



Elektrik Güç Sistemlerindeki Kaçak Kullanımların Yapay Sinir Ağları ile Tahmini

Enes YILDIZ¹, Nurettin ÇETİNKAYA²

(Alınış / Received: 19.03.2022, Kabul / Accepted: 30.06.2022, Online Yayınlanma / Published Online: 30.06.2022)

Anahtar Kelimeler

Kayıp
Kaçak
Dağıtım hatları
Güç sistemleri
Enerji
Yapay sinir ağları (YSA)

Öz: Üretimi maliyetli olan elektrik enerjisinin doğru kullanılması önemli bir konudur. Ülkemizdeki önemli sorunlardan birisi olan kaçak elektrik kullanımların tahmin edilmesi, enerji piyasasında çözülmesi gereken bir problemdir. Birlikte değerlendirilen kayıp ve kaçak kullanım miktarları, birbirinden farklı terimlerdir ve ayrı ayrı değerlendirilmesi gerekmektedir. İki terimin ayrı değerlendirilmesi, herhangi bir şebeke üzerinde alınacak önlemlerin veya yapılacak yatırımların daha sağlıklı olmasını sağlayacak ve elektrige bakış açısını da olumlu yönde değiştirecektir. Bu sayede bölgelere yapılacak yatırımların, kaçak ile mücadele üzerine mi yoksa kayıpların azaltılması üzerine mi yapılması gerektiği hakkında bilgi verecektir. Kaçak kullanımların tahmin edilmesi sosyo-ekonomik yönden ve kaçak kullanımlarla mücadele kapsamında büyük gelişmelerin önünü açacaktır. Bu çalışmada kaçak kullanım miktarlarının tahmin edilmesi yapay sinir ağları ile gerçekleştirilmiştir. Tahmin yapılması istenilen şehirlerin şebekeleri tek bir trafo bölgesine indirgenerek yapay sinir ağlarında tüm kayıpların ve kaçak kullanım miktarlarının tahmin edilmesi sağlanmıştır. Literatürde kaçak kullanımların doğal kayıplardan ayrı değerlendirilmesiyle ilgili pek çalışma olmasa bile, bu çalışma ile kaçak kullanımların tahmin edilebilmesi önerilen algoritmalar ile mümkün hale gelmiştir. Önerilen algoritmalar yardımıyla doğal kayıplar ve kaçak kullanımlar birbirlerinden ayrılacak şekilde tahmin edilmiştir. Sonuçlar farklı eğitim fonksiyonları ile eğitilen yapay sinir ağları yardımıyla da desteklenmiştir. Hem şehirlerin kaçak kullanım miktarları tahmin edilmiş, hem de eğitim fonksiyonlarının performansları karşılaştırılmıştır.

Forecasting Of Illegal Consumption In Electrical Power Systems

Keywords

Loss
Illegal use
Distribution lines
Power systems
Energy
Artificial neural networks
(ANN)

Abstract: Correctly using electrical energy, which is costly to produce, is essential. Estimating illegal electricity, which is one of the critical problems in our country, usage is a problem that needs to be solved in the energy market. Loss and illegal use, considered together, are different terms and should be evaluated separately. Evaluating each term separately will ensure that the measures to be taken or the investments to be made on any network will be healthier and positively change the perspective on electricity. In this way, it will provide information on whether the investments to be made in the regions should be made to fight against illegality or

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği, Ahmet Necdet Sezer Kampüsü, Afyonkarahisar, Türkiye, enesyildiz@aku.edu.tr

² Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Alaeddin Keykubat Kampüsü, Konya, Türkiye, nctinkaya@ktun.edu.tr

reduce losses. Estimating illegal uses will pave the way for significant developments in socio-economic terms and the fight against illicit uses.

The estimation of the amount of illegal usage was carried out with artificial neural networks. Reducing the cities' networks to be estimated to a single transformer zone ensures that the amount of illegal use in artificial neural networks is estimated.

Although there are not many studies evaluating illegal uses separately from natural losses, this study has made it possible to predict illegal uses with the proposed algorithms. With the help of the proposed algorithms, natural losses and illegal uses are estimated separately. The results are also supported with the help of artificial neural networks trained with different training functions. Both the amount of illicit use in the cities were estimated, and the performances of the education functions were compared.

1. Giriş

Elektrik enerjisi tüketimi geçmişten günümüze kadar ülke ekonomilerinde çok önemli rol oynamaktadır. Özellikle son zamanlarda gelişen ve büyüyen dünyada, elektrik enerjisi her alanda önemli bir rol üstlenmektedir. Enerjiye ihtiyacın yüksek seviyelerde olduğu günümüzde enerjinin kaçak kullanım şeklinde yok olması ekonomik bir yükündür. Engellenmesi ve tespit edilmesi zor olan kaçak kullanımlar, ülkemize her yıl maddi olarak ciddi anlamda yük olmaktadır [1]. Kaçak kullanım miktarı altında kaybolan enerjinin değerlendirilmesi, başta ekonomik anlamda olmak üzere birçok alanda büyük önem arz etmektedir [2]. Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD) ülkeleri ile karşılaştırıldığında ülkemizde meydana gelen kayıp kaçak kullanım miktarları ortalamasının yaklaşık iki katı kadardır [3,4]. Kayıp ve kaçak kullanımlar hem değerlendirme bakımından hem de elektriksel (terimsel) ifade bakımından birbirinden ayrılması gereken iki farklı terimdir. Kayıplar terimi; şebekelerden kaynaklı meydana gelen ve sıfır olması mümkün olmayan gerçekleşmesi beklenen doğal kayıplardır.

Kaçak kullanım terimi ise; sıfıra indirilmesi mümkün olan, şebekenin özelliklerine bağlı olmayan kayıplardır [5-7]. İki terimin birbirinden ayrı değerlendirilmesi, şebekelere yapılacak yatırımların daha sağlıklı olmasını sağlayacaktır. Şebekeler üzerinde yapılacak iyileştirmelerin teknik kayıplar üzerinde mi yoksa kaçak kullanımlarla mücadele üzerine mi olması gerektiğinin anlaşılmasını sağlayacaktır. Her yıl gerçekleştirilen yatırımlar, kayıp ve kaçak kullanımların ikisinin de birlikte azaltılması yönünde gerçekleştirilmektedir [7,8]. Ancak kaçak kullanımı olmayan bir bölgeye, kaçak kullanımla mücadele için bütçe ayırmak gereksizdir. Tam tersi durum doğal kayıplar içinde geçerlidir. Doğal kayıpların az, kaçak kullanımların fazla olduğu bölgeler için de şebekelerin iyileştirilmesinden ziyade, kaçak kullanımlar ile mücadele edilebilecek bir yatırım gerekmektedir. Bir şebeke üzerinde kaybolan enerjinin ne kadarının kayıp ne kadarının kaçak kullanım olduğunun bilinmesi şebekeyi daha iyi tanımlamamızı sağlayacaktır.

Bir şebeke üzerinde meydana gelen kaçak kullanım miktarı direk hesaplanamazken, şebeke üzerinde kaybolması beklenen teknik (doğal) kayıpların hesaplanabilmesi, şebekelerde kullanılan malzemelerin elektriksel özelliklerine bağlı olduğu için mümkündür [8-10]. Birlikte değerlendirilen kayıp ve kaçak kullanımların toplam miktarları (şebekede boşa giden enerji miktarı) göz önünde bulundurulduğunda, kaçak kullanımların da tahmin edilebilmesi mümkün olacaktır. Kaçak kullanım miktarı ile şebekeden kaynaklı meydana gelen teknik kayıpların en azından yaklaşık olarak bilinmesi şebekelerin sağlamlığı hakkında da bize bilgi verecektir. Kaçak kullanımlarla mücadele de ağırlık verilmesi gereken bölgeler belirlenerek daha spesifik çalışmaların yapılması mümkün olacaktır.

Kaçak kullanımların noktasal olarak belirlenmesi de birkaç yöntemle mümkün olabilir. Şebekelere yerleştirilen akıllı sayaçlar, akıllı sensörler veya haberleşme altyapıları ile PLC kullanılarak kaçak kullanımlar noktasal olarak tespit edilebilir. Ancak bu yöntemler çok maliyetlidir. Özellikle kayıp ve kaçak kullanımların aynı değerlendirildiği göz önüne alındığında; kaçak kullanımların noktasal tespiti için kurulması gereken sistemin nereye kurulacağı çok yanıltıcı olabilir. Bu çalışmada şebekelerdeki kayıp ve kaçak kullanım miktarlarının ayrı ayrı değerlendirilmesi, yapılacak olan yatırımların daha sağlıklı olmasını da hedeflemektedir.

2. Meteryal ve Metot

2.1. Kaçak kullanımların tahmini için önerilen algoritma gösterimi

Ülkemizin en büyük sorunlarından biri olan kaçak kullanım miktarlarının, ayrıştırılması ile ilgili literatürde çok az çalışmalar bulunmaktadır. Güç sistemleri üzerinde yapılan en önemli konulardan birisi meydana gelen doğal kayıpların azaltılması yönündedir. Ancak kaçak kullanımların miktarlarının da tahmin edilebilmesi için birkaç

yöntem uygulanabilir [11,12]. Enerjinin korunumu kanunu “Var olan enerji yok olamaz” kapsamında tüketicilerin kullandığı enerji başta olmak üzere teknik ve teknik olmayan kayıpların toplam miktarı, harcanan enerji miktarına eşit olmak zorundadır. Bu kapsamda kaçak kullanım miktarlarının tahmini için, abonelerin tüketmiş oldukları enerji miktarı ve teknik kayıpların hesaplanması gerekmektedir. Abonelerin harcamış oldukları enerji miktarı faturalandırılan enerji miktarı anlamına gelmektedir.

Çalışmada faturalandırılabilen (abonelerin harcamış oldukları) ve faturalandırılmayan (kayıp ve kaçak yollarla harcanan) enerji miktarları “W” ile ifade edilmiştir ve aralarındaki ilişki Denklem (1)’de belirtilmiştir. Teknik olmayan kayıplar ve teknik kayıplar ise faturalandırılmayan enerji miktarı olarak kaybolan kayıpların tamamıdır. Teknik olmayan kayıplar Denklem (2)’de belirtildiği gibi tanımlanabilir.

$$W_2 (MWh) = W_1 (MWh) - W_3 (MWh) \quad (1)$$

$$W_4 (MWh) = W_2 (MWh) - W_5 (MWh) \quad (2)$$

W_1 : Toplam Harcanan Enerji Miktarı
 W_2 : Faturalandırılmayan Enerji Miktarı
 W_3 : Faturalandırılabilen Enerji Miktarı
 W_4 : Teknik Olmayan Kayıplar
 W_5 : Teknik Kayıplar

Teknik olmayan kayıpların tahmin edilebilmesi direk olarak mümkün değildir. Teknik olmayan kayıpların tahmin edilebilmesi için öncelikle teknik kayıpların hesaplanması gerekmektedir. Bir şebekede meydana gelen teknik kayıpların büyük bir bölümünü iletken kayıpları ve trafo kayıpları oluşturmaktadır. Teknik olmayan kayıplar ise şebekelerden bağımsız, insan hatalarından dolayı meydana gelen kayıplardır. Teknik olmayan kayıpları oluşturan etmenler; faturalandırma hataları, müşteri takipsizliği, sayaç okuma hataları, dosya hataları vb. gibi insan hatalarından meydana gelen hatalar olduğu için tüm bu kayıpları kaçak kullanım olarak ele alabiliriz [13-15]. Dolayısıyla teknik olmayan kayıplar yaklaşık olarak kaçak kullanımlara eşittir diyebiliriz ve teknik olmayan kayıpları Denklem (3)’te, teknik kayıpları ise Denklem (4)’te gösterildiği gibi ifade edebiliriz.

$$W_4 (MWh) = E_{Kaçak\ Kullanım} (MWh) \quad (3)$$

$$W_5 (MWh) = E_1 (MWh) + E_2 (MWh) \quad (4)$$

E_1 : İletkenler üzerinde meydana gelen kayıplar
 E_2 : Trafo üzerinde meydana gelen kayıplar

İletken kesiti ve üzerinden geçen akım değeri bilinen iletken üzerinde kaybolan zaiyat gücü Denklem (5) yardımıyla hesaplanabilir.

$$P_z = 3 \cdot I^2 \cdot R \quad (5)$$

P_z : Zaiyat Güç
 I: Hat akımı
 R: Hattın direnci

İletkene ait direnç değeri ise Denklem (6)’da verilmiştir [9,17].

$$R = \frac{L}{x \cdot q} \quad (6)$$

L: Hattın Uzunluğu (m)
 x: Hattın Özgül İletkenliği (m/Ωmm²).

Konut abonelerinin kullandıkları sayaç tiplerine göre de güç kayıpları meydana gelmektedir. 2001 yılında yayınlanan (15.02.2001 tarih ve 24319 sayılı resmî gazetede) düzenlenmeye göre konutlardaki abonelerin elektronik sayaç kullanması gerekmektedir. Elektronik sayaçlarda meydana gelen güç kayıpları ortalama olarak 1-2 W arasında değişmektedir [11]. Sayaçlar üzerinde kaybolan enerji miktarı da faturalandırılmayan enerji miktarı içerisinde teknik kayıplara dahil edilebilir.

Trafo kayıpları için ise transformatör gücü 1000 kVA’nın altında ise, bakır kayıpları yaklaşık olarak transformatör gücünün %3’ü veya %4’ü oranında değişiklik göstermektedir. Sargılar üzerinde oluşan bu kayıplar kısa devre

deneyi ile hesaplanmaktadır. Primer ve sekonder sargıları üzerinde kaybolan toplam bakır kayıpları Denklem (7)'de belirtilmiştir [12,13].

Toplam bakır kayıpları;

$$P_{CU} = I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 \quad (7)$$

Trafo lar üzerinde kaybolan demir kayıpları ise boşta çalışma deneyleriyle hesaplanmaktadır. Boşta çalışma deneylerinde bakır kayıpları ihmal edilir ve demir kayıpları sabit olarak nitelendirilir. Demir kayıpları Histeresiz ve Fuko kayıpları olarak ikiye ayrılmaktadır. Histeresiz ve Fuko kayıpları Denklem (8) ve Denklem (9)'da belirtildiği gibidir.

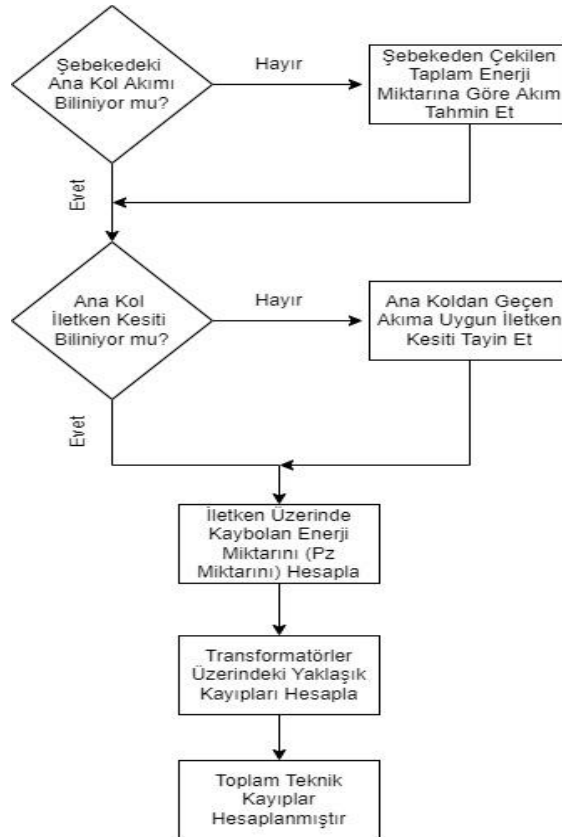
$$P_{his} = K_{his} \cdot f \cdot (B_{max})^{1,6} (W) \quad (8)$$

$$P_{fu} = K_f \cdot f \cdot (B_{max})^2 (W) \quad (9)$$

Transformatörün boştaki kayıpları Denklem (10)'da gösterildiği gibidir.

$$P_b = P_{his} \cdot P_{fu} (W) \quad (8)$$

Büyük ve karmaşık bölgeler için tek tek teknik kayıpların hesaplanması zor ve vakit alacak bir iştir [14,15]. Karmaşık bölgelerde hesap yapabilmek için önerilen algoritmalar takip edilebilir. Şekil-1'de teknik kayıpların hesabı için önerilen bir algoritma gösterilmektedir.



Şekil 1. Şebeke Üzerindeki Teknik Kayıpların Tespit Edilme Algoritması

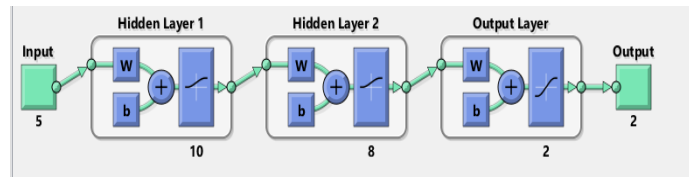
Şekil 1'de önerilen algoritma (algoritma 1) yardımıyla bir şebekede meydana gelen toplam kayıplar, yaklaşık olarak hesaplanabilir. Karmaşık bölgelerde ise genel hesaplama yapılarak yaklaşık teknik kayıplar tahmin edilebilir. Bir şehirde meydana gelen teknik kayıpların tek tek hesaplanması yerine, şehir tek bir trafo bölgesine indirgenerek algoritma 1 uygulanabilir. Bir şehri veya karmaşık bir bölgeyi tek bir trafo bölgesine indirmek için şekil 2'de verilen algoritma 2 uygulanabilir.



Şekil 2. Bir bölgenin tek trafo bölgesine indirilmesi ve kayıpların tahmin edilmesi

Önerilen algoritma-2 yardımıyla karmaşık bölgeler tek tip trafo bölgesine indirilebilir ve bölgenin yaklaşık teknik kayıpları hesaplanabilir. Güç sistemlerinde teknik kayıplar, hat uzunlukları, trafo yapısı ve bilgileri, gerilim ve güç değerleri bilinen şebekeler için tahmin edilebilir [16,17]. Bir dağıtım şebekesinde harcanan toplam enerji miktarı, tüm trafo bölgelerine eşit miktarda paylaştırılarak, eş değer trafo bölgeleri elde edilir. Paylaştırılan güç miktarlarına uygun bir iletken tayin edilerek yeni bir trafo bölgesi oluşturulur. Herhangi karmaşık bir şebekeyi veya bir şehri tek trafo bölgesine indirgeyerek, teknik kayıpların analizleri bu sayede daha kolay bir şekilde gerçekleştirilir. Trafo kayıplarını hesaplarken, şebekenin veya bir şehrin genel durumunu veya bölgede kullanılan trafo tiplerinin yaygınlık durumunun göz önüne alınması, yapılacak tahminin doğruluk oranını artıracaktır. Trafo bölgesinin çok çeşitli olduğu bölgelerde yaygın kullanılan her çeşit trafo için, yeni trafo bölgeleri oluşturulabilir. Ancak harcanan enerji miktarları, hat uzunlukları, tayin edilen iletken özellikleri eşit (her bölge için eşdeğer) olacağından dolayı değişiklik gösterecek tek durum trafolar üzerinde meydana gelen kayıplar olacaktır (E1 değeri sabit, E2 değeri değişken olacaktır).

Algoritmalar ile elde edilen sonuçlar yapay sinir ağları (YSA) ile de desteklenmiştir [18-25]. Kullanılan YSA modelinde 5 adet giriş ve 2 adet çıkış bulunmaktadır. Girişler sırasıyla; şehrin toplam trafo gücü, toplam trafo sayısı, toplam hat uzunluğu, kayıp-kaçak oranı, faturalandırılan ve faturalandırılmayan enerjinin (tüm enerjinin) toplam miktarı şeklindedir. Çıkışlar ise toplam teknik kayıplar ve tahmin edilen kaçak kullanım miktarıdır. Oluşturulan YSA ağ yapısı şekil 3'te gösterildiği gibidir.



Şekil 3. Kullanılan YSA ağ yapısı

İleri beslemeli geri yayımlı (Feed-Foward Backprop) ağ tipi kullanılmıştır. En yüksek doğruluk oranı, nöron sayıları sırasıyla 10 ve 8 olan iki gizli katmanın kullanılmasıyla elde edilmiştir. Nöron sayılarının belirlenmesinde, kabul görmüş herhangi bir yöntem olmadığı için nöron sayıları deneme yanılma yoluyla belirlenmiştir. Aktivasyon fonksiyonu olarak en yaygın kullanılan aktivasyon fonksiyonu sigmoid fonksiyon seçilmiştir. Birden fazla eğitim fonksiyonları kullanılmış ve eğitim fonksiyonlarının performansları birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

2.2. Kullanılan eğitim fonksiyonları

Önerilen algoritmalar birden fazla eğitim fonksiyonu ile eğitilmiş; eğitim ve test sonuçları birbirleri ile kıyaslanmıştır.

Trainlm eğitim algoritması; “Luvenberg-Marquardt” geri yayılımı olarak bilinen ve ANN uygulamalarında kullanımı yaygın olan bir eğitim fonksiyonudur. Fazla belleğe ihtiyaç duyması dezavantaj olmasına rağmen ANN uygulamalarında sık tercih edilmektedir. Luvenberg-Marquardt optimizasyonuna göre bias ve ağırlıkları güncelleme prensibi ile çalışmaktadır [26].

Traincgb eğitim algoritması; Powerll/Beale yeniden başlatmalı geri yayılım optimizasyonuna göre bias ve ağırlıkları güncelleme prensibi ile çalışmaktadır [26].

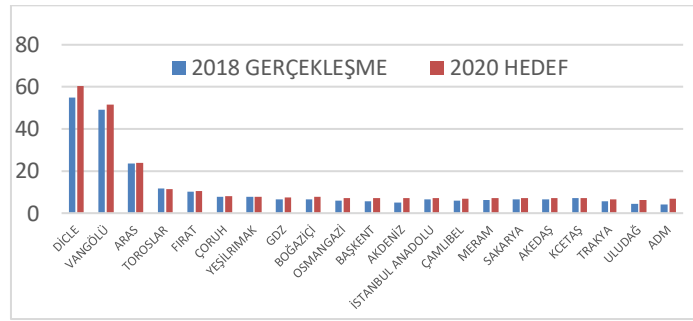
Traingdx eğitim algoritması; değişen öğrenme ve geri yayılıma sahip eğitim fonksiyonudur. En önemli avantajlarından bir tanesi değişken öğrenme hızının yüksek olmasıdır [26].

Bu çalışmada yapay sinir ağı; birden fazla eğitim fonksiyonları yardımıyla ayrı ayrı oluşturulmuştur. Bu sayede eğitim fonksiyonlarının tahminleme üzerindeki performansları da karşılaştırılmıştır.

3. Bulgular

Ülkemizde ve dünyada kayıp ve kaçak kullanımlar beraber değerlendirilmektedir. Konuyla alakalı çalışmalar olsa bile net bir sonuç yoktur [7]. Ülkemizde kaçak kullanım miktarları; kayıp ve kaçak kullanım miktarlarının toplam miktarına bakılarak yorumlanmaktadır. Ancak bu kesin bir sonuç vermemektedir [27-28].

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) verilerine göre; dağıtım firmalarının kayıp kaçak oranları şekil 4’te gösterilmiştir [29-30].



Şekil 4. Dağıtım firmalarına ait 2018 yılı kayıp kaçak oranları

Çalışmada 81 şehrin kaçak kullanım miktarları farklı güç katsayılarıyla denenmiştir. YSA için şehirlerin mevcut harcadıkları güç miktarları örnek sayısının fazla olması için 0,1, 0,25, 0,5, 0,75, 1,1 gibi katsayılarla çarpılmış ve örnek sayısı artırılmıştır. Her şehir için 6 adet örnek olmak üzere toplamda 486 adet örnek elde edilmiştir. 486 örneğin yaklaşık %60’ı eğitimde %40’ı test için kullanılmıştır. Kaçak kullanım tahmini yapılırken, MATLAB üzerinde tahminleme metodu ve K-En Yakın Komşu (kNN) sınıflandırma metotları denenmiştir. Eğitim fonksiyonlarına ait başarı oranları Tablo 1’de gösterildiği gibidir.

Tablo 1. Eğitim fonksiyonlarına ait başarı oranları

Eğitim Fonksiyonu	Training	Validation	All (R)
TrainLM	0.998	0.998	0.995
TrainCGB	0.997	0.922	0.989
TrainGDX	0.858	0.794	0.854
TrainRP	0.988	0.961	0.988

Test veriler sonucunda kaçak kullanım miktarı tahmininde oluşan MSE (Ortalama Kare Hata) oranları ise tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Eğitim fonksiyonlarına ait hata oranları

Eğitim Fonksiyonu	MSE	RMSE	MPE
TrainLM	5.364E+17	7.32E+08	18.88588
TrainCGB	0.1784273	0.422407	67.16684
TrainGDX	0.0748873	0.273655	49.26689
TrainRP	0.0471565	0.217155	-10.16977

Eğitim sonuçlarında trainlm eğitim fonksiyonu daha iyi bir performans göstermesine rağmen test sonuçlarında iyi bir performans göstermediği gözükmektedir. En iyi performans MSE (ortalama kare hata) dikkate alındığında “traingdx” eğitim fonksiyonunda elde edilmiştir.

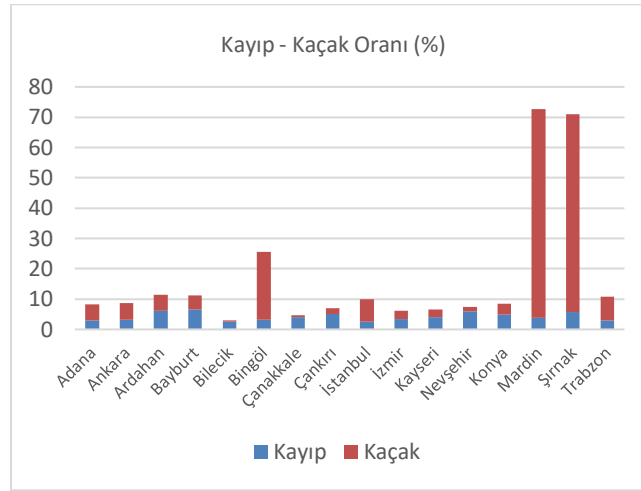
Algoritmalarından elde edilen sonuçlara göre, bazı şehirlere ait kaçak kullanım miktarları tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Eğitim fonksiyonlarına ait başarı oranları

Şehirler	W ₁ (MWh)	W ₂ (MWh)	E _z (MWh)	Şehirler	W ₁ (MWh)	W ₂ (MWh)	E _z (MWh)
Adana	36997.36	13562.34	23435.02	Eskişehir	8859.39	5164.11	3695.27
Adıyaman	4944.96	2793.26	22574.47	Erzurum	9365.82	3213.82	6151.99
Afyonkarahisar	7664.47	5614.77	2049.69	Gaziantep	18313.86	7350.76	10963.09
Ağrı	25008.06	1848.51	23159.55	Hakkâri	30175.74	1292.38	28883.35
Aksaray	4226.54	2860.09	1366.44	İstanbul	374710.33	94795.45	279914.87
Ankara	90127.81	33479.56	56648.24	İzmir	66098.54	36495.01	29603.53
Antalya	80276.03	23331.52	56944.50	Karaman	2516.59	1876.37	640.21
Ardahan	659.42	360.18	299.23	Kayseri	12483.12	7416.23	506.88
Artvin	4500.92	1175.25	3325.67	Kocaeli	40434.20	18018.56	22415.63
Aydın	19104.89	7751.33	11353.55	Konya	28756.79	16824.77	11932.01
Balıkesir	26674.11	8859.41	17814.70	Malatya	10128.78	4266.02	5862.75
Bartın	3934.02	1449.02	2484.99	Mardin	180895.17	9302.94	171592.22
Batman	29214.34	2268.24	26946.09	Sakarya	14901.31	6022.72	8878.59
Bayburt	596.96	346.55	250.39	Samsun	16260.82	6778.85	9481.97
Bilecik	3314.60	2822.42	492.17	Şanlıurfa	220564.36	17518.78	203042.58
Bingöl	5784.90	735.95	5048.95	Şırnak	39901.35	3227.57	36673.77
Bitlis	18984.16	1414.11	17570.05	Trabzon	13803.36	3917.11	9886.24
Bolu	3993.30	2479.52	1513.77	Van	91799.32	4006.70	87792.61
Burdur	3890.94	2176.69	1654.25	Yozgat	9312.12	2715.81	6596.30

Bu çalışmada önerilen algoritmalar ve yapay sinir ağları yardımıyla şebekeler tek bir trafo bölgesine indirgenmiştir. Öncelikle faturalandırılabilen enerji miktarları bilinen şehirlerin kayıp kaçak oranları da dikkate alınarak faturalandırılmayan (toplam kayıp ve kaçak) enerji miktarları tahmin edilmiştir. Tek tip trafo bölgelerine eşit miktarda paylaştırılan enerji miktarına göre; trafo bölgesine hayali bir iletken tayin edilip, iletken üzerinde meydana gelen teknik kayıplar (doğal kayıplar) hesaplanmıştır. Çalışmada her bölge (her şehir) için eşdeğer (tek tip) trafo kullanılmıştır. Trafo kayıpları yaklaşık olarak trafodan çekilen enerjinin %3’ü ile %4’ü civarında kabul edilmiştir.

Bazı şehirlere ait kayıp ve kaçak kullanım miktarının grafiksel gösterimi şekil 5’de gösterildiği gibidir.



Şekil 5. Bazı şehirlere ait kayıp-kaçak oranlarının grafiksel gösterimi

3. Sonuçlar

Önerilen algoritmalar ile istenilen herhangi basit bir bölgenin veya büyük elektrik güç sistemlerinin yaklaşık olarak kayıp ve kaçak kullanım miktarlarının birbirinden ayrılması hedeflenmiştir. Kayıp ve kaçak faktörleri birbirinden farklı konulardır ve ayrı ayrı incelemek enerjiye bakış açımızın değişmesi bakımından önemli bir konudur. Kaçak kullanımların ayrı değerlendirilmesi yapılacak olan çalışmaların daha verimli hale gelmesine yardımcı olacaktır. Herhangi bir bölgeye yatırım yapılacağı zaman, kayıpları azaltmak için mi yoksa kaçak kullanımların engellenmesi için mi yapılması gerektiği önemli bir konudur. İki terimin birbirinden ayrı değerlendirilmesi, yatırımların önünü açacaktır. Bu çalışmada iletken kesitinin bilinmediği bölgelerde, iletkenler çekilen yük miktarına göre ortalama olarak seçilmiştir. Trafolar bölgelere ve sık kullanılan trafo güçlerine göre seçilmiştir, trafo kayıpları yaklaşık olarak hesaplanmıştır. Bölgelerde kullanılan iletkenlerin ve trafoların durumuna göre tahminler ile gerçek değerlerin farklı çıkması muhtemel durumdur. Kaçak kullanım hesabı için önerilen algoritma, bilgileri bilinen tüm şebekeler için kullanılabilir. Kayıp ve kaçak kullanım miktarına göre, şebekeler yenilenerek kayıplar azaltılabilir veya kaçak kullanımlarla mücadeleye destek verilerek kaçak kullanım miktarı azaltılabilir. Engellenen her kayıp enerjinin, farklı alanlarda verimli bir şekilde kullanılması sağlanabilir.

Kayıp-Kaçak oranları ülkemizde doğu bölgelerinde yüksek, batı bölgelerde düşük seyrederken; kaçak kullanım miktarları yer yer değişiklik göstermektedir. Örneğin İstanbul bölgesi için kaçak kullanım miktarı batı bölgelerine göre yüksek olduğu tahmin edilmiştir. Bilecik için ise neredeyse kaçak kullanım yok denilecek kadar az olduğu gözükmektedir. Bu çalışmanın öncelikli amacı kaçak kullanımların tahmin edilmesidir. Ve bununla birlikte şehirlere yapılacak olan yatırımların nasıl yapılması gerektiği, kaçak kullanımlarla mücadelede nerelere yoğunlaşmak gerektiği konusunda yapılacak olan çalışmalara kolaylık sağlaması hedeflenmiştir. Kayıp ve kaçak kullanımlar elektriksel açıdan birbirinden farklı terimlerdir ve ayrı değerlendirmeleri gerekmektedir.

Yazar Katkı Oranları

Gerçekleştirilen çalışmada Enes YILDIZ, modelin oluşturulması, literatür taraması, verilerin toparlanması ve işlenmesinde, Nurettin ÇETİNKAYA fikrin oluşması, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ve makalenin imla denetiminde katkıda bulunmuştur.

Çıkar Çatışması

Yazarlar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar. Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur. Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- [1] Örsek B. (2016). Türkiye’de Kayıp Kaçak Oranı Düşme Eğiliminde. www.dogrulukpayi.com. (Erişim Tarihi: 25.10.2020).

- [2] Sargın İ. (2006). Tavşanlı Enerji Dağıtım Sistemlerinde Meydana Gelen Kayıpların Oranlarının Belirlenmesi ve Azaltılması İçin Alınabilecek Önlemler ve Elde Edilen Enerji Kazanımları. *Türkiye 10. Enerji Kongresi, İstanbul, Türkiye*.
- [3] Düzgün B. (2018). Türkiye Elektrik İletim ve Dağıtım Şebekesinin Enerji Verimliliğinin Değerlendirilmesi ve 2023 Projeksiyonları. *Politeknik Dergisi*, 21(3): 621-632.
- [4] World Bank Group (2016). Türkiye Cumhuriyeti: Elektrik Dağıtım Şirketlerinin Hizmet Kalitesinin İyileştirilmesine Yönelik Adımlar. *World Bank Group Türkiye, ACS20668*.
- [5] Yaşar C., Aslan Y., Biçer T. (2010). Bir Dağıtım Transformatorü Bölgesindeki Kayıpların İncelenmesi. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22, 9-22.
- [6] Alperöz N. (1984). Elektrik Enerjisi Dağıtımı, Elektrik Enerjisi Dağıtımı, Nesil Matbaa, birinci baskı, Türkiye.
- [7] Yıldız E., Çetinkaya N. (2018). The Proposed Forecasting Algorithm in Power Systems for Separating of Losses and Illegal Consumptions. *Third International Symposium on Industrial Design & Engineering 2018 (ISIDE)*, Antalya, Türkiye.
- [8] Bhatt MS. (2003). Energy Efficiency Improvement of Electrical Transmission Distribution Networks". *Journal of Scientific & Industrial Research*, 62, 473-490.
- [9] Balcı H., Esener İ., Kurban M. (2012). Regresyon Analizi Kullanılarak Kısa Dönem Yük Tahmini. *ELECO 2012 Elektrik- Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, Bursa, Türkiye*.
- [10] Alcan Y., Öztürk A., Dirik H., Demir M. (2017). Güç Şebekelerinde Minimum Kayıpları Sağlayan STATCOM Konumunun ve Değerinin Belirlenmesinde Farklı Sezgisel Algoritmaların Karşılaştırılması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(5), 550-558.
- [11] Özel K. (2006). *Losses in Electric Distribution Systemes* (Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye)
- [12] Smith T.B. (2004). Electricity Theft: a Comparative Analysis. *Department of Social and Behavioral Science*. 32, 2067-2076.
- [13] TEDAŞ (2018). 2017 Faaliyet Raporu. <https://www.tedas.gov.tr>. (Erişim Tarihi: 01.11.2020)
- [14] Amjady N., Keynia F. (2008). Mid-term Load Forecasting of Power Systems by a Newprediction Method. *Energy Conversion and Management*, 49, 2678-2687
- [15] Gürsoy E., Kaypmaz A. (2000). *Yük Tahmini yöntemleri ve Çukurova Elektrik A.Ş., Kepez Elektrik T.A.Ş. bölgelerine uygulaması* (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye).
- [16] İşcan S., Kaplan O., Lokman G. (2021). Güç sisteminde meta-sezgisel algoritmalarla güç kaybı ve gerilim kararlılığı optimizasyonu. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(2), 199-209.
- [17] Uche O., Madueme T.C. (2015). A Power Flow Analysis of the Nigerian 330 kV Electric Power System. *The International Organization of Scientific Research Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 10(1), 46-57.
- [18] Viegas J.L., Esteves P.R., Melicio R., Mendes V.M.F., Vieira S.M. (2017). Solutions for detection of non-technical losses in the electricity grid: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80(1), 1256-1268.
- [19] Han W., Xiao Y. (2017). A novel detector to detect colluded non-technical loss frauds in smart grid. *Computer Networks*, 117, 19-31.
- [20] Henriques H.O., Correa R.L.S., Fortes M.Z., Ferreira V.H. (2020). Monitoring technical losses to improve non-technical losses estimation and detection in LV distribution systems. *Measurement*, 161(1), 107840.
- [21] Filho M.B.D.C., Silva A.M.L., Falcao D.M. (1990). Bibliography on Power System State Estimation (1968-1989). *IEEE Transactions on Power Systems*, 5(3), 950-961.
- [22] Nizar A.H., Dong Z.Y., Wang Y. (2008). Power utility nontechnical loss analysis with extreme learning machine method. *IEEE Transactions on Power Systems*, 23, 946-955.
- [23] İnan A., Köroğlu S., İzgi E. (2005). Dengeli Elektrik Güç Sistemi Verilerini Kullanarak Dengesiz Sistem Kayıplarının Yapay Sinir Ağları ile Belirlenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(1), 47-52.

- [24] Ghasemi A.A., Gitizadeh M. (2018). Detection of illegal consumers using pattern classification approach combined with Levenberg-Marquardt method in smart grid. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 99, 363-375.
- [25] Monteiro R.V.A, Guimaraes G.C., Silva F.B., Teixeira R.F.S., Carvalho B.C., Finazzi A.P., Vasconcellos A.B. A medium-term analysis of the reduction in technical losses on distribution systems with variable demand using artificial neural networks: An Electrical Energy Storage approach. *Energy*, 164(1), 1216-1228.
- [26] Çakır S.F., (2018). Yapay Sinir Ağları
- [27] Neto E.A.C.A., Coelho J. (2013). Probabilistic methodology for Technical and Non-Technical Losses estimation in distribution system. *Electric Power Systems Research*, 97(1), 93-99.
- [28] Navani J.P., Sharma N.K., Sapra S. (2017). Analysis of Technical and Non Technical Losses in Power System and its Economic Consequences in Power Sector. *International Journal of Advanced Electrical and Electronics Engineering*, 1(3), 396-405.
- [29] TEİAŞ (2019). Faaliyet Raporu <https://www.teias.gov.tr>. (Erişim Tarihi: 05.04.2020)
- [30] EPDK (2019). Faaliyet Raporu. <https://www.epdk.org.tr>. (Erişim Tarihi: 01.11.2020)