



**Derleme Makalesi / Review Paper**  
**YÜKSEK GERİLİM İLETİM SİSTEMLERİNDE KORUMA SİSTEMLERİ**  
**İÇİN GÜVENİLİRLİK DEĞERLENDİRMESİ ÜZERİNE BİR DERLEME**

**Ender GENÇAYDIN<sup>\*1</sup>, Muğdeşem TANRIÖVEN<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Siemens T&D, Enerji Sektörü, Güç Sistemleri İletimi Bölümü, Princess Road, Manchester-İNGİLTERE

<sup>2</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Esenler-İSTANBUL

Geliş/Received: 24.04.2013 Revised/Düzeltilme: 02.07.2013 Kabul/Accepted: 09.09.2013

---

**ÖZET**

Koruma mühendisliği elektrik güç sistemlerinde koruma sistemlerinin dizaynı ve işletmesiyle ilgilenen bir branştır. Amacı ise elektrik güç sistemleri üzerinde oluşabilecek arızaların etkisini minimuma indirmektir. Bu çalışmada güç sistemleri işletmesinde hayati önemi olan koruma sistemlerinde güvenilirlik değerlendirilmesi yapılmıştır. Koruma sistemleri, koruma sistemini oluşturan elemanlar hakkında genel bilgiler verilmiştir. Güvenilirliğin genel bir tanımı yapılmıştır. Koruma rölelerinin genel güvenilirlik modeli, durum uzayı modeli ve güvenilirlik indisleri verilmiştir. Son yıllarda koruma sistemleri güvenilirliği üzerine yapılan güncel çalışmalar sunulmuştur. Akım trafolarının koruma rölesi güvenilirliği üzerine etkisi ve seçim analizine dair sayısal bir uygulama incelenmiştir. Harmoniklerin koruma rölesi güvenilirliği üzerine etkisi elektromekanik, statik ve nümerik koruma röleleri için ayrı ayrı araştırılmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Güvenilirlik, koruma sistemleri, koruma rölesi, akım trafosu, harmonikler.

**A REVIEW ON RELIABILITY ASSESSMENT FOR PROTECTION SYSTEMS OF HIGH VOLTAGE TRANSMISSION SYSTEM**

**ABSTRACT**

Protection engineering is the branch of electrical power engineering concerned with the design and operation of protection systems. The purpose of protection system is to minimize the effects of faults on electrical power systems. In this study, reliability evaluation of protection systems which play vital role in maintaining power systems is done. General information about protection systems and the equipment that been consisted of protection systems are given; general definition of reliability is done; general reliability model of a protection relay, space state model of a protection relay and reliability indices of a protection relay is given; the studies which are related to reliability of protection systems that has been done in literature lately are presented; influence of current transformers on protection relay reliability and a numerical application which explains selection criteria of current transformers is investigated, influence of non-sinusoidal condition on protection relay reliability for electromechanical, static and numeric protection relays are looked into.

**Keywords:** Reliability, protection systems, protection relay, current transformer, harmonics.

---

\*Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: gencyaydin@hotmail.com, tel: (0044) 753 637 33 56

## 1. GİRİŞ

Bildiğimiz gibi, güç sisteminin güvenilirlik seviyesi güç sistem işletmesinde önemli etkisi olan koruma rölelerinin güvenilirliği ile yakından ilgilidir. Kuzey Amerika Güvenilirlik Konseyi raporları, güç dağıtım sistemlerinde meydana gelen arızalarda koruma sistemlerinin sıkça rol aldığını işaret etmektedir. Bu konsey tarafından 1984'den 1988'e kadar olan dönem için, raporlanan ve özetlenen önemli arızalar çalışması, başlıca arızaların %73,5'inde koruma rölelerinin bir şekilde yer aldığını belirtmektedir. Genel bir senaryo rölenin diğer olaylardan veya arızalardan dolayı, oluşan arızayı tespit edememesidir (gizli arıza). Örnek olarak yakın arızalar, aşırı yükler ve ters güç akışı koruma rölesini etkiler ve istenmeyen bir durum; yanlış bir açmaya neden olabilir. Saklı kalan ve tekrarlayan bu tür arızalar koruma sistemlerinde büyük arızalar oluşturabilir. 2003 Amerika Kanada sistem çöküşü, güç sistemlerinin güvenilirlik seviyesinin geliştirilmesinin büyük önemi olduğunu bize hatırlatmaktadır. Koruma rölelerinin güvenilirlik analizi, koruma rölelerinin arızalı ya da yanlış çalışmasının hesaplanmasıdır [1], [2], [3]. Bu çalışmada koruma sistemlerinde güvenilirlik değerlendirilmesi yapılmıştır. Ayrıca koruma rölelerinin güvenilirliğini etkileyen akım trafosu seçim analizi sayısal bir uygulamayla incelenmiş, harmoniklerin elektromekanik, statik ve nümerik koruma röleleri üzerine etkileri araştırılmıştır.

## 2. GÜÇ SİSTEMLERİNDE KORUMA MÜHENDİSLİĞİ

### 2.1. Koruma Mühendisliğinin Temel Görevleri

- Arızaları ve istenmeyen olağan dışı durumları tespit etmek ve arızalı bölgeyi mümkün olan en kısa sürede şebekeden ayırmak,
- Arıza noktasındaki hasarın boyutunu minimuma indirmek,
- Arızanın şebekenin geri kalanına etkisini minimuma indirmek,
- İşletmeci ve ekipman üzerindeki tehlikeyi minimuma indirmek,
- Kesinti süresinin boyutunu minimuma indirmek [4].

### 2.2. Koruma Sisteminden Beklenen Özellikler

- Güvenilirlik ve çalışabilirlik değerleri yüksek olmalıdır,
- Normal yük koşulları ile istenmeyen arıza koşullarını ayırt edebilir olmalıdır,
- Arıza oluşturmayan geçici durumlarda açma yapmamalıdır,
- Selektif olmalı ve diğer koruma sistemleri ile koordineli çalışmalıdır,
- Arızaları temizleme süresi yeterince hızlı ama selektiviteyi bozacak şekilde de çok hızlı olmamalıdır,
  - Kör nokta veya başka bir tabirle korumasız bölge olmamalıdır,
  - Ekonomik olmalıdır [4].

### 2.3. Koruma Sistemini Oluşturan Elemanlar

**Kesiciler:** Arızalı kısmı ayırır, arıza akımını keser.

**Koruma Röleleri:** Arızanın varlığını saptar ve kesiciye açma kumandası verir

**Akım ve Gerilim Transformatörleri:** Koruma rölelerini yüksek gerilimden izole eder, rölelerin düşük akım ve gerilimle çalışmasını sağlar, böylece personelin can güvenliğini sağlar.

Yukarıdaki temel elemanlardan başka; kesici kumanda devresini, sinyal ve alarm devresini besleyen akü bataryaları, yardımcı röleler, sinyal lambaları, sesli alarm cihazları (korna) vb. "yardımcı elemanlar" da koruma sistemlerinde yer alır [5].

### 3. GÜVENİLİRLİK

#### 3.1. Tanım

Matematiksel olarak ifade etmek gerekirse güvenilirlik, bir ürünün zaman sıfır iken sahip olduğu özelliklerinin, zaman sıfırdan farklı iken belirli koşullar altında ve belirli bir zaman aralığında hata vermeden çalışma olasılığıdır [6].

Koruma sistemlerinde güvenilirlik denildiğinde, bir koruma sisteminin hatasız olarak doğru çalışması, yanlış kesici açmalarına neden olmaması, arıza meydana geldiğinde çalışacağından emin olunabilmesi olarak açıklanabilir. Koruma sisteminin yanlış çalışma durumları aşağıdaki gibi özetlenebilir;

**Gereksiz açma:** Ortada arıza olmadığı halde rölenin açma kumandası vermesidir. Örneğin harmonikler rölelerin normal çalışma koşullarında gereksiz yere açma kumandası vermesine neden olabilir.

**Yanlış Açma:** Arıza durumunda rölenin yanlış ölçme yapması veya yanlış ayarlanması durumunda gerçekleşen seçici olmayan açma işlemidir.

**Açma Yapmama:** Arıza olduğu halde rölenin açma kumandası vermemesi, kesicinin ya da kesici kumanda devresinin arızalı veya çalışmamasıdır [5].

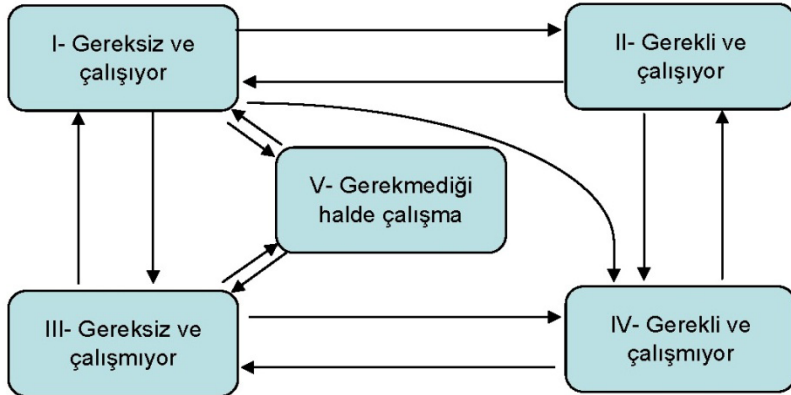
### 4. KORUMA SİSTEMLERİNDE GÜVENİLİRLİK DEĞERLENDİRMESİ

#### 4.1. Koruma Rölelerinde Güvenilirlik Analizi

Koruma sistemleri yüksek güvenilirliğe sahip işletme gerektiren günümüz güç sistemlerinde hayati önem taşımaktadır. Rölenin iki ana arıza modu, işlem arızası ve yanlış işlem yapmasıdır. Rölenin güvenilirliğinin değerlendirilmesi genellikle güvenilirlik ve güvenlik olarak iki ayrı beklenti ile yapılır. Güvenilirlik röle sisteminin doğru olarak çalışacağına olasılığı olarak tanımlanır. Başka bir ifadeyle, güvenilirlik rölenin ihtiyaç duyulduğunda düzgün olarak çalışabilme yetisidir. Güvenlik, rölenin bu durumlarda çalışmaması veya yanlış açma yapması ihtimali olarak tanımlanmaktadır. Güvenilirliği ve güvenliği sağlamak için, koruma sistemlerinde uygun test ve denetlemeler yapılmalıdır [3].

#### 4.1.1 Koruma Rölesinin Genel Güvenilirlik Modeli

Beş durumlu genel bir güvenilirlik modeli, iki ana röle arıza modunu varsayarak; (gerekğinde çalışmayan ya da gerekmediği halde çalışan) Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Bir koruma rölesinin güvenilirlik modeli [3].

Röleler servis ömrünün büyük bir kısmını enerjili fakat hareketsiz geçirmektedir. Rölenin sağlıklı çalışması durumunda işletme bileşenlerinin izlenmesi koruma alanı içerisinde. Bu durum Şekil 1’de **Durum I** “gereksiz ve çalışıyor” olarak belirtilmektedir. Çalışıyor terimi, rölenin çalışmaya hazır olduğu ve amaçlanan işlemi yerine getirebilecek kapasitede olduğunu ifade eder.

**Durum II**’deki “gerekli ve çalışıyor” terimi, rölenin gereken durumlarda sağlıklı çalıştığını belirtir. Bu durumda röle sağlıklıdır ve koruduğu ekipmanlarda herhangi bir arıza durumu olması halinde gerekli tepkiyi verir. Bu durumla bağıntılı olasılık rölenin güvenilirlik özelliğini temsil eder.

**Durum III**’deki “gereksiz ve çalışmıyor” terimi rölenin çalışmasına ihtiyaç duyulmayan ve rölenin sağlıklı çalışmamasını belirtir. Röleye ihtiyaç duyulmamaktadır çünkü bunu gerektiren bir durum oluşmamıştır. Röle arızalıdır çünkü ya rutin bakımdadır ya da kendi kendini kontrol durumundadır. Röle rutin bakımdayken, bir kısmı veya tamamı kendi kendini kontrol durumundayken röleye ihtiyaç gerektirecek bir olay oluşması halinde röle arızalı olmasa da çalışmayacaktır. Bu durum ‘korumanın çalışmaması’, olarak da tanımlanabilir.

**Durum IV** “gerekli ve çalışmıyor” rölenin istenen fonksiyonu yerine getiremediğini belirtir. Bu durum, rölenin ihtiyaç duyulması durumunda çalışmamasıdır (kullanılamaz). Bu durum ayrıca ‘anormal korumanın çalışmaması’ olarak da tanımlanabilir.

**Durum V**’de, “gereklemediğinde çalışma” rölenin ihtiyaç olmadığı halde çalışmasıdır. Bu durumun yüksek ihtimalle olması düşük röle güvenliğini ifade eder.

Durum III, IV ve V arızalı ve istenmeyen durumlar olarak düşünülür. Temel konu bu üç durumla ilgili olasılıkların minimize edilmesi ve durum I ve II’de belirtilen korumanın çalışmasının maksimize edilmesidir. Durum II ile ilgili olasılıkların arıza oranına ve izole edilen arızalı ekipmanın onarım zamanı ile ilişkili olduğu unutulmamalıdır. Bu basitleştirilmiş model birçok farklı röleye uygulanabilir, ayrıca bu çalışmada koruma rölelerinin güvenilirliğinin kendi kendini izleme ve kontrol fonksiyonu sayesinde artırılabilirliği kanıtlanmıştır [3].

## **4.2. Koruma Rölelerinin Optimum Test Aralıklarının Belirlenmesi**

### **4.2.1 Koruma Rölelerinin Güvenilirlik İndisi**

Bu çalışmada [2], Markov olasılık modeli kullanılarak koruma rölelerinin optimum test aralıkları elde edilmiş ve durum olasılıkları ile güvenilirlik indeksi hesaplanmıştır. İlave olarak, bu çalışmada arıza bilgi işleme sisteminin geniş çaplı bir sistemdeki etkili modelini ve koruma röle güvenilirliklerinin bu model ile değerlendirmesi amaçlanmıştır. Buna karşılık gelen yazılım hali hazırda Çin’deki gerçek sistem için geliştirilmiş ve uygulanmıştır.

Koruma rölelerinin güvenilirlik indisini elde edebilmek için, koruma rölelerinin farklı durumlarına net olarak sahip olmamız gereklidir bunlar; işletme durumu, bakım ve arıza durumudur.

Koruma röleleri işletmeye alındıktan sonra çalışma durumunda olurlar, röle koruma cihazları denetim fonksiyonunu doğru olarak yapmalıdır. Koruma elemanları arızalı olduğunda koruma röleleri, parametrelerin değişkenliğini zamanında tespit edebilmeli ve doğru olarak işlem yapmalıdır. Diğer taraftan, koruma elemanları düzgün çalışırken, herhangi bir işlemin aktif hale gelmemesi sağlanmalıdır. Yukarıdaki iki durum işletme durumunu kapsar. Benzer şekilde, iki ayrı arıza durumu mevcuttur bunlar; arızayı tespit edememe ve hatalı işlem durumudur. İşletme ve arıza durumlarının yanı sıra yılda bir ya da iki kez tekrarlanan bakım durumu söz konusudur ve bakım değişik günlerde birkaç saat süresince devam eder.

Alışılan güvenilirlik kavramını baz alarak, koruma rölelerinin işletme ve bakım süreleri üstel olarak dağıtılır ve koruma rölelerinin güvenilirlik indisi aşağıdaki gibi oluşturulur:

a)  $\lambda_{w1}$  $\lambda_{w1}$ , aşağıdaki denklemde verilen arızasız durumda hatalı işletme oranıdır.

$$\lambda_{w1} = \frac{n_{w1}}{T_0} \quad (1)$$

 $n_{w1}$  arızasız durumda hatalı işletme sayısı,  $T_0$  toplam işletme zamanıdır.b)  $\lambda_w$  $\lambda_w$  aşağıdaki denklemde verilen hatalı işletme oranıdır.

$$\lambda_w = \frac{n_{w1} + n_{w2}}{T_0} \quad (2)$$

 $n_{w2}$  selektif olmayan yanlış işletim işlem sayısıdır.c)  $\lambda_j$  $\lambda_j$ , aşağıdaki denklemde verilen açma yapamama, arızayı tespit edememe oranıdır.

$$\lambda_j = \frac{n_j}{T_0} \quad (3)$$

 $n_j$  açma yapamama işlem sayısıdır.d)  $\lambda_n$  $\lambda_n$  aşağıdaki denklemde verilen işletme arıza oranıdır.

$$\lambda_n = \lambda_w + \lambda_j = \frac{n_j + n_{w1} + n_{w2}}{T_0} \quad (4)$$

e) MTBF

MTBF (*Mean time between failures*) saat/yıl olarak verilen arızalar arası ortalama süreyi verir. Bununla ilgili aşağıdaki denklemlere sahibiz.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda_n} \quad (5)$$

f)  $\zeta_{ic}$  $\zeta_{ic}$  aşağıdaki denklemde verilen dahili arıza ile doğru işlem oranıdır.

$$\zeta_{ic} = \frac{n_{ic}}{T_0} \quad (6)$$

g)  $\zeta_{oc}$  $\zeta_{oc}$  aşağıdaki denklemde verilen harici arıza ile yanlış işlem oranıdır.

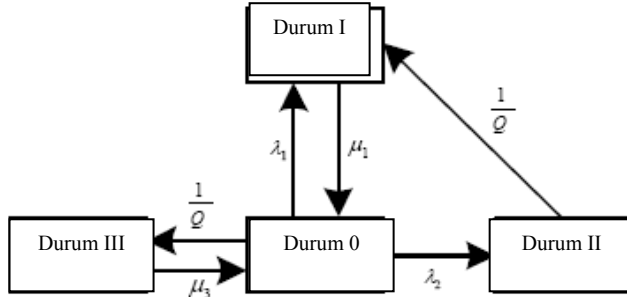
$$\zeta_{oc} = \frac{n_{oc}}{T_0} \quad (7)$$

h)  $\zeta_c$  $\zeta_c$  aşağıdaki denklemde verilen doğru işletim oranıdır [2].

$$\zeta_c = \zeta_{ic} + \zeta_{oc} = \frac{n_{ic} + n_{oc}}{T_0} \quad (8)$$

#### 4.2.2 Koruma Rölelerinin Durum Uzayı Modeli

Güvenilirlik analizi farklı metotlar ile tanımlanabilir, örnek olarak olasılık metodu, hata ağacı analitik metodu (Fault Tree Analysis-FTA), Markov analitik metodu vs. bildiğimiz gibi, koruma röleleri olasılık metodu uygulanamayan, onarılabılır sistemler olarak kullanılır. Bu nedenle koruma rölelerinin güvenilirliğinin değerlendirilmesi için burada Markov modelini kullanıyoruz. Bu metot uygulanırsa, ilk olarak Şekil 2’de gösterilen koruma rölelerinin durum uzayı modelini oluşturmalıyız.



**Şekil 2.** Bir koruma rölesinin durum uzayı modeli [2].

$\lambda_1$ , kendi kendine kontrol etme özelliği ile tespit edilen koruma röleleri arıza olasılığıdır.  $\lambda_2$ , kendi kendine kontrol etme özelliğiyle tespit edilemeyen koruma röleleri arıza olasılığıdır.  $Q$ , rutin test aralığıdır ve  $1/Q$  rutin testin geçiş oranı,  $\mu_1$  arıza kendi kendine kontrol özelliğiyle tespit edilirse onarım oranı,  $\mu_3$  rutin bakım onarım oranı,  $Q$  verilen saattir. Diğer tüm indisler olay/saat olarak verilmiştir.

Şekil 2’de verilen dört ifadenin açık anlamları şunlardır:

- Durum 0: İşletme durumu,
- Durum I: Kendi kendine kontrol özelliği ile tespit edilen arıza durumu,
- Durum II: Kendi kendine kontrol özelliği ile tespit edilmeyen arıza durumu,
- Durum III: Rutin test durumu.

Aşağıdaki kabullenmeleri baz alarak koruma röleleri güvenilirlik analizini yapabiliriz.

1. Rutin test durumu esnasında koruma rölelerinin arızaları tespit edilebilir.
2. Koruma röleleri bakım periyodundan sonra tüm fonksiyonlarını tekrar düzeltilebilir
3. Bakım periyodu süresince yeni bir arıza meydana gelmez.
4. Röle koruma cihazları bakım periyodu boyunca işletme dışı olmalıdır.

0’dan I’e geçiş, arızalar kendi kendine kontrol fonksiyonu ile tespit edilirse olur ve koruma rölesinin onarımı ile 0 durumuna tekrar döner. Eğer arıza kendi kendine kontrol özelliği ile tespit edilmez ise, sistem durum II’ye geçer, sadece rutin test veya cihazın hatalı çalışması durumu geçiş durumunu I’e geri çevirir. Durum III, rutin test durumudur, sistem durum 0’dan III’e rutin test periyodunda geçer ve rutin test bittiğinde geri dönüş yapar.

Durum uzayı modelinde tüm kararlı durumların olasılığını hesaplayabiliriz. Durum geçiş matrisi aşağıdaki gibi tanımlanmalıdır:

$$\begin{bmatrix}
 -\left(\lambda_1 + \lambda_2 + \frac{1}{Q}\right) & \lambda_1 & \lambda_2 & \frac{1}{Q} \\
 \mu_1 & -\mu_1 & 0 & 0 \\
 0 & \frac{1}{Q} & -\frac{1}{Q} & 0 \\
 \mu_3 & 0 & 0 & -\mu_3
 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Durgun durumlar matrisi:

$$P = [P_0 P_1 P_2 P_3] \quad (10)$$

dir.

Durum uzayı modeline göre; aşağıdaki iki denkleme sahibiz.

$$P_A = [P_0 P_1 P_2 P_3] \quad (11)$$

$$\sum_{i=0}^3 P_i = 1 \quad (12)$$

Son iki denklemi temel alarak, dört durumun olasılığını hesaplayabiliriz.

$$P_0 = \frac{\mu_1 \mu_3 Q}{\mu_1 + \mu_1 \mu_3 Q + \mu_3 Q (\lambda_1 + \lambda_2) + \mu_1 \mu_3 \lambda_2 Q^2} \quad (13)$$

$$P_1 = \frac{(\lambda_1 + \lambda_2) \mu_3 Q}{\mu_1 + \mu_1 \mu_3 Q + \mu_3 Q (\lambda_1 + \lambda_2) + \mu_1 \mu_3 \lambda_2 Q^2} \quad (14)$$

$$P_2 = \frac{\mu_1 \mu_3 \lambda_2}{\mu_1 + \mu_1 \mu_3 Q + \mu_3 Q (\lambda_1 + \lambda_2) + \mu_1 \mu_3 \lambda_2 Q^2} \quad (15)$$

$$P_3 = \frac{\mu_1 Q^2}{\mu_1 + \mu_1 \mu_3 Q + \mu_3 Q (\lambda_1 + \lambda_2) + \mu_1 \mu_3 \lambda_2 Q^2} \quad (16)$$

Koruma rölelerinin kullanılabilir (devrede) olması;

$$A = P_0 = \frac{\mu_1 \mu_2 Q}{\mu_1 + \mu_1 \mu_3 Q + \mu_3 Q (\lambda_1 + \lambda_2) + \mu_1 \mu_3 \lambda_2 Q^2} \quad (17)$$

Benzer şekilde rölenin devre dışı (kullanılmaz) olması (*Relun*)

$$\begin{aligned} Relun &= P_1 + P_2 + P_3 \\ &= 1 - P_0 \end{aligned} \quad (18)$$

$$= 1 - \frac{\mu_1 \mu_3 Q}{\mu_1 + \mu_1 \mu_3 Q + \mu_3 Q (\lambda_1 + \lambda_2) + \mu_1 \mu_3 \lambda_2 Q^2}$$

Son denklem relun ile Q arasındaki ilişkiyi gösterir. Bu denklemi baz alarak koruma röleleri optimum test aralığına karar verilebilir [2].

### 4.3. Hata Ağacı Yöntemi ile Koruma Güvenilirliğinin Değerlendirilmesi

Bu çalışmada [7], iletim şebekelerinde meydana gelen arızalardan sonra trafo merkezlerindeki koruma sistemlerinin güvenilirliğinin değerlendirilmesi için bir model oluşturulmuştur. Daha sonra komple bir iletim hattının güvenilirlik modelinin bir parçası olacak bu model, olayları ve hata ağaçlarını kullanmaktadır. Trafo merkezi güvenilirlik modeli kullanılarak yapılan farklı hat koruma sistemlerinin karşılaştırılması da bu çalışmada yer almaktadır.

Günümüzde, güç sistem planlanmasında ve işletilmesinde, şebeke ve işletme planları için daha fazla olasılıkçı ve daha az belirleyici metotlar kullanılmaktadır. Finlandiya iletim

sistemi operatörü Fingrid Oyj iletim şebekelerinin güvenilirlik analizi ve modellenmesi için bir araştırma projesine başlamış, sonuç trafo merkezi çalışmasını ve mümkün olan farklı arıza zincirlerinin her ikisini de hesaba katan bir model olacaktır.

Şebeke arızalarında, trafo merkezlerindeki koruma röleleri kesiciye açma sinyali gönderir ve kesici arızalı kısmı şebekenin diğer kısımlarında ayırmak için açma yapar. Kesiciler trafo merkezlerinde bulunmaktadır. Böylelikle güç sistemlerinin güvenlik analizlerinde trafo merkezleri de hesaba katılmalıdır. Ancak sadece birkaç araştırmacı, güç sistemlerinin güvenliği konularında çalışma yaparken mümkün olabilecek koruma ve kesici işlemlerini hesaba katmaktadır. Bu çalışmada [7], Finlandiya 400 kV şebeke koruması kısaca anlatılmış, güvenilirlik analizi için temel araçları tanımlanmış, geliştirilmiş trafo merkezi güvenilirlik modeli yapılmış ve sonuç olarak ta farklı koruma sistemlerini karşılaştırarak trafo merkezlerinin güvenilirlik uygulaması tartışılmıştır. Bir örnek olarak, iki farklı hat koruma sisteminin basit karşılaştırılması sunulmuştur. Olay ve hata ağacı modellemesi, şebeke arızalarından sonra trafo merkezlerindeki işlemlerin arıza olasılığının değerlendirilmesi için uygulanabilir. Tamamı 400 kV trafo merkezlerindeki arıza olasılıkları, farklı kritik arıza sonuçları ile birleşmiş ve böylece tüm iletim hattı için güvenilirlik indeksi araştırılmıştır.

#### **4.4. Güç Sistem Arızalarının Yapısı ve Önem Örnekleme**

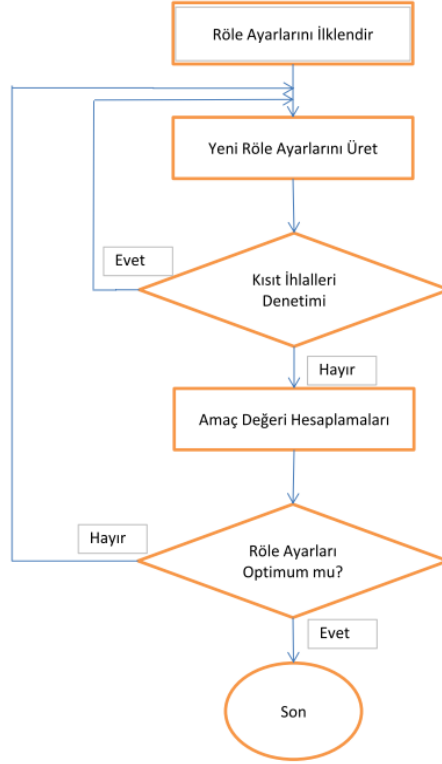
Röleler ve elektrik güç sistemleri için kullanılan koruma cihazlarındaki gizli arızalar kavramı, güç sistemi arızalarının ana nedenlerinden biri olarak düşünülebilir. Olasılığın tanımlanması, röle işlemlerinin önemli bir ögesidir ve sistem güvenilirliğinin artırılmasına yönelik röle arızalarında gizli arıza gibi olasılıkların azaltılması çalışmalarında “önem örnekleme” tekniği kullanılmaktadır. Daha fazla araştırılması gereken önem örnekleme tekniği, benzer problemlerin araştırılmasında yeni bir yaklaşım metodu sunmaktadır. Nümerik rölelerdeki kendi kendini izleme ve kendi kendini kontrol özelliklerinin başlıca büyük arızalar oluşmadan önce gizli arıza olasılığının azaltılması yönünde bir olanak sağladığı açıktır.

Kendi kendini kontrol ve kendi kendini izleme yetisi ile birlikte ayarların değiştirilmesi, kontrolün revize edilmesi ve mevcut durumdaki açma mantığı nitelikleri, güç dağıtım sistemlerinde peş peşe oluşan arızalara neden olan gizli arızaların azaltılması ve önlenmesinde potansiyel bir çözüm sunar [4].

#### **4.5. Akıllı Koordinasyon Yöntemi**

Bu çalışmada [8], koruma koordinasyonunda yapay zekâ uygulaması sunulmuştur. Bu yöntem ile koruma koordinasyonu büyük ölçüde iyileştirilebilir. Röle ayarları ve koordinasyon gereklilikleri, bir dizi kısıt denklemi ile formüle edilmiş ve “Zaman Koordinasyonu Yöntemi” (ZKY) ile röle ayarlarının yapılabilmesi için bir amaç fonksiyonu geliştirilmiştir. Maksimum koordinasyon kısıtları ile optimum röle ayarlarını bulmak için “Değiştirilmiş Evrimsel Programlama” (DEP) kullanılmıştır. Sonuçlar, akıllı koruma koordinasyonu yönteminin koruma ayarlarını optimize edebileceğini, röle koordinasyon hatalarını azaltabileceğini ve besleme güvenilirliğini artırabileceğini göstermektedir. Bu çalışmada [8], ayrıca ZKY'nin arıza akımı değişimlerini dikkate alma becerisi ele alınmıştır.





Şekil 3. Zaman koordinasyonu yöntemi [8].

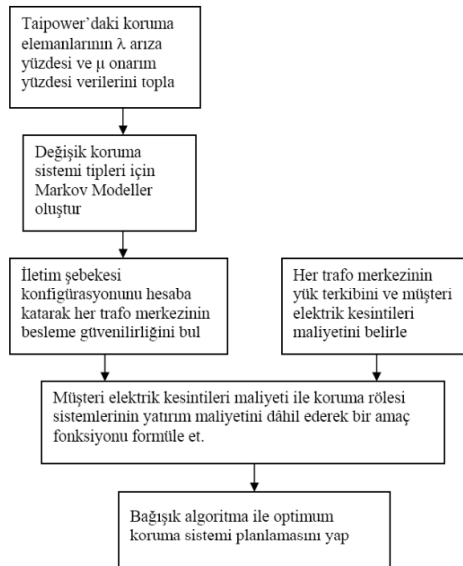
Modern bir koruma sistemi, sistem anormalliklerini hızla algılayıp izole etme işlevini gören değişik tip koruma rölelerinden oluşur. Değişik gerilim düzeyleri için, değişik güç teçhizatının tam korumasını sağlamak için değişik tertiplerde ana ve artçı röleler tesis edilir. Ana koruma rölesi, birim koruma ilkesine göre çalışarak korunan bölgedeki arızayı ani olarak temizler. Artçı koruma rölesi, ana koruma rölesinin arızayı gidermede başarısız olması durumunda korumaya artçılık yapmak için tasarlanır. Artçı koruma olarak genellikle aşırı akım röleleri kullanılır. Birim koruma olmadığı için, temizlenemeyen sistem arızası için rölelerin çalışma zamanlarıyla bir koordinasyon sağlanır ve artçı rölelerin doğru çalışma sırası bu koordinasyona göre belirlenir. Herhangi bir yanlış artçı koruma rölesi çalışması, besleme güvenilirliğinin azalmasına ve büyük bir bölgenin enerjisinin kesilmesine yol açar. Artçı koruma röle koordinasyonu bundan dolayı gereklidir. Röle koordinasyonu, arıza temizleme işlemlerinin doğru sırada olmasını sağlar ve elektrik kesintisini en aza indirir. Röle ayarlarını yapmak için, röle ayarlarının koordinasyonunu bir dizi kısıt denklemi ve bir amaç fonksiyonu olarak formüle eden ZKY önerilir. Dağıtım şebekesinde, esas artçı koruma röleleri Belli Minimumlu Ters Zaman Gecikmeli aşırı akım ve toprak arıza röleleridir. Bu rölelerin çalışması, arıza akımı büyüklüğüne bağlıdır. Bu yüzden, röle çalışması arıza akımı büyüklüğündeki değişimlerden etkilenir. Doğrusu, ancak ana koruma tarafından temizlenemeyen arızaların artçı röle çalışması ile temizlenmesidir. Herhangi bir kesici çalışması, artçı rölelerin maruz kaldığı arıza akımının dağılımı ve büyüklüğünde değişimlere yol açar. Performansı artırmak için, ZKY'nin makul sayıda arıza akımı değişimini hesaba katması gerekir. Bu çalışmada [8] ZKY'nin önemli ölçüde besleme güvenilirliğini nasıl artırdığı ve yanlış röle çalışmalarını nasıl azalttığı gösterilmiştir.

Sonuç olarak ZKY, koruma rölelerini daha akıllı ve sistem konfigürasyonuna daha uyumlu kılabilir. Besleme güvenilirliği, yanlış röle koordinasyonu sayısı azaltılarak iyileştirilebilir.

#### **4.6. Bağışık Algoritma ile Koruma Sistemi Güvenilirliğinin Arttırılması**

Bu çalışmanın [9] amacı, “Bağışık Algoritma” (BA) ile bir iletim şebekesi için koruma rölesi tiplerinin optimum planlamasının yapılmasıdır. Taipower’deki koruma rölesi tiplerinin her birinin arıza ve onarım yüzdelerinin belirlenmesi için, Taipower sistemindeki yanlış koruma rölesi çalışmalarının geçmiş verileri kullanılmıştır. Her trafo merkezi için yanlış koruma rölesi çalışması yüzünden maruz kalan müşteri elektrik kesintilerinin en aza indirilmesi için, koruma rölelerinin Markov modelleri belirlenip, bunlar iletim şebekesi ile birleştirilmiştir. Hizmet verilen müşterilerin yük ترکیbi ve elektrik kesintisi maliyetlerine göre, her trafo merkezinin hizmet dışı kalma maliyeti hesaplanmıştır. Daha sonra; tüm trafo merkezlerinin müşteri elektrik kesintileri maliyeti ve koruma rölesi sistemlerinin yatırım maliyeti dikkate alınarak sistem güvenilirlik maliyetinin amaç fonksiyonu formüle edilmiştir. Önerilen BA algoritması ile sistem güvenilirlik maliyeti en aza indirilerek, koruma rölesi yatırımlarının en iyi maliyet etkinliğini sağlamak için optimum koruma rölesi sistemi planlaması elde edilmiştir.

İletim şebekesinde arızalı bölgeyi belirleyip izole etmek için farklı tip koruma cihazları tesis edilmesine karşın, Taipower’da koruma sistemi yanlış çalışmaları yüzünden hâlâ büyük ölçekli sistem kesintileri yaşanmaktadır. Koruma röleleri, sistemdeki arızalı durumu algılamak ve arıza yerini mümkün olan en kısa sürede izole etmek için doğru kesicilerin çalışmasını sağlamalıdır. Koruma röleleri, yanlış çalışmayı önlemek için yeterince güvenilir olmalıdır. Bilgisayar teknolojisinin gelişmesi sayesinde, analog elektromekanik tip koruma röleleri nümerik tip rölelerle değiştirilmiştir.



**Şekil 4.** Optimum koruma rölesi planlama işlemi [9].

Koruma rölesi donanımının güvenilirliği, gerilim ve akım sinyalleşme algılayıcıları, iletişim birimleri ve hesaplama mantık birimi gibi farklı elemanların arıza yüzdeleri ve onarım süreleri ile değerlendirilebilir. Modern bir güç sisteminde, kritik müşterileri besleyecek iletim

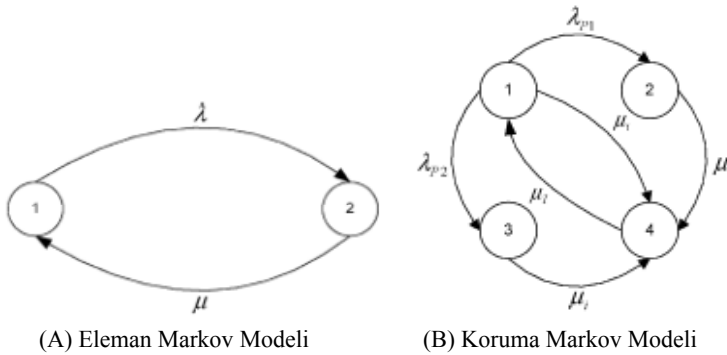
hatları için ana ve artçı koruma olarak çoklu koruma cihazı setleri tesis edilerek oldukça güvenilir bir koruma sisteminin sağlanması klasik bir uygulamadır. Koruma rölesi sisteminin yatırım maliyetinin etkinliği, müşterilerin elektrik kesintisi maliyetinin güvenilirliğine katkısına göre gerekçelenmelidir. Taipower sistemindeki koruma rölelerinin arıza olayları geçmiş verileri ve onarım süreleri, koruma sistemlerinin farklı elemanlarının arıza ve onarım yüzdelerini bulmak için kullanılmıştır. Taipower sisteminin iletim hattı korumaları için değişik koruma tertiplerinin güvenilirlik indislerini bulmak için, her koruma rölesi tipinin Markov modeli sağlanmıştır. Koruma rölelerinin yanlış çalışması yüzünden her bir trafo merkezinin hizmet dışı kalma oranı ve servise alınma süresi, iletim şebekesinin konfigürasyonuna ve kullanılan koruma rölelerine göre değerlendirilmiştir. Daha sonra, her trafo merkezinin müşteri elektrik kesintileri maliyeti, yük terki ve servis güvenilirliği hesaba katılarak hesaplanmıştır. Taipower sistemindeki tüm iletim hatlarının koruma tertiplerinin optimizasyonu için, koruma rölelerinin yatırım maliyeti ve müşteri elektrik kesintileri maliyeti hesaba katılarak sistem güvenilirlik maliyeti formüle edilmiştir. Sistem güvenilirlik maliyetini en aza indirmek için tüm iletim hatlarının koruma rölelerini revize etmek üzere BA kullanılmıştır. Amaç fonksiyonu antijen olarak ve olası koruma tertipleri antikorlar olarak gösterilerek, BA algoritmasının genetik değişim ve dönüşüm işlemi ile en iyi yarar maliyet oranına sahip optimum koruma tertibi elde edilmiştir. Koruma rölesi planlaması için önerilen BA algoritmasının etkinliğini göstermek amacıyla, bilgisayar simülasyonu için Taipower'daki Kaoping iletim sistemi seçilmiştir. Önerilen koruma tertipleriyle tüm trafo merkezlerinin servis güvenilirliğinin artırılması sayesinde müşteri elektrik kesintileri maliyetinin etkin biçimde düştüğü sonuç olarak görülmüştür.

#### **4.7. Bir Enterkonnekte Alt İletim Sisteminde Röle Koordinasyonu ve Koruma Arızalarının Güvenilirlik İndekslerine Etkileri**

Koruma sistemi arızaları, ardışık elektrik kesintilerinin ana sebebidir. Ardışık elektrik kesintilerine gizli arızaların yol açtığı kanıtlanmıştır. Ancak, koordinasyon yönteminin ve koruma sistemlerindeki gizli arızaların etkileri henüz araştırılmamıştır. Yönlü aşırı akım röleleri, bir ekonomik koruma sistemi olarak radyal ve ring alt iletim sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yönlü aşırı akım röleleri, esas olarak ring alt iletim sistemlerinin ana koruması olarak kullanılmaktadır. Bir sistemde yönlü röleler tesis edilirken gözetilecek en önemli husus, bunların temel koruma fonksiyonunun, hassasiyet, seçicilik, güvenilirlik ve hız gereksinimlerini karşılayacak şekilde uygun röle ayarlarının seçilmesidir.

Bu çalışmada [10], farklı aşırı akım rölesi koordinasyon yöntemlerinin sonuçları için güvenilirlik indekslerini hesaplamak amacıyla ardışık Monte Carlo simülasyonuna dayalı yeni bir algoritma önerilmiştir. Ayrıca, koruma sisteminin gizli arızaları dikkate alınmıştır. Sistem Ortalama Kesinti Sıklık İndeksi (System Average Interruption Frequency Index-SAIFI), Müşteri Ortalama Kesinti Sıklık İndeksi (Customer Average Interruption Frequency Index-CAIFI), Müşteri Ortalama Kesinti Süresi İndeksi (Customer Average Interruption Duration Index-CAIDI) ve Sağlanamayan Toplam Enerji İndeksi (Energy Not Supplied-ENS) hesaplanmıştır. Önerilen algoritmanın, tamamen koruma arızaları ve röle koordinasyon sorunlarının payına dayalı güvenilirlik indekslerini sağladığına dikkat edilmelidir. Buradan, röle koordinasyon yöntemlerinin güvenilirlik indekslerine etkileri elde edilmiştir.

İki temel Monte Carlo yaklaşımı vardır: ardışık ve ardışık olmayan simülasyon tekniği. Ardışık simülasyon tekniği, kronolojik etkenleri dâhil etmek için bir imkân sağlar. Bu yaklaşımda, güvenilirlik indeksli olasılık dağılımları hesaplanabilir. Arıza durumu geçişlerinin etkisi, ardışık olmayan yöntemde ihmal edilir.



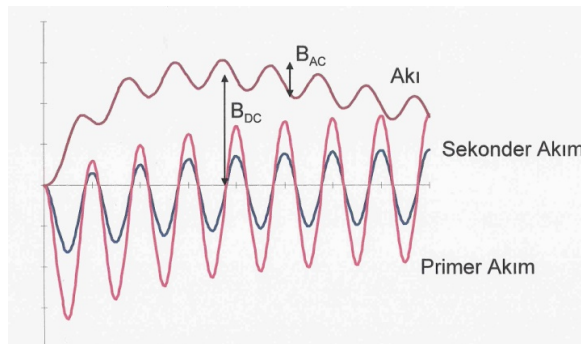
**Şekil 5.** Bir elemanın ve koruma sisteminin Markov modeli [10].

Ardışık Monte Carlo simülasyonuna dayalı olarak, iki farklı koordinasyon yönteminin sonuçlarını karşılaştırmak için bir algoritma önerilmiştir. Önerilen teknikte, iki farklı röle koordinasyon yönteminin sonuçları kullanılarak güvenilirlik indeksleri hesaplanmıştır. Algoritmada, hem gizli arızalar hem de koordinasyon yöntemi sonuçları dikkate alınmıştır. Bu algoritma, “maksimum yol” ve “çift tek yönlü” röle koordinasyonu yöntemlerinin sonuçlarını karşılaştırmak için gerçek bir örnek şebekeye (İngiltere Norweb şebekesine) uygulanmıştır. Bu çalışmada [10] sunulan örnek-olay incelemesi sonuçları, çift tek yönlü yöntemin maksimum yol yönteminden daha iyi olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, iki Markov modelin sonuçları arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Karşılaştırma, birleşik Markov modelinin kullanılmasının güvenilirlik indekslerinin hesaplanmasında önemli bir hataya yol açabileceğini göstermiştir.

#### 4.8. Akım Trafolarının Koruma Rölesi Güvenilirliğine Etkisi ve Akım Trafosu Seçim Analizi

Kısa devre akımındaki DC bileşen, akım trafosunun akısında büyük bir artışa neden olur. Kararlı akımlar sebebi ile doymaya girmeyen akım trafoları DC bileşenin etkisi ile kolaylıkla doymaya girebilir. Şekil 6’da DC bileşenin etkisi görülmektedir.

Bunun için koruma rölelerinin, hesaplamalarında kullanılan akım trafosunun bir kısa devre anında doğru ölçüm yapması çok önemlidir. Doğru seçilmeyen akım trafosu, kısa devre anında doymaya gidip mevcut akımı daha küçük görmesi, örneğin mesafe korumada yanlış empedans hesaplamalarına yol açması ve hatalı açmalara veya açma yapmamaya sebep olması sonuçlarını doğuracaktır. Ayrıca transformatör diferansiyel korumada ve aşırı akım korumada rölenin yanlış açma riski vardır.



**Şekil 6.** DC bileşenin etkisi [11].

Bunun için akım trafosunun kısa devre anında davranışını inceleyen programlar mevcuttur. Siemens firmasının ürettiği CTDIM programı kullanılarak örnek bir mesafe koruma sistemine ait akım trafosu incelenmiştir. Programa, sistem gerilimi, kısa devre akımı, akım trafosu nominal gücü, primer-sekonder akım değeri, kullanılacak rölenin tipi, akım trafosu koruma rölesi arasındaki mesafe ve iletkenin kesiti, ortam sıcaklığı, mesafe koruma rölesinin birinci açma bölgesinin yüzde değeri (%85) girilir. Program bu değerleri kullanarak sonucu yani akım trafosunun doğru seçilip seçilmediğini otomatik olarak söylemektedir. Bu sistemde 800/5A, 5P20, 60VA akım trafosu kullanılmıştır kısa devre akımı 12,8 kA dir. Örnek olması bakımından sisteme ait akım trafosu seçimi ile ilgili kontrol yapılmış ve sonraki sayfalarda ayrıntılı hesaplar program tarafından verilmiştir.

Hesaplara göre kısa devre sırasında aşağıdaki şartların sağlanması gerekmektedir:

$$K_{oalf} \geq 4 \times I_k / I_{pn} \quad (19)$$

$$K_{oalf} \geq 5 \times I_{k,lim} / I_{pn} \quad (20)$$

Eğer bu şartlar sağlanırsa kısa devre akımında DC bileşen bulunsa bile trafo  $T_p$  zaman sabiti süresince doymaya girmez.

$I_k$ : Koruma rölesinin bağlı olduğu akım trafosu üzerinden geçen max simetrik kısa devre akımı, 12,8 kA

$I_{pn}$ : Hattın bağlı olan akım trafosunun primer akım değeri, 800 A

$I_{k,lim}$ : Hattın birinci koruma bölgesindeki (%85) max simetrik limit kısa devre akımı, 8,723 kA

$K_{oalf}$ : Akım trafosunun sınır faktörü olup aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$K_{oalf} = K_{nalf} \times \frac{P_n + P_{CT}}{P_{total} + P_{CT}} \quad (21)$$

$K_{nalf}$ : Akım trafosunun aşırı akım faktörü, 5P20, 20

$P_n$ : Akım trafosunun nominal gücü, 60 VA

$P_{CT}$ : Akım trafosu içinde harcanan güç, 12,5 VA

$P_{total}$ : Akım trafosundan rölenin çektiği güç ( $P_{relay}$  : 0,3 VA) ve akım trafosuyla röle arasındaki kabloda kaybolan güç ( $P_{wire}$  : 8,317 VA ) toplam, 8,617 VA

Buna göre,

$$K_{oalf} = 20 \times \frac{60 + 12,5}{8,617 + 12,5} = 68,666$$

$$4 \times I_k / I_{pn} = 64$$

$$5 \times I_{k,lim} / I_{pn} = 54,517$$

$K_{oalf} = 68,666$  olduğu için akım trafosu doğru seçilmiştir.

Bu değerlerin sağlanamaması durumunda,

Akım trafosunun karakteristiği iyileştirilir.

Aşırı akım faktörü yükseltilir, 5P20 yerine 5P40

Nominal gücü yükseltilir, 60 VA yerine 80 VA

Dış ortam kayıpları azaltılır.

Akım trafosu ile röle arasındaki kablo kesiti büyütülür, 6 mm<sup>2</sup> yerine 10 mm<sup>2</sup>

Akım trafosunun sekonder akımı 5 A yerine 1 A kullanılabilir [11].

## **5. HARMONİKLER VE KORUMA RÖLESİ GÜVENİLİRLİĞİ ÜZERİNE ETKİLERİ**

Güç sistemlerinin korunmasında, koruma sisteminin temel elamanı ya da “beyni” olarak kabul edilen “koruma röleleri” üzerinde nonsinüsoidal büyüklüklerin etkileri, literatürde teorik ve deneysel olarak incelenmiştir [12], [14], [15], [16], [17], [18], [19].

Elektrik güç sistemlerindeki harmonikler aşırı akım rölelerin çalışmasını birçok yönden etkilemektedir. Bu etkiler aşırı akım rölelerinin çalışma akımlarının ve cevap sürelerinin artması veya azalması (rölelerin akım-zaman karakteristiklerinde değişmeler) şeklinde görülmektedir. Bu bölümde literatürde yer alan ve daha önce yapılmış çalışmalardan yararlanılarak harmoniklerin aşırı akım rölelerine olan etkileri incelenmiştir.

Akım ve gerilimin sıfır geçişlerine göre çalışan röleler, harmonik distorsiyonundan etkilenebilmektedir. Akım ve gerilim dalga formlarının bozulması, rölelerin performansını etkilemektedir. Her bir röle harmoniklerin sistemde bulunması karşısında farklı davranış biçimleri göstermektedir. Aynı tipte rölelerin farklı modelleri bile aynı distorsiyona değişik biçimde cevap verdiği gibi, bu durum aynı modellerde bile söz konusu olabilmektedir. Harmonikler, rölelerin arıza koşullarında çalışmamasına ya da sistemin normal çalışma koşullarında gereksiz yere açma kumandası vermesine neden olabilir. Bununla birlikte, röleler üzerinde yapılan incelemelerde, harmonik distorsiyonun %10-20 seviyelerine kadar bir işletme problemi oluşturmadığını gözleyen çalışmalar vardır. Fakat farklı bir çalışmada indüksiyon diskli aşırı akım rölesinin frekansı 3. harmonikten 9. harmoniğe kadar artırıldığında çalışma değeri artış göstermiştir.

Bilindiği gibi koruma sistemleri çoğunlukla temel gerilim ve akımlara göre tasarlanırlar. Olabilecek harmoniklerin süzülmesi veya ihmal edilebilir düzeyde olduğu kabul edilirse, elektromanyetik röle uygulamalarında (aşırı akım koruması gibi) yüksek harmoniklerin çok fazla etkinliğinin olmadığı söylenebilir. Ancak özellikle mesafe korumalarında, harmonik akımları (özellikle 3. harmonik bileşeni) büyük oranda ölçme değerlendirme hatalarına ve toprak rölelerinin hata yapmasına neden olabilmektedir. Nümerik mesafe koruma sistemlerinde, akım ve gerilim harmoniklerinin mutlaka filtre edilmesi gerekmektedir [13], [14].

### **5.1. Harmoniklerin Elektromekanik Koruma Röleleri Üzerine Etkisi**

Elektromekanik röleler harmonikli akımlar uygulandığında saf sinüsoidal akımlarda gösterdiği çalışma karakteristiğinden farklı bir karakteristik göstermektedir. Buna göre mekanik rölenin tipine bağlı olarak değişen yüzdelerde bu rölelerin işletme akımlarında azalma görülmektedir. Bu nedenle harmoniklerin elektromekanik aşırı akım rölelerine etkisi oldukça önemlidir [12].

Bir çalışmada harmoniklerin elektromekanik ters zamanlı aşırı akım rölesinin (TZAAR) çalışmasına etkileri incelenmiş ve TZAAR'nin bozulmuş dalga şekilleri için davranışı deneysel çalışma ile analiz edilmiştir. Deneyde, elektromekanik TZAAR olarak, indüksiyon disk yapısında bir röle kullanılmıştır. Değişik harmonik spektrumlarına sahip, sinüsoidal olmayan yük akımları TZAAR'a uygulanmış ve bu yük akımları data toplama kartı ve harmonik analiz programı ile bilgisayar ortamında incelenmiştir. Deney sonuçları gözönüne alındığında, TZAAR'ın çalışma akımı ve çalışma zamanının, sinüsoidal olmayan akımın toplam harmonik distorsiyonu (THD) ile orantılı olarak arttığı görülmüştür. Bu yapıda olan bir rölenin, akımın harmonik içermesi durumunda sistemi güvenli bir şekilde koruyamayacağı sonucu elde edilmiştir. Akımın dalga şeklindeki bozulma arttıkça, başka bir deyişle akımın THD<sub>i</sub> değeri yükseldikçe indüksiyon diskli aşırı akım rölesinin çalışma akım değerinin ve zaman gecikmesinin arttığı tespit edilmiştir. Sinüsoidal akım için tasarlanmış ve imal edilmiş olan bu röle akımın THD<sub>i</sub> değerinin %10'un altında olması durumunda uygulamada ciddi bir sorun oluşturmaz. THD<sub>i</sub> değerinin çok yüksek olduğu yük akımlarında ayarlandığı akım değerinden daha yüksek akımda devreye gireceği için güvenilir bir koruma gerçekleştirilmeyecektir [15].

Literatürde yapılan deneysel bir çalışmada elektromekanik aşırı akım koruma rölesinin, harmonikli ortamda nominal değerinden daha kısa sürede açma yaptığı tespit edilmiştir [16].

Trafo diferansiyel koruma için yapılan bir çalışmada, 3.harmonikli ortamda differansiyel koruma rölesinin yüksek harmonik değerlerinde açma yapmadığı tespit edilmiştir [17].

### **5.2. Harmoniklerin Statik Koruma Röleleri Üzerine Etkisi**

Genel olarak harmonikli akımlar uygulandığında, statik aşırı akım rölelerinin akım-zaman eğrisinin biçiminin değişmesiyle birlikte, harmonik bileşenleri içeren nonsinusoidal akımın efektif değeri aynı kalmak şartıyla, akımın toplam harmonik distorsiyonu (THD<sub>i</sub>) arttıkça (akımın dalga şekli bozulup sinüsoidal formdan saptıkça) rölenin kumanda zamanının azaldığı görülmektedir. Sonuç olarak da akımın THD<sub>i</sub> değeri yükseldikçe statik rölenin daha düşük akımda devreye girmesi, zaman gecikmesinin azalması, uygulamada gereksiz kesici açmalarına neden olacak ve koruma sistemlerinde seçiciliğin sağlanmasını zorlaştıracaktır [18].

Statik rölelere harmonikli akımlar uygulandığında rölelerin işletme akımlarında azalma görülmektedir. Bu azalmanın oranı rölenin tipine bağlı olarak değişmektedir. Bunun yanında literatürde yapılan bir çalışmada statik koruma rölesinin harmonikli ortamda 1.2-2I<sub>n</sub> nominal değerinde daha kısa sürede ve 2I<sub>n</sub> değerinden sonra ise daha uzun sürede açma yaptığı tespit edilmiştir [19].

### **5.3 Harmoniklerin Nümerik Koruma Röleleri Üzerine Etkisi**

Yapılan deneysel bir çalışma sonuçlarına göre, genel olarak nümerik aşırı akım rölesine uygulanan akımın toplam harmonik distorsiyonu (THD<sub>i</sub>) değeri yükseldikçe (50 Hz frekanslı temel bileşen akımına göre harmonik bileşenlerin genliği yükseldikçe) rölenin akım-zaman değişimini gösteren karakteristik eğrisinde değişim olduğu, rölenin standart ters eğrisine ve röleden geçen sinüsoidal akıma göre hesaplanan teorik cevap süresine göre rölenin deneydeki cevap süresinin arttığı ancak THD<sub>i</sub> değeri yaklaşık aynı kaldığında akım değeri yükseldikçe rölenin teorik cevap süresi ile rölenin deneydeki cevap süresi arasındaki bağıl farkın azaldığı görülmüştür. Bu nedenle bu röle için aşırı akım durumunda harmoniklerin röle üzerindeki etkisinin daha yüksek olduğu, kısa devre halinde (daha yüksek akımlar için) bu etkinin azaldığı yorumu yapılabilir [12].

## **6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER**

Koruma sistemleri bir güç sisteminin en kritik parçasıdır ve koruma sistemlerinin çalışma performansı güç sisteminin güvenliği ve güvenilirliği üzerinde direkt etkilidir.

Hata ağacı güvenilirlik hesaplama yönteminde olaylar genel arızalar olabilir, sistem temel kesitlemeleri kolaylıkla görülebilir, sistem arızaları kolaylıkla anlaşılabilir ve detaylar eklenebilir. Bunun yanında modeller statiktir, bekleme durumları incelenemez ve öncelikler belirlenemez. Markov güvenilirlik hesaplama yöntemi ise, esneklik sağlar, kompleks senaryoların modellenmesine olanak sağlar, duruma bağlı geçiş olasılıkları bulunabilir, tamir edilebilir, öncelikli ve yük paylaşımli karmaşık sistemleri modellemede kullanılır. Bunun yanında modeller daha zordur, anlaşılması daha zordur ve hesaplama zamanı uzun sürebilir.

Önem örnekleme tekniğiyle nümerik rölelerde, kendi kendini izleme ve kendi kendini kontrol etme özellikleri sayesinde rölelerin arızaya karışma ihtimali ve gizli arızaların azaltılması mümkündür.

Koruma rölelerinin güvenilirliğinin değerlendirilmesi için durum uzayı analitik metodu kullanılarak, tüm durgun durum olasılıkları ve geçici olasılık durumları belirlenebilir bununla birlikte arıza bilgi işleme merkezindeki bilgiler de kullanılarak, rutin test aralığı etkisi ve rölenin kullanılabilir olmasını tanımlayan bir formül ile koruma röleleri için optimum test aralıkları tespit edilebilir. Rutin test aralıkları uzun olursa, koruma rölelerinin güvenilirliği sağlanamaz. Diğer bir

tarafından bu aralık oldukça küçük olursa, yani bakım aralıkları çok sık olursa koruma rölelerinin normal işletimleri dolayısıyla besleme güvenilirliği olumsuz yönde etkilenir.

Koruma rölelerinin kendi kendini kontrol ve izleme ile besleme güvenilirliğinin önemli derecede geliştirilmesini işaret eden sonuçlar bulunmuştur. Bu özellikler, alışagelik rutin röle bakım aralıklarının geliştirilmesinde de faydalıdır. Nümerik koruma rölelerinde, koruma rölelerinin kendi kendini kontrol ve kendi kendini izleme yetisi sayesinde koruma rölesinin arızalanması veya DC yardımcı beslemesinin kaybedilmesi durumunda, koruma rölesinden alınan yardımcı kontak vasıtasıyla dışarıya ihbar verilerek hızlı müdahale ile sistem güvenilirliği artırılabilir. Zira elektromekanik koruma rölesinin, fonksiyonunu doğru yerine getirip getiremediği ancak periyodik testlerle anlaşılabilir.

Koruma rölelerinin koordinasyonunda yapay zekâ uygulaması ile koruma koordinasyonu iyileştirilebilir. Bu yöntem ile koruma ayarlarının optimize edilebilmesi, röle koordinasyonu hatalarının azaltılabilmesi ve besleme güvenilirliğinin artırabilmesi mümkündür. Koruma rölelerinde kullanılacak, koordinasyon ayarları tüm arıza olasılıkları (3 faz, 1 faz, 2 faz) dikkate alınarak bitişik hatlardaki arıza akımları değişimleri dikkate alınarak bilgisayar yazılımları ile doğru analizler sonucunda belirlenmelidir.

Bağışık Algoritma ile bir iletim şebekesi için koruma rölesi tertiplerinin optimum planlaması yapılabilir. Yine bu yöntem ile sistem güvenilirlik maliyeti en aza indirilerek, koruma rölesi yatırımlarının en iyi maliyet etkinliğini sağlamak için optimum koruma rölesi sistemi planlaması elde edilebilir. Elektromekanik ve statik koruma röleleri yerine günümüzde mikroişlemciyle donatılmış yeni jenerasyon nümerik koruma rölelerinin kullanımı sistem güvenilirliği açısından avantaj sağlamaktadır. Bir çalışmaya göre nümerik koruma rölelerinin yıllık kullanılabilirlik indeksi, elektromekanik koruma rölesinden iki kat daha iyidir, bunun yanında bir hat fideri için iki adet nümerik mesafe koruma rölesi ile bir adet elektromekanik mesafe koruma ve bir adet elektromekanik diferansiyel koruma rölesinden oluşan sistem karşılaştırılmıştır. Nümerik sistemin yıllık arıza indeksi 0,16/yıl iken, elektromekanik sistem 2/yıl ile oldukça kötüdür.

Klasik röle koordinasyon yöntemlerinde, sadece röle çalışma zamanının en aza düşürülmesi dikkate alınır. Ancak, ENS güvenilirlik indeksi hesaplanarak, röle koordinasyon yöntemlerinin sonuçlarının farklı yük kesintilerini nasıl etkilediği bilinebilir. Güvenilirlik değerlendirmesinde gizli arızalar ve röle koordinasyonu sonuçları değerlendirmeye dâhil edilmelidir. Daha yüksek bir doğruluk elde etmek için, Monte Carlo simülasyonunda ardışık olmayan simülasyon yerine ardışık olanı kullanılmalıdır. Ardışık simülasyonda daha doğru sonuçları elde etmek için, koruma ve eleman Markov modelleri birbirinden ayrılmalıdır.

Koruma rölelerinin performansını direkt etkileyen akım trafoları, her koruma fonksiyonu için ayrı ayrı olmak üzere ilgili bilgisayar yazılımları yardımıyla DC bileşenin de etkileri dikkate alınarak, doğru analizler sonucunda seçilmelidir.

Elektromekanik, statik ve nümerik koruma röleleri üzerinde yapılan deneysel çalışmalarda koruma rölelerinin harmonikli ortamda ayarlanan değerinden daha erken açması veya geç açması söz konusudur. Fakat nümerik koruma rölelerinde kullanılan harmonik filtreler sayesinde koruma rölelerinin harmonik etkilerden daha az etkilendiği söylenebilir.

## **KAYNAKLAR / REFERENCES**

- [1] Phadke, A.G., Throp J.S., Horowitz S.H., Tamronglank, S. (1998). "Anatomy of Power System Disturbances: Importance Sampling", Elsevier, Electrical Power & Energy Systems Vol. 20, 2: 147-152.
- [2] Wang, C., Xu, Z., Zheng, S. (2007). "Reliability Analysis of Protective Relays in Fault Information Processing System in China", IEEE Transactions on Power Systems, 1-4244-0493-2: 06.



- [3] Billinton, R., Firuzabad, M.F., Sidhu T.S. (2002). "Determination of the Optimum Routine Test and Self-Checking Intervals in Protective Relaying Using a Reliability Model", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 17, 3: 663-669
- [4] BPI, (2004). Principles of Power System Protection, No:1, Colchester.
- [5] Yumurtacı, R., (1995). Elektrik Güç Sistemlerinde Hatların Mesafe Röleleri ile Korunması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] Akçay, E., (2007). Enerji İletim Sistemlerinde Güvenilirlik Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [7] Pottonen, L., Pulkkinen, U., Koskinen, M., (2004). "A Method For Evaluation The Reliability of Protection", The Institution of Electrical Engineers, 299-302.
- [8] So, C. W., Li, K. K., (2004). "Intelligent Method for Protection Coordination", IEEE International Conference on Electric Utility Deregulation, Restructuring and Power Technologies, April 2004, Hong Kong.
- [9] Tsai, C. T., Chen, C. S., Lin, C. H., Kang, M. S., (2006). "The Enhancement of Protective System Reliability with Immune Algorithm" IEEE 9th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems, 11-15 June 2006, Stockholm.
- [10] Mazlumî, K., Abyaneh, H. A., (2009). "Relay Coordination and Protection Failure Effects On Reliability Indices In an Interconnected Sub-Transmission System" Electric Power Systems Research, Science Direct Elsevier, 79: 1011-1017.
- [11] Gençaydın, E., (2006). Enerji İletim Hatlarının Nümerik Mesafe Koruma Röleleri ile Korunması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [12] Akbaba, S., (2008). Harmoniklerin Dijital Aşırı Akım Röleleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [13] Kocatepe, C., Uzunoğlu, M., Yumurtacı, R., Karakaş, A., Arıkan, O. (2003). Elektrik Tesislerinde Harmonikler, Birinci Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [14] İnan, A., Attar, F., (1997). Güç Sistemlerinde Harmoniklerin Etkileri ve Bir Harmonik Kontrol Kartı Modeli, Kaynak Elektrik Dergisi, Sayı: 98, İstanbul.
- [15] Yumurtacı, R., Bozkurt, A., Dalcı, B. (2005). "Harmonic Effects on Electromechanical Overcurrent Relays", Doğu Üniversitesi Dergisi, 6: 202-209, İstanbul.
- [16] Donohue, P. M., Islam, S. M. (2009). "The Effect of Non-Sinusoidal Current Waveforms on Electro-Mechanical & Solid State Overcurrent Relay Operation", IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, 4-8 October 2009, Houston.
- [17] Ho, J.M., Liu, C.C., (2001). "The Effects of Harmonics on Differential Relay for a Transformer", IEEE Electricity Distribution 16th International Conference and Exhibition, 18-21 June 2001, Amsterdam.
- [18] Bozkurt, A., (2005). Harmoniklerin Aşırı Akım Röleleri Üzerine Etkisinin Yapay Sinir Ağları Destekli Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [19] Masoum, M.A.S., Islam, S.M., Tan, K., Xuan, T.N. (2007). "Impact of Harmonics on Tripping Time of Overcurrent Relays", IEEE Power Engineering Conference, AUPEC 2007, Australasian Universities, 9-12 December 2007, Perth.

***Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Makaleleri***  
/  
***Metallurgical and Materials Engineering Articles***