

DENGELİ ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMİ VERİLERİNİ KULLANARAK DENGESİZ SİSTEM KAYIPLARININ YAPAY SİNİR AĞLARI İLE BELİRLENMESİ

Aslan İNAN, Selim KÖROĞLU, Ercan İZGİ

Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Müh. Bölümü, 34349-Beşiktaş/İstanbul

Geliş Tarihi : 26.04.2004

ÖZET

Elektrik güç sistemlerinde meydana gelen kayıpların mümkün olduğunca küçük tutulmasına çalışılmalıdır. Tasarruf edilen her kayıp kWh'in yerine mevcut üretim tesislerinden tüketicilere faydalı enerji verilebilir. Şebeke kayıplarındaki her azalma, üretim maliyetinin azalması ve böylece enerji sisteminin ekonomikliğinin artması anlamındadır. Son yıllarda lineer olmayan gerilim-akım karakteristiğine sahip cihazların sayısı, uygulama ve güç değerlerinin artması, gerilim dalga şeklinin bozulmasına ve ek kayıpların oluşmasına neden olmaktadır. Kayıplar hesaplanırken harmoniklerin de dikkate alınması daha doğru sonuçlara ulaşmamıza katkı sağlayacaktır. Bu çalışmada; dengeli ve lineer olmayan yükler içeren elektrik sistemi verilerinden faydalanarak, dengesiz güç sistemlerinde harmonik kayıplarının tahmin edilmesi için Yapay Sinir Ağları (YSA) yaklaşımı sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler : Harmonik kayıplar, Yapay sinir ağları, Lineer olmayan yükler, Dengesiz yüklenme

ANALYSIS OF THE HARMONIC LOSSES WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN UNBALANCED SYSTEM LOSSES USING BALANCED ELECTRIC POWER SYSTEM DATA

ABSTRACT

The losses in the power systems should be low as possible as. Saving energy instead of loses (kWh) in power utilities can supply much more energy to the consumers. The lower losses the more energy is saved and thus the power system becomes more economical. In recent years, the increasing number of applications and power ratings of the devices which have nonlinear voltage-current characteristics cause voltage waveform distortion and additional losses. While evaluating losses considering harmonics will provide more contribution to obtain more accurate results. In this study, Artificial Neural Networks (ANN) method has been presented to predict the harmonic losses in unbalanced power systems by using the data from balanced power system with nonlinear loads.

Key Words : Harmonic losses, Artificial neural networks, Nonlinear loads, Unbalanced loading

1. GİRİŞ

Güç sistemlerinde başta harmonikler olmak üzere elektrik enerjisi üretimi, iletimi ve tüketimi aşamasında meydana gelen bozulmalar günümüzün önemli çalışma alanlarından birini oluşturmaktadır. Gerilim dalga şeklindeki bozulmanın en önemli

nedeni lineer olmayan yüklerdir. Böyle yüklerle sinüs biçiminde bir gerilim uygulandığında, yükün akımı sinüs biçiminde değişmez ve harmonik bileşenler içerir. Harmonik içeren akımlar devrelerini şebekedeki diğer elemanlar üzerinden tamamlayarak harmonikli gerilimleri oluştururlar. Bu gerilimler ise başlangıçta sinüs kabul edilen gerilimin dalga şeklini

bozar. Bu bozulma, yükün meydana getirdiği harmonikli akımın değerine, tüketicilerin ve şebekenin parametrelerine doğrudan doğruya bağlıdır (Burke, 1994). Akım ve gerilimdeki bu bozulmalar, şebekeye harmonikli bileşenlerin verilmesi anlamına gelir. Aslında bozulmuş olan akım ve gerilim dalga şekilleri, şebekede bulunan değişik frekanstaki akım ve gerilimlerin toplamından ibarettir.

Harmonikler, şebekede olumsuz etkilere sebep olmaktadır. Bu etkiler kısaca şu şekilde özetlenebilir: Paralel ya da seri rezonans olaylarının meydana gelmesi, gerilim düşümünün artması ve fliker olayı, kondansatörün dielektrik delinmesi, generatör, transformatör ve diğer alıcılarda kayıpların artması, yarı iletken elemanlı kontrol cihazlarının yanlış çalışması, iletişim tesisleri üzerinde parazitlerin artması vb. Şebeke harmoniklerinin bu olumsuz etkilerini sınırlı tutmak amacıyla bazı ölçütler belirlenmiştir. Bunlardan en önemlisi hem gerilim hem de akım harmonikleri için getirilmiş "toplam harmonik distorsiyonu" kavramıdır. Mevcut harmoniklerin tek tek ifadesi ise genelde temel bileşenin yüzdesi cinsinden verilmektedir (Arrillaga, et al., 1985; Shuter, et al., 1989).

Bir güç sisteminde, güç kayıplarının doğru ve hızlı olarak değerlendirilmesinin önemi her geçen gün artmaktadır. Bugün modern güç sistemlerinde ekonomik işletme önem kazanmıştır. Harmoniklerin giderek artış göstermesi ve buna bağlı olarak gelen ek kayıpların belirlenmesi, uygun önlemlerin alınmasını gerektirmektedir. Son yıllarda güç sistem analizi çalışmalarında birçok yeni yöntem geliştirilmiştir. Bunlar arasında sonlu elemanlar, yapay sinir ağları, fuzzy lojik ve genetik algoritmalar sayılabilir. Bu çalışmanın konusunu oluşturan yapay sinir ağları, çok değişik alanlarda kullanılabilen oldukça yaygın bir yaklaşımdır (Sidhu and Ao, 1995).

Bu çalışmada, dengeli ve dengesiz yüklenen durumlarında harmoniklerden kaynaklanan ek kayıpların doğru ve hızlı bir şekilde hesaplanması için yapay sinir ağları yöntemi ile uygun bir kayıp değerlendirme algoritması sunulmuştur.

2. HARMONİK KAYIP ANALİZİ

Elektrik enerjisinin üretim merkezlerinden tüketicilere ulaştırılması için kullanılan şebekede güç kayıpları meydana gelir. İşletmecilik bakımından kayıpların etkileri şu şekilde sıralanabilir:

- Kayıp enerjisinin üretilmesi için daha fazla yakıt tüketilir, bu da enerji maliyetini artırır.
- Enerji kaybına karşılık gelen akımlar şebekeyi daha fazla yükler, gerilim kararlılığını kötüleştirir, hatların ve ara transformatör istasyonlarının enerji iletim kapasitesini azaltır.
- Mevcut jeneratör gücünün bir kısmı kaybı karşılamak amacıyla kullanılır ve böylece kullanılacak enerji üretimi azalır.

Yukarıda sayılan nedenlerle, bir şebeke işletmesinde kayıpların mümkün olduğunca azaltılmasına çalışılmalıdır. Kayıpların büyük bir kısmı enerji iletim sistemlerinde meydana gelmektedir. Bundan dolayı iletim sistemi kayıplarının tahmini için birçok yaklaşık yöntem önerilmiştir. Ancak yüksek doğruluk ve hız, bir kayıp değerlendirme metodolojisinde iki önemli gereksinimdir. Yüksek doğrulukla değerlendirme için ayrıntılı modelleme gereklidir.

Akım, gerilim gibi sistem büyüklüklerinin sinüsoidal oldukları varsayılarak gerçekleştirilen kayıp analizi, bu büyüklüklerin non-sinüsoidal olması durumunda bazı değişikliklere uğrar. Bu yüzden akım ve gerilimin fonksiyonlarına bağlı olan işletme kayıpları, bu büyüklüklerin harmonikli değerlerine göre yeniden düzenlenmelidir. Bu düzenleme için sistemdeki harmonik akım dağılımları belirlenmeli ve harmonik gerilim spektrumları elde edilmelidir. Bu değerler kullanılarak non-sinüsoidal duruma göre kayıplar hesaplanır. Enerji sistemlerinde harmonik etkinliklerinin her geçen gün artmasından dolayı sistemdeki güç kayıpları incelenirken harmonikli yüklerin de gözönüne alınması, güç kayıplarının daha doğru belirlenmesini sağlayacaktır.

Genel olarak ek kayıplar, iletim hatlarında, motor, generatör, transformatör gibi elemanların sargılarında ve omik direnç içeren tüm akım yolu elemanlarında oluşur. İletim hatlarındaki omik kayıplar, güç akışı sonrasında hesaplanan hat akımlarından geçen akımlar yardımıyla, diğer elemanlarda ise analitik bağıntılar veya ölçme-test yöntemleriyle belirlenir (Flaten, 1988; Gustafson, and Baylor, 1989).

Yükün lineer olmamasından kaynaklanan akımdaki bozulmadan dolayı n. harmoniğe ilişkin harmonik kayıplar şu şekildedir.

$$\Delta P_n = 3 \cdot R_n \cdot I_n^2 \quad (1)$$

Toplam kayıplar ise,

$$\sum \Delta P_n = \sum 3.R_n.I_n^2 \quad (2)$$

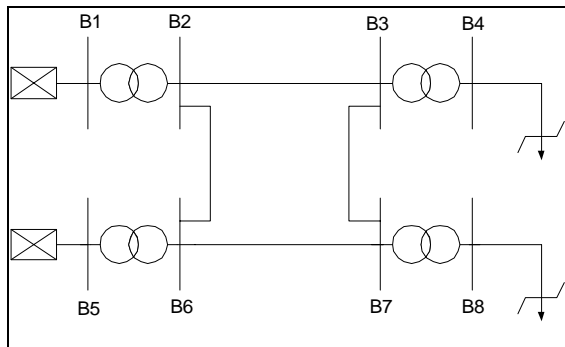
şeklinde yazılabilir. Burada, R_n ($n \neq 1$) deri etkisi dahil akım yolunun omik direncini göstermektedir. ΔP_n ise harmonik frekanslara ilişkin ek (omik) hat kayıplarıdır. Ark fırını gibi dengesiz non-sinüsoidal akım çeken yüklerde, dengeli durum için kullanılan “3” çarpanı geçerli değildir.

Sonuç olarak işletmelerde ortaya çıkan harmonikler, çeşitli bozucu etkilerin yanı sıra “ek kayıplar” oluşturmakta, dolayısıyla ekonomik yönden de olumsuz katkı yapmaktadırlar. Harmonikleri içeren bir elektrik şebekesinde ek kayıpların analizi için, şebekenin harmonik bağımlı modelinin oluşturulması gerekir. Bu amaçla sayısal uygulama bölümünde, bir alçak gerilim hattı üzerinden beslenen ve bünyesinde lineer olmayan yükleri bulunduran bir enerji sistemi gözönüne alınmıştır. Harmonik analizde aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır:

- Besleme transformatörünün faz gerilimleri dengeli ve sinüzoidaldir.
- Hatların omik dirençleri ve reaktansları lineer özelliktedir.
- Faz iletkenleri arasındaki karşılıklı kuplaj etkisi ihmal edilebilir düzeydedir.
- Omik dirençte deri etkisi ihmal edilebilir.
- Tüm kaçak kapasiteler ihmal edilecek kadar küçüktür.
- Uç (Yük) gerilimlerdeki harmonik bileşenler dikkate alınmamıştır.

3. SAYISAL UYGULAMA

Sayısal uygulama için, sinüsoidal olmayan yük akımlarını içeren Şekil 1’deki sekiz baralı bir elektrik güç sistemi göz önüne alınmıştır.



Şekil 1. Sayısal uygulama için örnek enerji sistemi

154 kV’luk ulusal enerji ağından iki yerden beslenen enerji sistemi, B1 ve B5 baralarındaki 154/34.5 kV’luk indirici transformatörler üzerinden dört ayrı hat parçasından oluşmaktadır. B3 ve B7 baralarında ise 34.5/0.4 kV’luk indirici transformatörler yer almaktadır. İletken malzemesi bakırdır. Hem B4 hem de B8 baralarında lineer olmayan (harmonikli) yükler vardır. Örnek sisteme ilişkin bara bilgileri Tablo 1’de, hat parametreleri Tablo 2’de, transformatör parametreleri ise Tablo 3’de verilmiştir.

Örnek sistemin simülasyonu, DIGSilent Power System Analysis Version 10.31 programı kullanılarak yapılmıştır. Yapay sinir ağı (YSA) ile yapılan hesaplamalarda kullanılan geriye-yayımlı algoritması, Borland C++ dilinde yazılmıştır (Blum, 1992).

YSA ile tasarım işlemi şu adımları içerir: (i) Uygun eğitim verilerinin hazırlanması, (ii) Uygun YSA yapısının seçilmesi, (iii) YSA’nın eğitilmesi, (iv) Eğitilmiş ağın test edilmesi (Freeman and Skapura, 1991).

Problemi genelleştirmek için eğitim örneklerinin gerekli bilgiyi içermesi gerekir. Bir eğitim setinin hazırlanması üç aşamayı içerir. Birinci olarak sistem parametreleri seçilir ve yük akış çalışması için hazırlanır. İkinci olarak farklı harmonik spektrumları göz önüne alınarak değişik yük akış çalışmaları gerçekleştirilir. Son olarak elde edilen yük akış örnekleri normalizasyona tabi tutulur. Burada çıkış değerleri, [0.1] aralığında normalize edilmiştir. Normalize etmek demek gerçekte 62 olan bir değeri 0.62 şeklinde ağa uygulamaktır. YSA giriş değerlerine de normalizasyon işlemi uygulanmıştır. Normalizasyondaki amaç, değerler arasındaki çok farklı durumları ortadan kaldırarak değerleri mümkün olduğu kadar sınırlı aralığa getirmektir. Böylece her işlem elemanı, kendisine verilen yerel veriye göre kendisini ayarlayacak ve YSA’nın tüm veri bölgesini öğrenecektir. Aynı normalizasyon parametreleri eğitim verilerinde kullanıldığı gibi, test etme verilerindeki işlemde de kullanılır.

Önerilen YSA yapısının belirlenmesi, giriş ve çıkış sayısının, transfer fonksiyonunun, katman sayısının, ve her bir katmandaki düğüm sayısının seçimini içerir. Üç katmanlı ileri-beslemeli bir ağ, örnek sistemi yeterli derecede modelleyebildiğinden, bu uygulama için önerilmiştir (Şekil 2). Lineer olmayan sigmoid fonksiyonu transfer fonksiyonu olarak kullanılmıştır. Gizli katmandaki düğüm (neuron) sayıları ise farklı ağ konfigürasyonlarını eğitim ve test aşamalarını içeren deneyimlerle kararlaştırılmıştır.

Tablo 1. Örnek Sisteme İlişkin Bara Bilgileri

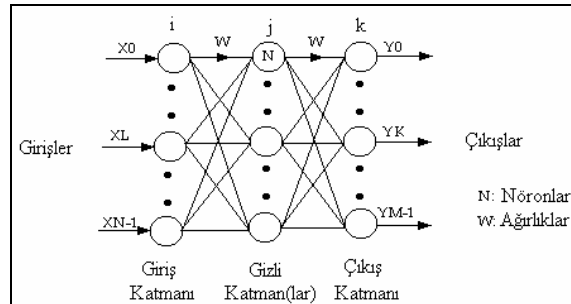
Bara Adı	Nominal gerilim [kV]	Çıkış gerilimi [kV]	M	PGo [MW]	QGo [MVA _r]	M	PLo [MVA _r]	Bara Tipi
B1	154	157.08	1	0.6	1	0	0	SL
B2	34.5	34.5	0	0	0	0	0	PQ
B3	34.5	34.5	0	0	0	0	0	PQ
B4	0.4	0.4	0	0	0	1	0.7173	PQ
B5	154	157.08	1	0.6	1	0	0	SL
B6	34.5	34.5	0	0	0	0	0	PQ
B7	34.5	34.5	0	0	0	0	0	PQ
B8	0.4	0.4	0	0	0	1	0.4160	PQ

Tablo 2. Örnek Sisteme İlişkin Hat Parametreleri

i. Baradan	j. Baraya	n	R [Ohm/Km]	X [Ohm/Km]	B [Siemens/Km]	L [Km]	Nominal Akım [kA]
B2	B3	1	0.1930	0.3200	1200	22	0.357
B2	B6	1	0.1930	0.3200	1200	8	0.357
B3	B7	1	0.1930	0.3200	1200	12	0.357
B6	B7	1	0.1930	0.3200	1200	18	0.357

Tablo 3. Örnek Sisteme İlişkin Transformator Parametreleri

i. Baradan	j. Baraya	n	Nominal Güç [MVA]	Nominal i [kV]	Gerilim j [kV]	Gerilim Düşümü [% Uk]	Bakır Kaybı [%]	Mıkna-tıslanma Akımı [%]
B1	B2	1	40	154	34.5	11.8	160	0.40
B3	B4	1	1.600	34.5	0.400	6	14.5	1.60
B5	B6	1	40	154	4.5	11.8	160	0.40
B7	B8	1	0.315	34.5	0.4	5.8	3.9	2



Şekil 2. Öngörülen YSA modeli

Seçilmiş ağı eğitimi, eğitim örnekleri ve geriye-yayılım (back-propagation) algoritması kullanılarak yapılmıştır. Gerçek çıkışlar ve istenen çıkışlar arasındaki ortalama karesel hatayı iyileştirme işlemi katsayısından (α) yararlanır. Tasarımcı, YSA'nın eğitim ve performansından memnun değilse YSA'nın yapısı ve/veya eğitim verilerini değiştirir ve tasarım işlemini tekrarlar (Hammerstrom, 1993).

Geriye yayılım algoritması ϵ , α katsayıları ve ağırlık değişimi ile şu şekilde formüle edilir:

$$\text{Net Giriş} = \sum X_i W_i \quad (3)$$

$$\text{Yeni Ağırlık} = \epsilon \times \text{Hata} + \alpha \times \text{Eski Ağırlık} \quad (4)$$

Burada, X_i , i . giriş değeri ve W_i ise onun ağırlığıdır. Hata ise hedeflenen değer ile Y_i çıkış düğümü arasındaki farktır (Lippman, 1987).

Bir düğümün çıkışı YSA'nın transfer fonksiyonu kullanılarak hesaplanır. Bu uygulamada denklem (5)'de belirtilen sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır.

$$\text{Düğüm Çıkışı} = \frac{1}{1 + e^{-\text{Net Giriş}}} \quad (5)$$

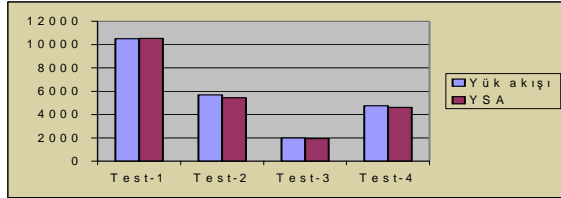
YSA ile analiz yapılırken; harmonik spektrumdaki her bir harmonik bileşen, temel bileşenin yüzdesi cinsinden, DIGSilent yük akış programı ile belirlenen değerler, YSA'ya giriş değişkenleri olarak seçilirken, çıkış büyüklüğü olarak harmonik spektrumdaki tüm bileşenlerin sistem baralarında meydana getirdiği toplam güç kaybı seçilmiştir (İnan, 2004).

Dengeli yüklenme halinde B4 barasından nominal 2375A ve B8 barasından nominal 1000A çekilmektedir. Analizde 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23 ve 25 harmonik dereceleri baz alınmıştır. Harmonik akım yüzdeleri ise temel bileşenin % 2.5 ile % 45 arasında değiştiği varsayılmıştır.

Harmonik spektrumların temel bileşenin %'si cinsinden verilmesi halinde; dengeli yük durumu için harmonik ek kayıpların hesaplanması amacıyla,

YSA eğitim verileri DIGSilent harmonik akış programı ile elde edildikten sonra, 11 ayrı eğitim veri kümesi ile eğitim işlemine başlanmıştır. İterasyon sayısı 100.000 alınmıştır. Yapılan analizler sonucu $n_i = 16$, $n_h = 20$, $n_o = 1$ düğümlü üç katmana sahip bir YSA modeli seçilmiştir. Burada n_i giriş (input) düğüm sayısını, n_h gizli (hidden) düğüm sayısını, n_o çıkış (output) düğüm sayısını göstermektedir. Eğitim işlemi için öğrenme (ϵ) ve momentum (α) katsayıları değiştirilerek YSA'nın öğrenme hatası minimuma getirilmeye çalışılır. Hatanın minimum olduğu andaki ϵ ve α katsayıları belirlenir. Bu örnek için $\epsilon = 0.75$ ve $\alpha = 0.75$ olarak belirlenmiştir. Ayrıca bu aşamada gizli katmandaki düğüm sayısı da eğitim işleminde etkili olmaktadır. Buna göre eğitilen YSA, 16: 20: 1 ağ mimari yapısında seçilmiştir.

Simulasyondan elde edilen değerlerle hesaplanan ek kayıplar, YSA'nın eğitilmesinden sonraki sonuçlarla karşılaştırılmıştır. YSA'dan elde edilen sistemin toplam güç kayıplarının (Watt olarak) harmonikli yük akış çalışmasıyla elde edilen sonuçlara çok az hata ile yaklaşıklık gösterdiği görülmektedir (Şekil 3). Elde edilen YSA çıkış değerleri, ortalama % 2.6 hata ile iyi sonuçlar vermiştir. Bu da başarı oranının yaklaşık % 97 olduğu sonucunu ortaya çıkarmaktadır.

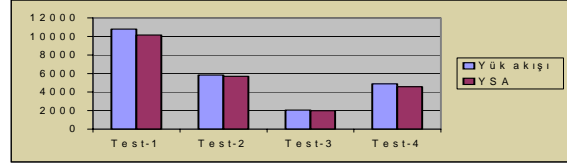


Şekil 3. Dengeli durumda ek kayıpların, yük akışı ve YSA sonuçları

Dengesiz yüklenme halinde ek kayıpların hesaplanması amacıyla, sistemin dengeli yüklenmeye ilişkin anma akımı 1.0 pu (per unit) baz alınmıştır. A, B, C faz akımlarının öngörülen asimetri akım kümesinin I_R ; I_S ; I_T için sırasıyla 1.2; 1; 0.8 katı şeklinde olduğu kabul edilmiştir.

Dengesiz yüklenme hali için, YSA eğitim verileri DIGSilent harmonik akış programı ile elde edildikten sonra 11 ayrı veri kümesi için, harmonik spektrumların temel bileşenin %'si cinsinden verilmesi halinde, eğitim işlemine başlanmıştır. İterasyon sayısı 100.000 alınmıştır. Yapılan analizler sonucu $n_i = 48$, $n_h = 60$, $n_o = 1$ düğümlü bir YSA modeli seçilmiştir. Bu hesaplama için $\epsilon = 0.75$ ve $\alpha = 0.75$ olarak belirlenmiştir.

Dengesiz işletme durumunda oluşan ek kayıpların, yük akışı ve YSA ile karşılaştırılması Şekil 4'de verilmiştir. Elde edilen YSA çıkış değerleri, ortalama % 4.3 hata ile iyi sonuçlar vermiştir. Bu da başarı oranının yaklaşık % 96 olduğu sonucunu ortaya koymaktadır.



Şekil 4. Dengesiz durumda ek kayıpların, yük akışı ve YSA sonuçları

4. SONUÇ

Bu çalışmada; günümüzde çok geniş bir uygulama alanı bulan YSA tekniğinin, iletim kayıp analizinde kullanımı gerçekleştirilmiştir. YSA tasarımı bir kez gerçekleştirildikten sonra, geleneksel yük akış analizindeki gibi sistemin tüm verilerine ihtiyaç duymadan (empedans değerleri, admitans değerleri gibi) güç kayıp analizi yapma yeteneğine sahiptir. Sunulan YSA tabanlı tekniğin, üzerinde çalışılan sistem için uygun bulgular elde ettiği ve diğer sistemlere uygulamak için de bir potansiyele sahip olduğu gösterilmiştir.

5. KAYNAKLAR

- Arrillaga, J., Bradley, D. A. and Bodger, P. S. 1985. Power System Harmonics, John Wiley&Sons, New York.
- Blum, A. 1992. Neural Networks in C++, John Wiley & Sons, New York.
- Burke, J. J. 1994. Power Distribution Engineering Fundamentals and Applications, Marcel Dekker Inc, NewYork.
- Flaten, D. L. 1988. "Distribution System Losses Calculated by Percent Loading" IEEE PWR, 3 (3) : 1263-1269.
- Freeman, J. A. and Skapura, D. M. 1991. Neural Networks: Algorithms, Applications and Programming Techniques, Addison-Wesley, MA.

Gustafson, M. M. and Baylor, J. S. 1989. "Approximating the System Losses Equation" IEEE PWRS, 4 (3): 850-855.

Hammerstrom, D. 1993. "Working With Neural Networks", IEEE Spectrum, July: 46-53.

İnan, A. 2004. Lineer Olmayan Yükleri İçeren Enerji Sistemlerinde Harmonik Kayıpların Yapay Sinir Ağları ile Analizi ve Filtre Maliyetlerinin Kestirimi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.

Lippman, R. P. 1987. "An Introduction to Computing with Neural Nets" IEEE ASSP Magazine, April, 4-22.

Shuter, T. C., Vollkommer, H. T. and Kirkpatrick, T. L. 1989. "Survey of Harmonic Level on the American Electric Power Distribution System", IEEE PWRD, 4 (4): 2204-2213.

Sidhu, T.S., Ao, Z. 1995. "On-line Evaluation of Capacity and Energy Losses in Power Transmission Systems by Using Artificial Neural Networks" IEEE PWRD, 10 (4) : 1913-1919.