koordinasyonu Uygulaması

Şekil 5’te gösterilen radyal şebekede röle koordinasyonu uygulaması için Matlab programı giriş değerleri Tablo 1’de gösterilmiştir.

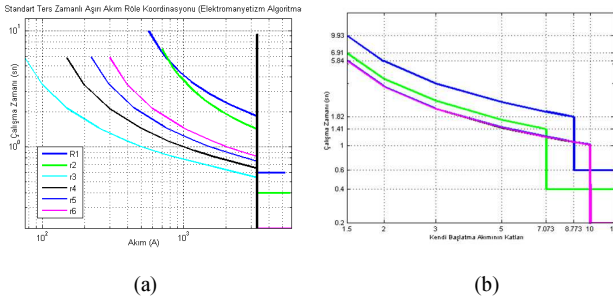
Tablo 1: EM İle Ters Zamanlı Yönsüz Aşırı Akım Röle Koordinasyonu İçin Matlab Giriş Değerleri

Parçacık Sayısı	40
Yerel iterasyon sayısı	40
td için çözüm aralıkları /standart ters/	/0,1-0,7/
Tap için çözüm aralıkları	0,5-1
Trafo kısa devre gerilimi (%Uk)	11,25
Sistem Pozitif Bileşen Empedansı	0,056
Güç Trafosu Gücü (MVA)	25
Güç Trafosu Primer Gerilimi	154
Güç Trafosu Sekonder Gerilimi	34,5
Selektivite Bölgesi Sayısı	3
1.Bölge Fider Sayısı.-Akım Trafoları (/5)	1-100
2.Bölge Fider Sayısı.-Akım Trafoları (/5)	1-500
3.Bölge Fider Sayısı.-Akım Trafoları (/5)	4-50,100,150,200
Ters zamanlı selektivite zamanı ve toleransı	0,4-0,05
10 katında açma zamanı sınırları	1-1,05
Anide Selektivite Zamanı (s)	0,2
Anili çalışma modu	Kısa devre akımında

Tablo 2: EM ile Standart Ters Zamanlı Yönsüz Aşırı Akım Röle Koordinasyonu Sonuçları

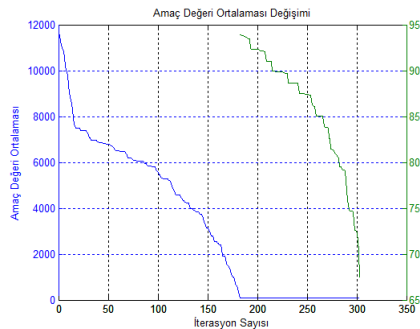
En iyi iterasyonda akım tepleri	0.8445, 0.9351, 0.9977, 0.9918, 0.9836, 0.9975
En iyi iterasyonda 'td'	0.5777, 0.4019, 0.3399, 0.3382, 0.3440, 0.3402
Anisiz, 3-faz kısa devre akımında rölelerin çalışma zamanları (s)	1.8222, 1.4103, 0.5438, 0.6516, 0.7506, 0.8245
10 katında açma zamanları (s)	1.7163, 1.1940, 1.0097, 1.0047, 1.0220, 1.0107
Anili, 3-faz kısa devre akımında rölelerin çalışma zamanları (s)	0.6, 0.4, 0.2, 0.2, 0.2, 0.2
3-Faz Kısa Devre Akımı (A)	3307.27
İlk ve son İterasyonlardaki Amaç Değeri Ortalaması	11576.86 – 67.38
En iyi amaç değeri ve iterasyonu	4.0918 - 303
Amaç Değeri Ortalaması	3287.40

Tablo 2’de EM ile yapılan aşırı akım röle koordinasyonu uygulama sonuçları gösterilmiştir. 34.5 kV fider röleleri 10 katında 1 s’de açacak şekilde optimize edilmiş, bu rölelerle diğer selektivite bölgesindeki röleler arasında 0.4 s selektivite zamanı bırakılmıştır.



Şekil 6: Aşırı Akım Röleleri Çalışma Eğrileri

(a) Rölelerin Gördüğü Akımlara Göre (Güç Trafosunun Primer Tarafı Sekondere Yansıtılmıştır (x154/34.5))
(b) Her Bir Fider Rölesinin Kendi Başlatma Akım Katlarına Göre (Anili moda geçişler gösterilmiştir)



Şekil 7: EM Algoritması Amaç Değeri Değişimi

Şekil 6 (a)’daki logaritmik eksenlerdeki çalışma eğrilerinden, akım arttıkça çalışma zamanının düştüğü, kısa devre akımında anili çalışma moduna geçildiği ve anide de selektivitenin sağlandığı ve fider akım trafolarının 10 katı akımda istenen çalışma zamanını (1 s) sağladığı görülmektedir. Kısa devre akımı 10 katı akımdan küçükse, kısa devre akımında anili

çalışma moduna geçilecektir. Şekil 6 (b)’de her bir fider rölesinin kendi başlatma akım katlarına göre çalışma zamanı eğrileri gösterilmiş olup, güç trafosu giriş ve çıkış fiderlerinin kısa devre akımına denk gelen başlatma akım katlarında, diğer 34.5 kV fider rölelerinin 10 katı akımda anili moda geçtiği de görülmektedir. Şekil 7’de iterasyon sayısı arttıkça amaç değerinin düştüğü görülmektedir. İlk iterasyonda amaç değeri ortalaması 11576 iken son iterasyonda 67’ye düşmüştür.

6. Sonuçlar

Bu çalışmada, EM algoritması kullanılarak radyal şebekelerde optimum yönsüz aşırı akım röle koordinasyonu yapılmıştır. Koordinasyonda hem röle açma zamanları hem de akım tepleri ayarlanmıştır. Röle koordinasyonunda, hem zamanlı selektivite hem de anide selektivite sağlanmıştır. Zamanlı çalışma modu 10 katında istenen zamanda açma ile yapılmış, 3-faz bara kısa devre akımında da anili çalışma modu uygulanmıştır. EM algoritmasıyla yapılan uygulamada iterasyon sayısı arttıkça amaç değerinin düştüğü gösterilmiştir. EM algoritması geleneksel yöntemlerden farklı olarak maksimum iterasyon sayısı ile değil ceza fonksiyonuyla durdurulmuştur.

7. Kaynaklar

- [1] Thangaraj, R., Pant, M., Deep, K., "Optimal coordination of over-current relays using modified differential evolution algorithms", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 23, 2010, 820-829.
- [2] Manohar, S., Panigrahi, B.K., Abhyankar, A.R., Swagatam, D., "Optimal coordination of directional over-current relays using informative differential evolution", *Journal of Computational Science* 5, 2014, 269-276.
- [3] Gürsu, B., "Ceza Fonksiyonuyla Sonlandırılmalı Diferansiyel Evrim Algoritması İle 154 kV Transformator Merkezlerinde Ters Zamanlı Aşırı Akım Röle Koordinasyonu", *Otomatik Kontrol Türk Milli Komitesi Ulusal Toplantısı TOK 2013*, İnönü Üniversitesi, Malatya, 1081-1087.
- [4] Gürsu, B., "The Comparison Of Halton Sequenced Genetic Algorithms and Differential Evolution Algorithm in Inverse-Time Selective Overcurrent Relay Coordination Application", *7th International Advanced Technologies Symposium IATS 2013*, Yıldız Technical University, İstanbul, 30 October-1 November 2013, 579-584.
- [5] Chen, C.R., Lee, C.H., Chang, C.J., "Optimal Overcurrent Relay Coordination in Power Distribution System Using A New Approach", *Electrical Power and Energy Systems*, Cilt:45, s:217-222, 2013.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijepes.2012.08.057>
- [6] Gürsu, B., "Genetik Algoritmalar İle Aşırı Akım Röle Koordinasyonunda Zamanlı Selektiviteyle Birlikte Anide de Selektivite", *Otomatik Kontrol Türk Milli Komitesi Ulusal Toplantısı TOK 2013*, İnönü Üniversitesi, Malatya, 1226-1231.
- [7] Bedekar, P. P., Bhide, S. R., Kale, V. S., "Optimum Coordination of Overcurrent Relays in Distribution System Using Genetic Algorithm", *2009 Third International Conference on Power Systems*, Kharagpur, INDIA December 27-29, ICPS – 247, 2009.
- [8] Gürsu, B., "The Differences of Current-Time Characteristics in the Inverse-Time Overcurrent Relay Coordination at Substations: Hammersley Sequenced Genetic Algorithm Application", *7th International Advanced Technologies Symposium IATS 2013*, Yıldız Technical University, İstanbul, 30 October-1 November 2013, 728-733.
- [9] Birbil, Ş.I. and Fang, S.C., 2003. An electromagnetism-like mechanism for global optimization. *Journal of Global Optimization*, 25: 263-282.
- [10] IEC 255-3 International Standard, Electrical Relays Part-3: Single Input Energizing Quantity Measuring Relays with Dependent or Independent Time, 1989.