

## Yüksek gerilim kablolarında oluşan kılıf akımının yapay sinir ağı tabanlı melez yöntemlerle tahmin uygulamaları

### Forecasting applications of the sheath current of high voltage cable with artificial neural network based hybrid methods

Bahadır AKBAL<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye.  
bakbal@selcuk.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 14.01.2016, Kabul Tarihi/Accepted: 27.06.2016

\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2016.84669

Araştırma Makalesi/Research Article

#### Öz

Kılıf akımı yüksek gerilim yeraltı kablolu hatlarda arızalara ve elektrik çarpmalarına neden olmaktadır. Ayrıca kabloda ek ısı meydana getirerek kablonun akım taşıma kapasitesini düşürür. Kılıf akımını düşürmek için farklı önlemler alınabilir. Fakat en uygun önlemin alınabilmesi için öncelikle hatta oluşacak kılıf akımının, hat daha kurulmadan proje aşamasında belirlenmesi gerekir. Bu çalışmada yeni kurulacak olan bir yüksek gerilim yeraltı kablolu hattın kılıf akımı, yapay sinir ağı ile parçacık sürü optimizasyonu, inertia ağırlıklı parçacık sürü optimizasyonu ve genetik algoritma kullanılarak oluşturulan melez yöntemler ile tahmin edilmiştir. Yapay sinir ağı tabanlı melez yöntemlerin eğitimi için PSCAD/EMTDC programında modeli oluşturulan yüksek gerilim yeraltı kablolu hattın benzetimlerinden elde edilen veriler kullanılmıştır. Çalışmalar sonunda melez yöntemlerin yapay sinir ağına göre doğruluk bakımından üstünlük sağladığı görülmüştür. Melez yöntemlerin sonuçları kendi içlerinde karşılaştırıldığında ise inertia ağırlıklı parçacık sürü optimizasyonu ile yapay sinir ağı kullanımı sonucu elde edilen melez yöntem sonuçlarının diğer yöntemlere göre üstün olduğu görülmüştür. Böylece önerilen yöntem ile yüksek gerilim yeraltı kablolu hattın kılıf akımı proje aşamasında tespit edilecek ve kılıf akımının düşürülmesi için en uygun önlemler uygulanarak arızaların ve elektrik çarpmaların önüne geçildiği gibi kablo performansı da artırılabilecektir.

**Anahtar kelimeler:** Yüksek gerilim yeraltı kablosu, Yapay sinir ağı, Optimizasyon yöntemleri, Kılıf akımı, Melez yöntemler

#### Abstract

The sheath current causes cable faults and electroshock risk in high voltage underground cable lines. Also the sheath current increases cable temperature and it reduces cable ampacity. Hence, cable performance decreases due to the sheath current. Different precautions can be taken to reduce the sheath current effects in high voltage underground cable line. However, primarily the sheath current must be detected at the project phase of high voltage underground cable line. In literature, artificial neural networks are used for forecasting studies. In this study, artificial neural network (ANN) is used with particle swarm optimization, particle swarm optimization with inertia weight and genetic algorithm to generate hybrid ANN methods for forecasting of the sheath current. High voltage underground cable line is modeled in PSCAD/EMTDC to measure the sheath current of different high voltage underground lines, and the obtained data from PSCAD/EMTDC are used to train artificial neural network based hybrid methods to forecast the sheath current of any high voltage underground cable line. When particle swarm optimization with inertia weight is used with artificial neural network, hybrid ANN-iPSO method is developed. The results of ANN-iPSO are better than the results of ANN-GA and ANN-PSO. If ANN-iPSO is used to determine the sheath current, the sheath current of high voltage underground cable line can be determined at the project phase of high voltage underground cable line. Hence, the most suitable precautions can be implemented, and cable faults and electroshock risk can be prevented, also cable performance is increased in high voltage underground cable line.

**Keywords:** High voltage underground cable, Artificial neural network, Optimization methods, The sheath current, Hybrid methods

## 1 Giriş

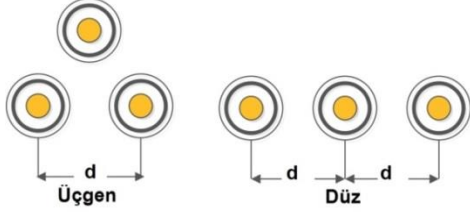
Elektrik enerjisinin iletiminde ve dağıtımında havai hatlar ile yüksek gerilim yeraltı kablolu hatlar kullanılmaktadır. Yüksek gerilim yeraltı kabloları yalıtımlı olduğundan dolayı havai hatlara göre daha güvenlidir. Fakat havai hatların maliyeti daha düşük olduğundan dolayı tercih sebebidir. Son yıllardaki nüfus artışından ve şehirlere olan göçün artmasından dolayı şehir merkezlerindeki yapılaşma artmıştır. Bu yüzden havai hatlar, yapılara ve insanların yaşam alanlarına yakın yapılmaktadır. Buda istenmeyen kısa devrelere ve elektrik çarpmalarına neden olmaktadır. Bu türlü durumları engellemek için şehir merkezlerinde ve yapılaşmanın sık olduğu bölgelerde havai hatlar yeraltı kablolu hatlara dönüştürülmektedir.

Yüksek gerilim yeraltı kablolarının yalıtımı genellikle XLPE (Çapraz bağlı polietilen) yalıtkanı ile yapılmaktadır ve XLPE yalıtkanı, kılıf ve zırh ile korunmaktadır. Fakat XLPE yalıtkanını korumak için kullanılan metal malzeme üzerinde kılıf akımı

oluşmaktadır. Kılıf akımı kabloda ek ısı oluşturarak kablonun akım taşıma kapasitesini yani performansını düşürmekte aynı zamanda XLPE yalıtkanından kaynaklanan arızalara neden olmaktadır. Ayrıca kılıf akımı zırh üzerinde gerilim indükler ve bu gerilim seviyesinin 50 V olan dokunma gerilimini aşması durumunda elektrik çarpması riski oluşturmaktadır. Bu türlü durumların engellenmesi için gereken önlemlerin alınması gerekmektedir. Fakat genellikle bu tür önlemler ya bir elektrik çarpması veya ciddi bir arızadan sonra alınmaktadır. Eğer yüksek gerilim yeraltı kablolu hat kurulmadan yani proje aşamasında iken oluşabilecek kılıf akımı belirlenebilirse, bu istenmeyen olaylar yaşanmaz. Böylece yüksek gerilim yeraltı kablolu hattın güvenlik seviyesi ve verimi artırılmış olur. Kılıf akımının belirlenebilmesi için öncelikle bu akımın oluşumu ve bunu etkileyen faktörlerin bilinmesi gerekir.

Kılıf akımının oluşmasındaki en önemli etken dengesiz yük akımıdır [1]. Dengesiz yük akımının artışı kılıf akımını da artırmaktadır. Yeraltı kabloların tesisindeki geometrisi de kılıf akımı etkileyen diğer bir faktördür. Yüksek gerilim yeraltı

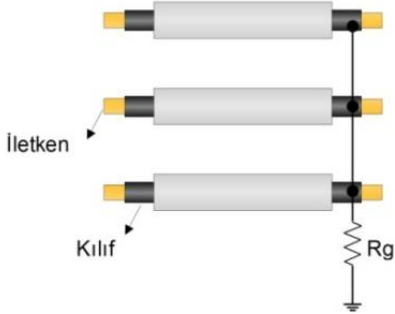
kablolari kanallar veya borularin içerisine yerleştirilerek tesis edilirler ve kablolar yerleştirilirken de üçgen veya düz tertip kullanilir. Bu kablo tertibatları Şekil 1'de gösterilmektedir. Kablolunun gen veya düz tertipte olması kılıf akımının miktarını etkilemektedir [2],[3]. Yüksek gerilim kablolu hatlar için genellikle kablo kanalı kullanılmaktadır. Bu yüzden de genellikle düz tertip kullanılır.



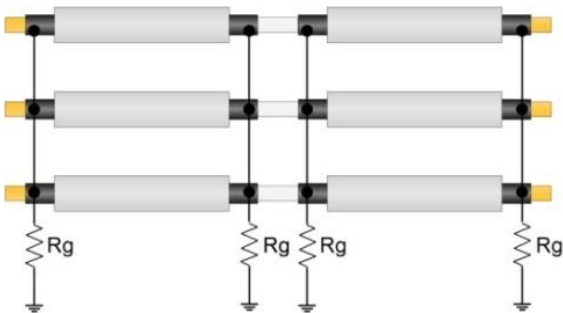
Şekil 1: Kablo tertibatları.

Yüksek gerilim kablolarında kılıf akımının yanında eddy ve histerezis kayıpları da oluşmaktadır. Fakat oluşan bu kayıplar kılıf akımına göre çok daha küçük olduğu için genellikle ihmal edilirler [4].

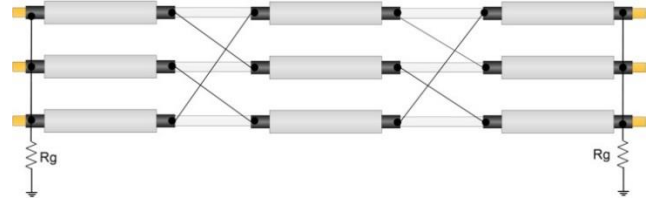
Kılıf akımından dolayı kılıf gerilimi de artmaktadır. Bu yüzden elektrik apılma riski oluşmaktadır. Kılıf akımını ve gerilimini düşürmek için yüksek gerilim kabloları topraklanmaktadır. Kablolar tek taraflı, çift taraflı ve aprazlama Şeklinde bir direnç üzerinden veya doğrudan toprak direnci üzerinden topraklanmaktadır [5]-[8]. Bu direnç değeri kılıf akımının değerini değiştirir ve kılıf akımının düşürülmesinde önemlidir [9],[10]. Bazı durumlarda sadece toprak geçiş direnci yeterli olurken bazı durumlarda ise toprak geçiş direncine ek dirençler veya toprak geçiş direncini artıracak işlemler yapılır. Tek taraflı, çift taraflı ve çapraz topraklama yöntemleri sıra ile Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'te gösterilmektedir. Kılıf akımının miktarına göre kablolunun topraklama Őekli değişir.



Şekil 2: Tek taraflı topraklama.



Şekil 3: Çift taraflı topraklama.



Şekil 4: Çapraz topraklama.

Grldğu gibi kılıf akımının oluşumunda ve değerinin değişiminde birçok etken vardır. Bu yüzden kılıf akımının formülünün çıkarılması zor ve karmaşıktır. Bunun yerine kılıf akımını belirlemek için tahmin yöntemleri kullanılabilir.

Yapay sinir ağları (YSA) en güçlü tahmin yöntemlerinden birisidir ve birçok alanda kullanılmaktadır [11]-[18]. YSA ile tahmin işlemi yapılmadan önce YSA'nın eğitilmesi gereklidir. YSA'nın eğitimi sonucunda eğitim hatası bulunur. Eğitim hatası ne kadar düşükse tahmin doğruluğu da o kadar yüksektir. YSA'nın eğitiminde bulanık mantık ve optimizasyon yöntemleri de kullanılmaktadır.

Bulanık mantık, karar verme ve kontrol problemlerinin çözümünde kullanılan güçlü yöntemlerden birisidir [19]. Bulanık mantıkta problemin çözümü için uzman görüşü ve kural tabanları kullanılmaktadır. Bu yüzden bulanık mantık YSA'nın eğitiminde kullanılırsa uzman görüşü ve kurallar gereklidir [20]. Eğer uzman görüşü ve kurallar iyi belirlenemezse hassas sonuçlar elde edilemez. Optimizasyon yöntemlerinde uzman görüşü ve kurallar gerekli değildir. Bu yüzden optimizasyon yöntemlerinin kullanılması bir avantajdır. YSA'nın eğitiminde en çok kullanılan evrimsel hesaplama yöntemleri Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) ve Genetik Algoritma (GA)'dır [20]-[24].

Bu çalışmada, yeni kurulacak bir yüksek gerilim yeraltı kablolu hattın kılıf akımının belirlenmesi için YSA tabanlı melez yöntemler kullanılmıştır. Öncelikle yüksek gerilim kablosu PSCAD/EMTDC benzetim programında modellenmiş ve enerji iletimi için kurulan kablo hattının benzetimleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar YSA'nın eğitiminde kullanılmıştır. YSA'nın eğitim ve test hatalarını düşürmek için de PSO, GA ve inertia ağrılıklı PSO kullanılarak elde edilen melez YSA yöntemleri ile kılıf akımı tahmin edilmiştir.

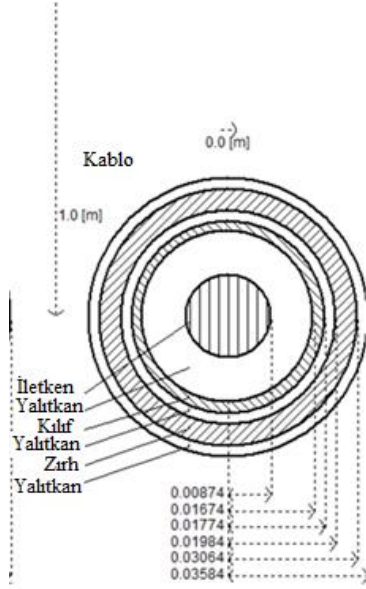
Makalenin geri kalanında, Materyal ve Yöntem bölümünde YSA'nın yapısı, PSO, inertia ağrılıklı PSO ve GA'nın kısaca anlatımı yapılmıştır. Melez yöntemlerin nasıl oluşturulduğu hakkında bilgiler verilmiştir. Bulgular ve Tartışma bölümünde ise YSA ile PSO, GA ve inertia ağrılıklı PSO yöntemlerinin kullanılmasıyla oluşturulan melez yöntemler ile kılıf akımının tahmin sonuçları karşılaştırılmış ve bu problemin çözümü için hangi yöntemin en uygun olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar bölümünde ise ana problemin nasıl zldğu ve literatüre olan katkısı belirtilmiştir.

## 2 Materyal ve yöntem

Bu çalışmada yeni kurulacak bir hattın kılıf akımının proje aşamasında belirlenebilmesi için YSA tabanlı melez yöntemler kullanılmıştır. Fakat YSA'nın eğitimi için bir veri bankası oluşturulmalıdır. Bu yüzden öncelikle yüksek gerilim yeraltı kablosu PSCAD/EMTDC benzetim programında modellenmiştir. Modellenen kablo Şekil 5'te gösterilmektedir.

Dengesiz faz akımı ( $I_{UB}$ ), kablolunun uzunluğu ( $L$ ), fazlara ait kablolar arası mesafe ( $d$ ), topraklama direnci ( $R_g$ ) kılıf akımının oluşumunda ve değerinin değişiminde en etkili etkenlerdir. Bu

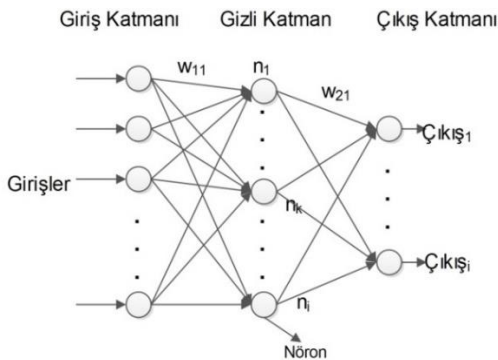
etkenlere farklı değerler verilerek 140 değişik yüksek gerilim yeraltı kablolu hatlar oluşturulmuş ve oluşturulan bu hatların kılıf akımları PSCAD/EMTDC programında ölçülmüştür. Kılıf akımını oluşturan etkenlerin değerleri YSA'nın eğitimi için girişleri, PSCAD/EMTDC'de ölçülen kılıf akımı değerleri ise YSA'nın çıkışları için istenen değerleri oluşturmaktadır. İstenen değerler ile tahmin edilen değerler kullanılarak melez yöntemler için eğitim ve test hataları hesaplanmıştır.



Şekil 5: PSCAD programında modellenen yüksek gerilim yeraltı kablosu.

## 2.1 Yapay sinir ağları

YSA insan öğrenmesine dayalı bir algoritma olup genellikle sınıflama ve tahmin işlemlerinde kullanılmaktadır [25]. YSA'da öğrenme işlemi matematiksel bir modele dayanmaktadır. YSA giriş, gizli ve çıkış katmanı olmak üzere 3 temel katmandan oluşmaktadır ve en temel elemanı nörondur. YSA'nın temel yapısı Şekil 6'da gösterilmektedir.

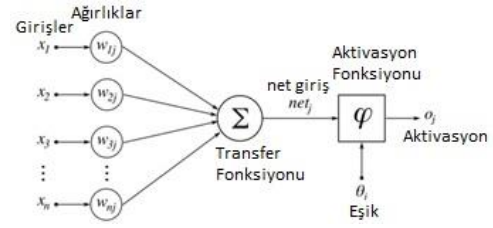


Şekil 6: YSA'nın temel yapısı.

Nöronlar diğer nöronlardan gelen sinyalleri toplayabilmektedir ve bir nöronun çalışması denklem (1) ile yapılmaktadır.

$$y_i = f_i \left( \sum_{j=1}^n w_{ij} \times x_j + b_i \right) \quad (1)$$

Burada,  $x_j$  giriş,  $w_{ij}$  ağırlık,  $b_i$  bias,  $f_i$  transfer fonksiyonu ve  $y_i$  de nöronun çıkışıdır. Bir nöronun çalışması Şekil 7'de gösterilmektedir.



Şekil 7: Nöronun çalışması.

Burada,  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_i$  her bir eğitim verisi için girişler ve  $O_j$  her bir eğitim verisi için çıkıştır. Giriş katmanında YSA'nın eğitimi için gerekli olan girişler bulunmaktadır. Gizli katmanda nöronlar bulunmaktadır. Gizli katman sayısı ve nöron sayısı problemin zorluk derecesine göre değişebilir. Çıkış katmanında ise tahmin edilen çıkışlar bulunmaktadır. Her bir eğitim verisi için çıkışlar bulunduktan sonra istenen çıkış verileri ile eğitim hatası hesaplanır. Eğitim hatası genellikle en küçük kareler toplamı (Mean Square Error, MSE) ile bulunmaktadır. MSE, denklem (2)'de gösterilmektedir.

$$E(t) = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^n (p(j) - o(j))^2 \quad (2)$$

Burada,  $E(t)$  eğitim hatası,  $p(j)$  j. giriş için gerçek yani istenen çıkış değeri,  $o(j)$  j. giriş için tahmin edilen çıkış değeridir. Bu hata değeri, sonucun daha hassas olması için minimize edilmelidir. Bu yüzden ağırlıklar güncellenir ve yeni ağırlıklara göre her bir yeni giriş değeri için yeni çıkışlar hesaplanarak MSE değeri düşürülmeye çalışılır. Geleneksel perceptron YSA eğitimi yönteminde ağırlıkları güncellemek için denklem (3), (4) ve (5) kullanılır.

$$w_i(t+1) = w_i(t) + \Delta w_i(t) \quad (3)$$

$$\Delta w_i(t) = \eta \times e(t) \times x_i(t) \quad (4)$$

$$e(t) = p(i) - o(i) \quad (5)$$

Bazı durumlarda denklem (3), (4) ve (5) ile yapılan güncellemelerde hatayı minimize etmek için eğitim verisi sayısı iterasyon sayısı, gizli katman sayısı ve nöron sayısının artırılması gerekir. Literatürde ağırlıkları güncellemek ve MSE değerinin minimizasyonunu yapmak için optimizasyon yöntemleri kullanılmaktadır. En çok kullanılan evrimsel hesaplama optimizasyon yöntemleri genetik algoritma ve parçacık sürü optimizasyonudur.

## 2.2 Genetik algoritma

GA en güçlü optimizasyon algoritmalarından birisidir ve elektrik mühendisliğinde farklı optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır [26],[27]. Genetik algortmada işlemler doğada olduğu gibi rasgele yapılmaktadır. Değişkenler genlerle ve değişkenlerin bir araya getirildiği aday çözümler ise kromozomlarla ifade edilmektedir. Kromozomlar genlerden oluşmakta ve her bir gen bir değişkeni temsil etmektedir. Bir kromozom  $Cr1 = (g11, g12, g13, \dots, g1D)$  şeklinde ifade edilir. Genetik algortmada kromozomlar arasındaki çeşitlilik çaprazlama ve mutasyon operatörleri ile gerçekleştirilir. Genetik algortmanın çalışması aşağıdaki maddeler ile sıralanmıştır;

1. Rasgele kromozom popülasyonu oluşturulur,
2. Her bir kromozom için amaç fonksiyonu değeri hesaplanır. Bu çalışmada her bir kromozom YSA'nın ağırlıklarından oluşmaktadır. Yani genler ağırlıklardır. Bu ağırlıklar giriş eğitim verileri ile kullanılarak her bir giriş değeri için bir çıkış değeri hesaplanır. Her bir giriş için bir çıkış hesaplandıktan sonra gerçek çıkış değerleri ile MSE değeri hesaplanır ve o kromozomun uygunluk değeri hesaplanmış olur. Sonra popülasyonda bulunan her kromozom için aynı işlem yapılır,
3. Kromozomların uygunluk değerleri hesaplandıktan sonra seçim işlemine geçilir. Bu çalışmada seçim için turnuva seçim yöntemi kullanılmıştır. Amaç fonksiyonunun uygunluk değeri iyi olan kromozomlar çaprazlama için seçilirler,
4. Çaprazlama işleminde öncelikle bir çaprazlama oranı belirlenir. Turnuva seçimi sonrası seçilen her bir kromozom çifti için rasgele  $[0, 1]$  arasında bir sayı üretilir. Eğer bu sayı çaprazlama oranından küçükse bu çift çaprazlamaya tabi tutulur. Gerçek değerli sayılar kullanıldığında çaprazlama denklem (6) ile yapılır. Burada kromozom çifti  $Pm = (P1, P2, P3, \dots, Pmn)$  ve  $Pf = (P1, P2, P3, \dots, Pfn)$  şeklinde ifade edilir.  $\beta$  sıfır ile 1 arasında rasgele bir sayıdır. Böylece yeni kromozom ( $C_{yeni}$ ) oluşturulur,
$$C_{yeni} = \beta \times Pm + (1 - \beta) \times Pf \quad (6)$$
5. Çaprazlama işleminden sonra mutasyon işlemine geçilir. Mutasyon işleminde öncelikle bir mutasyon oranı belirlenir. Rasgele olarak belirlenen kromozomun bir geni için bir sayı üretilir eğer bu sayı mutasyon oranından küçükse bu gen mutasyon işlemine tabii tutulur. Bu çalışmada gen için rasgele bir sayı üretilir ve yeni değeri bu olur.

Mutasyon işleminden sonra yeni popülasyon üretilmiş olur. MSE değeri istenen değerde veya maksimum iterasyon sayısına ulaşıldıysa algoritma durdurulur aksi halde 2 ile 5 arasındaki işlemler tekrarlanır.

### 2.3 Parçacık sürü optimizasyonu

PSO doğadaki sürü zekasına dayanan en güçlü optimizasyon algoritmalarından birisidir ve birçok alanda kullanılmaktadır [28]. PSO'da bireyler (aday çözümler) parçacık olarak adlandırılmaktadırlar. Her bir parçacığın bir konumu ve hızı vardır. Hız ve konum bilgisine göre parçacıkların güncellemeleri yapılarak arama uzayında en uygun çözüm araştırılmaktadır. i. parçacığın konumu  $Xi = (xi1, xi2, xi3, \dots, xiD)$  şeklinde ve hızı da  $Vi = (vi1, vi2, vi3, \dots, viD)$  şeklinde gösterilir. Burada ayrıca her bir parçacığın bir hafızası vardır. Buna  $p_{best}$  değeri denilir. İlk iterasyonda parçacığın uygunluk değeri hesaplandıktan sonra bu değer saklanır. Bir sonraki iterasyondaki uygunluk değeri bu değerle karşılaştırılır ve hangi değer iyi ise  $p_{best}$  değeri o olur. Bu işlem bütün parçacıklar için yapılır ve bir  $p_{best}$  kümesi oluşturulur. Bundan sonraki iterasyonlarda da parçacığın uygunluk değeri  $p_{best}$  değeri ile karşılaştırılır ve iyi olan değer  $p_{best}$  olarak belirlenir. Popülasyondaki tüm parçacıkların  $p_{best}$  değerleri bu şekilde belirlendikten sonra ve  $p_{best}$  değerleri içinden en iyi olanı o iterasyon için  $g_{best}$  olarak

belirlenir. Parçacıkların hızı ve konumu bu  $g_{best}$  değerine göre güncellenir. Parçacığın hızı denklem (7) ile konumu da denklem (8) ile güncellenmektedir [29],[30].

$$v_{id}(t+1) = v_{id}(t) + c_1 \times r_1 \times (pbest_{id} - x_{id}) + c_2 \times r_2 (gbest_{id} - x_{id}) \quad (7)$$

$$x_{id}(t+1) = x_{id}(t) + v_{id}(t+1) \quad (8)$$

Burada,  $r_1$  ve  $r_2$  0 ile 1 arasında rasgele sayılardır.  $c_1$  ve  $c_2$  ise öğrenme katsayılarıdır. Bu katsayıların toplamı genellikle 4 olarak alınır. PSO'nun çalışması aşağıdaki maddelerle kısaca açıklanmıştır.

1. Rasgele parçacık popülasyonu oluşturulur. Bu çalışmada parçacık YSA'nın ağırlıklardan oluşmaktadır,
2. Her bir parçacığın uygunluk değeri hesaplanarak  $p_{best}$  değerleri oluşturulur. İlk iterasyonda her bir parçacığın  $p_{best}$  değeri ilk uygunluk değerine eşittir. Bu çalışmada amaç fonksiyonu olarak MSE değeri hesaplanır,
3.  $p_{best}$  değerleri içinden en iyi değerli parçacık seçilir ve bu  $g_{best}$  olarak belirlenir,
4.  $g_{best}$  değerine göre parçacıkların hızı ve konumları güncellenerek uygunluk değerleri amaç fonksiyonu ile hesaplanır.  $p_{best}$  ve  $g_{best}$  değerleri belirlenir.

Eğer iterasyon sayısı maksimumsa veya istenen amaç fonksiyonu değeri elde edildi ise algoritma durdurulur. Aksi halde 2 ile 4 arasındaki işlemlere devam edilir.

Bazı durumlarda PSO istenen sonuçları vermeyebilir. Bu durumda PSO'nun verimini artırmak için bir inertia ağırlığı belirlenir. Ayrıca bazı durumlarda hız ve konum sınırları aşılırsa inertia ağırlığı hız ve konumu sınırlamak içinde kullanılır. İntertia ağırlığı denklem (9) ile hesaplanmaktadır [31].

$$w(t) = \frac{(T_{max} - t) \times (w_{start} - w_{end})}{T_{max}} + w_{end} \quad (9)$$

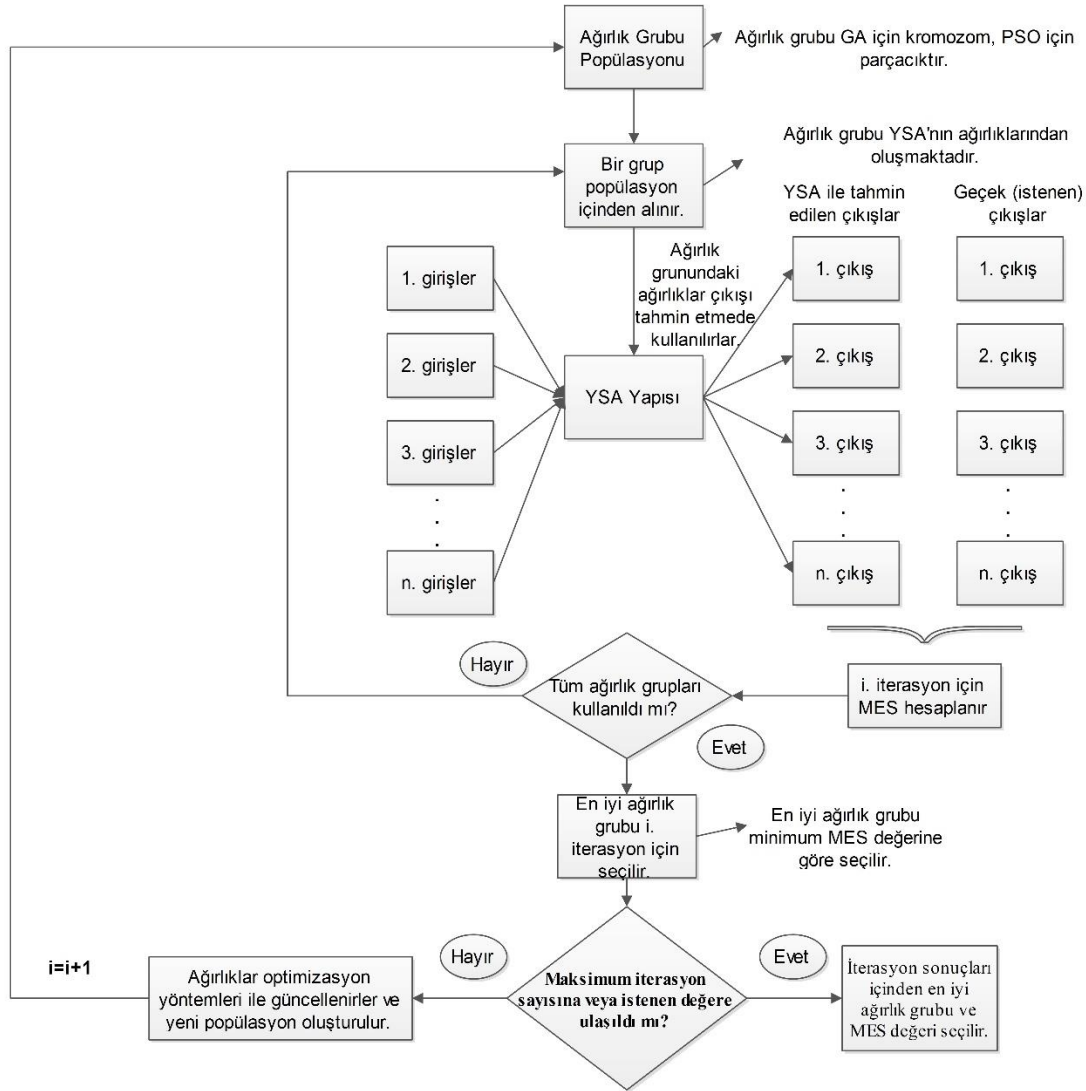
Burada,  $T_{max}$  maksimum iterasyon sayısı,  $t$  anlık iterasyon sayısı,  $w_{start}$  inertia ağırlığı için başlangıç değeri,  $w_{end}$  inertia ağırlığı için son değerdir. İntertia ağırlığı ile hesaplanan hız denklem (10)'da, güncellenen konum ise denklem (11)'de gösterilmektedir [31]. Burada, inertia ağırlığı hızı sınırlayarak sürünün optimum yolu bulmasına yardımcı olmaktadır. Aksi halde sürünün hızı aşırı artar ve optimum çözümden uzaklaşılır.

$$v_{id}(t+1) = w \times v_{id}(t) + c_1 \times r_1 \times (pbest_{id} - x_{id}) + c_2 \times r_2 (gbest_{id} - x_{id}) \quad (10)$$

$$x_{id}(t+1) = x_{id}(t) + v_{id}(t+1) \quad (11)$$

### 2.4 Melez yapay sinir ağı

Klasik YSA yönteminde ağırlıkların güncellenmesi için denklem (3), (4) ve (5) kullanılmaktadır. Bu çalışmadaki melez YSA yöntemlerinde ise ağırlıklar optimizasyon yöntemleri kullanılarak güncellenmiş ve PSO, GA ve inertia ağırlıklı PSO optimizasyon yöntemleri olarak kullanılmıştır. Melez YSA yöntemi Şekil 8'de özetlenmiştir.



Şekil 8: Melez yapay sinir ağı yönteminin uygulamasının kısa gösterimi.

### 3 Bulgular ve tartışma

Bu çalışmada yüksek gerilim kablolarında oluşan kılıf akımlarını melez YSA yöntemleri ile tahmin etmek için YSA ile 3 optimizasyon yöntemi ayrı ayrı birleştirilmiş ve böylece farklı 3 yöntem elde edilmiştir. Bu yöntemlerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Optimizasyon yöntemleri için popülasyon boyutu 50 ve iterasyon sayısı 100 olarak belirlenmiştir.  $c_1$  ve  $c_2$  katsayıları PSO ve iPSO için 2 olarak, genetik algoritma için çaprazlama oranı 0.7, mutasyon oranı 0.01 olarak belirlenmiştir. Ayrıca iPSO'da inertia ağırlığını hesaplamak için  $w_{start}$  0.9 ve  $w_{end}$  0.4 olarak belirlenmiştir. YSA mimarisinde 3 gizli katman ve her gizli katmanda 5 nöron bulunmaktadır. Transfer fonksiyonu olarak da doğrusal fonksiyon seçilmiştir. Çalışmada başka bir YSA mimarisi kullanılmamıştır. Optimizasyon yöntemleri ile YSA'nın eğitiminde 140 ayrı kablolu hat oluşturulmuş ve 140 ayrı veri ile eğitim işlemi sonucunda edilen en uygun ağırlıklar tahmin işleminde kullanılmış ve algoritmaların tahmin hataları bulunmuştur. Çalışmada eğitim ve test işlemleri 10 kez tekrarlanmış ve ortalama hata değerleri hesaplanmıştır. En uygun ağırlıklar minimum eğitim hataları ile elde edilmiştir. Burada YSA'nın

ortalama eğitim hatası 5.2846, PSO-YSA yönteminin ortalama eğitim hatası 0.2099, inertia ağırlıklı PSO-YSA yönteminin ortalama eğitim hatası 0.1314, GA-YSA yönteminin ortalama eğitim hatası 0.2026'dır. Tablo 1'de tahmin için kullanılan veriler ve bu verilere göre PSCAD/EMTDC programında ölçülen kılıf akımının gerçek değerleri gösterilmektedir. Ayrıca, Tablo 1'de  $I_{UB}$  dengesiz yük akımını, L kablo uzunluğunu, d fazlar arası mesafeyi,  $R_g$  topraklama direncini  $I_{KG}$  gerçek kılıf akımını göstermektedir.

Tablo 1'de PSCAD/EMTDC programında 11 ayrı hat için kılıf akımı ölçülmüştür. Bu hatlar için önerilen yöntemlerle kılıf akımları tahmin edilmiş ve Tablo 2 oluşturulmuştur. Tablo 2'de PSO-YSA, iPSO-YSA ve GA-YSA ile tahmin edilen kılıf akımlarının ortalama değerleri ( $I_{KT}$ ) ve PSCAD/EMTDC'de ölçülen gerçek kılıf akımları ( $I_{KG}$ ) gösterilmektedir. YSA, PSO-YSA, iPSO-YSA ve GA-YSA yöntemlerinin tahmin hatalarının ortalama değeri sıra ile 5.7100, 0.5258, 0.2513, 0.4396'dır. Eğitim hataları, tahmin hataları ve Tablo 2'deki sonuçlar karşılaştırıldığında melez yöntemlerin klasik YSA'ya göre doğruluklarının daha yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 1: Kılıf akımının melez yöntemlerle tahmini için kullanılan veriler.

	$I_{UB}$	L	d	$R_g$	$I_{KG}$
1. Durum	224.63	500	0.1	10	3.30
2. Durum	224.63	500	0.1	40	1.08
3. Durum	224.63	500	0.5	9	4.42
4. Durum	224.63	250	0.5	6	3.34
5. Durum	464.12	250	0.5	10	4.48
6. Durum	464.12	400	0.1	35	2.20
7. Durum	464.12	700	0.1	40	3.32
8. Durum	464.12	500	0.5	35	2.54
9. Durum	464.12	500	0.5	40	1.97
10. Durum	464.12	1000	0.5	50	3.48
11. Durum	224.63	1000	0.1	50	1.71

Tablo 2: YSA ve melez YSA yöntemleri ile tahmin edilen kılıf akımlarının ortalama değerleri.

	$I_{KG}$ (A)	$I_{KT}$ (A)			
		iPSO- YSA	PSO- YSA	GA-YSA	YSA
1. Durum	3.30	4.78	4.22	4.48	8.604
2. Durum	1.08	1.22	3.76	3.57	8.604
3. Durum	4.42	4.89	4.23	4.49	8.605
4. Durum	3.34	3.46	3.52	4.18	8.605
5. Durum	4.48	4.31	2.41	3.30	8.606
6. Durum	2.20	2.42	2.48	2.81	8.604
7. Durum	3.32	3.97	3.32	3.13	8.604
8. Durum	2.54	3.13	2.78	2.94	8.604
9. Durum	1.97	2.54	2.71	2.79	8.604
10. Durum	3.48	4.93	4.07	3.28	8.604
11. Durum	1.71	3.60	5.13	4.06	8.605

Melez yöntemlerin eğitim hatası, tahmin hatası ve Tablo 2'de gösterilen kılıf akımı tahminleri karşılaştırıldığında inertia ağırlıklı PSO'nun sonuçlarının diğer yöntemlerden daha hassas olduğu görülmektedir.

Örneğin 1x95 mm<sup>2</sup> kesitli XLPE yalıtımlı bir yüksek gerilim kablosu 31.5 kV gerilim altında 9. durumdaki hat özelliklerine sahip ise bu hatta oluşabilecek kılıf akımı iPSO ile 1.94 A olarak tahmin edilir. Gerçekte ise 9. duruma ait kılıf akımı 1.97 A'dır. Görüldüğü üzere iPSO ile hassas bir tahmin yapılmıştır. Bundan sonra bu akımı düşürmek için bobin veya direnç kullanılabilir [32]. Fakat bazı durumlarda bu direnç veya bobin üzerindeki gerilim dokunma gerilimini aşabilir. Bu durumda da en uygun topraklama yöntemi ile kılıf gerilimi de dokunma geriliminin altına düşürülebilir. Yani buradan anlaşılıyor ki öncelikle oluşabilecek kılıf akımının hat kurulmadan önce yüksek doğrulukta belirlenmesi gerekir. Bu çalışmada önerilen melez iPSO-YSA yöntemi ile yüksek gerilim yeraltı kablolu hattın kılıf akımı proje aşamasındayken belirlenebilir. Böylece hat

kurulmadan önce gereken önlemler alınarak oluşabilecek arızalar ve elektrik çarpması riski önenebilir.

#### 4 Sonuç

Yüksek gerilim yeraltı kablolarının metal muhafazasında meydana gelen kılıf akımı kabloların verimini düşürmekle beraber sık sık arızalanmalarına da neden olmaktadır. Ayrıca kılıf gerilimini yükselterek elektrik çarpması riski oluşturmaktadır. Kılıf akımı ve gerilimini düşürmek için birçok yöntem vardır. Fakat önemli olan kılıf akımını hat kurulmadan önce belirleyerek bu önlemleri hattın yapımı aşamasında almaktır. Bu çalışmada herhangi bir yüksek gerilim kablolu hattın kılıf akımı YSA tabanlı melez yöntemlerin kullanılmasıyla tahmin edilmiştir. YSA ile PSO, inertia ağırlıklı PSO ve GA kullanılarak tahmin yapılmıştır. Bu yöntemlerin sonuçları karşılaştırıldığında ise inertia ağırlıklı PSO'nun YSA ile kullanılmasıyla oluşturulan melez yöntemin sonuçlarının diğer yöntemlerden üstün olduğu görülmüştür. Bu çalışma sayesinde herhangi bir yüksek gerilim yeraltı kablolu hattın kılıf akımı hat proje aşamasında iken belirlenerek gerekli önlemler alınabilecektir. Böylece kablo arızaları ve istenmeyen elektrik çarpması olayları uygun önlemlerin alınmasıyla engellenecektir.

#### 5 Kaynaklar

- [1] Jung CK, Lee JB, Kang JW. "Sheath circulating current analysis of a cross-bonded power cable systems". *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 2(3), 320-328, 2007.
- [2] Gouda OE, Farag AA. "Factors affecting the sheath losses in single-core underground power cables with two-points bonding method". *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2(1), 7-16, 2012.
- [3] Ruiz JR, Morera XA. "Effects of the circulating sheath currents in the magnetic field generated by an underground power line". *International Conference on Renewable Energies and Power Quality*, Palma, Mallorca, 5-7 April 2006.
- [4] Moutassem W, Anders GJ. "Calculation of the eddy current and hysteresis losses in sheathed cables inside a steel pipe". *IEEE Transactions on Power Delivery*, 25(4), 2054-2063, 2010.
- [5] Benato R. "Multiconductor analysis of underground power transmission systems: EHV AC cables". *Electric Power Systems Research*, 79(1), 27-38, 2009.
- [6] Ruiz JR, Garcia A, Morera XA. "Circulating sheath currents in flat formation underground power lines. 2007 International Conference on Renewable Energies and Power Quality, Sevilla, Spain, 28-30 March 2007.
- [7] Zhonglei L, Du BX, Wang L, Yang C, Liu HJ. "The calculation of circulating current for the single-core cables in smart grid". *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies-Asia*, Tianjin, China, 21-24 May 2012.
- [8] Czapp S, Dobrzynski K, Klucznik J, Lubosny Z. "Calculation of induced sheath voltages in power cables-single circuit system versus double circuit system". *Journal of Information, Control and Management Systems*, 12(2), 113-123, 2014.
- [9] Gouramanis KV, Kaloudas CG, Papadopoulos TA, Papagiannis GK, Stasinou EK. "Sheath voltage calculations in long medium voltage power cables". *IEEE 2011 Trondheim Power Tech*, Trondheim, Norway, 19-23 June 2011.

- [10] Jung CK, Lee JB, Kang JW, Wang XH, Song YH. "Sheath current characteristic and its reduction on underground power cable systems". *IEEE 2005 Power Engineering Society General Meeting*, San Francisco, USA, 12-16 June 2005.
- [11] Charytoniuk W, Chen MS. "Very short-term load forecasting using artificial neural networks". *IEEE Transactions on Power Systems*, 15(1), 263-268, 2000.
- [12] Achanta R. "Long term electric load forecasting using neural networks and support vector machines". *International Journal of Computer Science and Technology*, 3(1), 266-269, 2012.
- [13] Weigerta T, Tianb Q, Lianb Q. "State-of-charge prediction of batteries and battery-supercapacitor hybrids using artificial neural networks". *Journal of Power Sources*, 196(8), 4061-4066, 2011.
- [14] Caner M, Üstün SV. "Yapay sinir ağları ile konuşmacı kimliğini tanıma uygulaması". *PAÜ Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(2), 279-284, 2006.
- [15] Özkaya N, Sarıkaya Ş. "Otomatik parmak izi tanıma sistemlerinde özellik noktalarının tespitinde yapay sinir ağlarının kullanılması". *PAÜ Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(1), 91-101, 2007.
- [16] Toktaş İ, Aktürk N. "Yapay sinir ağları tabanlı silindirik düz dişli çark tasarımı". *PAÜ Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(3), 387-395, 2007.
- [17] Bayındır R, Sesveren Ö. "YSA tabanlı sistemler için görsel bir arayüz tasarımı". *PAÜ Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(1), 101-109, 2008.
- [18] Eroğlu H, Aydın M. "Optimization of electrical power transmission lines' routing using AHP, fuzzy AHP and GIS". *Turk Journal Electrical Engineering and Computer Sciences*, 23(5), 1418-1430, 2015.
- [19] Çevik HH, Çunkaş M. "Short-term load forecasting using fuzzy logic and ANFIS". *Neural Computing and Applications*, 26(6), 1355-1367, 2015.
- [20] Awan SM, Aslam M, Khan ZA, Saeed H. "An efficient model based on artificial bee colony optimization algorithm with Neural Networks for electric load forecasting". *Neural Computing and Applications*, 25(7), 1967-1978, 2014.
- [21] Majumdar A, Das A, Hatua P, Ghosh A. "Optimization of woven fabric parameters for ultraviolet radiation protection and comfort using artificial neural network and genetic algorithm". *Neural Computing and Applications*, 27(8), 2567-2576.
- [22] Armaghani DJ, Shoib RS, Faizi K, Rashid ASA. "Developing a hybrid PSO-ANN model for estimating the ultimate bearing capacity of rock-socketed piles". *Neural Computing and Applications*, 28, 391-405, 2015.
- [23] Üstün O. "Genetik Algoritma Kullanılarak İleri Beslemeli Bir Sinir Ağında Etkinlik Fonksiyonlarının Belirlenmesi". *PAÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(3), 395-403, 2009.
- [24] Altun AA. "A combination of genetic algorithm, particle swarm optimization and neural network for palmprint recognition". *Neural Computing and Applications*, 22(1), 27-33, 2013.
- [25] Altunkaya, S, Kara S, Gormus N. "Detection of position of replaced mechanical heart valve with ANN". *36<sup>th</sup> International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP)*, Rome, Italy, 2-4 July 2013.
- [26] Eroğlu H, Aydın M. "Enerji nakil hatları güzergâh tespiti ve proje çiziminin otomasyonu". *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 30(4), 723-732, 2015.
- [27] Mutluer M, Bilgin O. "Comparison of stochastic optimization methods for design optimization of permanent magnet synchronous motor". *Neural Computing and Applications*, 21(8), 2049-2056, 2012
- [28] Saruhan H. "Yapısal problemler tasarımında kuş sürüsü davranış algoritması". *PAÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(2), 207-212, 2010.
- [29] Akbal B, Ürkmez A. "The parallel resonance impedance detection method for parameter estimation of power line and transformer by using CSA, GA and PSO". *Turk Journal Electrical Engineering and Computer Sciences*, 24(1), 12-23, 2016.
- [30] Akbal B, Aydın M. "Multilevel thresholding and artificial intelligence methods to detect the thickness of iced conductor in ambient conditions". *Turk Journal Electrical Engineering and Computer Sciences*, DOI: 10.3906/elk-1410-96, 2015.
- [31] Akbal B, Ürkmez A. "PSO and inertia weight to determine parallel resonance power in electrical networks". *5<sup>th</sup> International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence*, Pitesti, Romania, 27-29 June 2013.
- [32] Jung CK, Lee JB, Kang JW, Wang XH, Song YH. "Sheath current characteristic and its reduction on underground power cable systems". *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, San Francisco, CA, USA, 12-16 June 2005.