

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

85026

LİNEER OLMAYAN YÜKLERİ İÇEREN ENERJİ
SİSTEMLERİNDE HARMONİK KAYIPLARIN
YAPAY SINIR AĞLARI İLE ANALİZİ VE FİLTRE
MALİYETLERİNİN KESTİRİMİ

Elek.Yük.Müh. Aslan İNAN

F.B.E. Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan

DOKTORA TEZİ

TC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
ARSLAN

Tez Savunma Tarihi : 22 Nisan 1999
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hüseyin ÇAKIR (YTÜ)
Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Nesrin TARKAN (KOÜ)
: Prof. Dr. Fahrettin ARSLAN (İÜ)

[Handwritten signatures]

İSTANBUL, 1999

85026

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ.....	v
KISALTMA LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Genel Tanıtım.....	1
1.2. Önceki Çalışmalar.....	4
2. YAPAY SINIR AĞLARI.....	8
2.1. Giriş.....	8
2.2. Tarihsel Gelişimi.....	8
2.3. Yapay Sinir Ağı'nın Tanımı.....	9
2.4. YSA'nın Yapısı.....	10
2.4.1. Bağlantı geometrileri.....	12
2.4.2. Eşik fonksiyonları.....	13
2.4.3. Ağırlık uzayı.....	15
2.4.4. Yapay sinir ağlarında eğitime.....	17
2.4.5. YSA'da bilgiyi saklama (bellek).....	18
2.4.6. Hata toleransı.....	18
2.5. Öğrenme Kuralları.....	19
2.5.1. Perceptron (idrak).....	20
2.5.2. Çok katmanlı perceptron (multi-layer perceptron).....	21
2.5.3. Geriye Yayılma (Back-Propagation) Algoritması.....	22
2.5.4. Genelleştirilmiş delta kuralı.....	23
2.6. Öğrenme ve Momentum Katsayıları.....	29
2.6.1. Öğrenme katsayısı.....	31
2.6.2. Momentum katsayısı.....	30
2.7. YSA Kullanımının Nedenleri.....	30
2.8. YSA'nın Elektrik Güç Sistemlerinde Uygulama Alanları.....	33
2.8.1. Temel algoritmalar.....	33
2.8.2. Güç sistemlerinde mevcut YSA uygulamaları.....	34
2.8.2.1. Güvenilirlik değerlendirmesi.....	37
2.8.2.2. Yük tahmini.....	38
2.8.2.3. Arıza analizi.....	39
2.8.2.4. Alarm işlemleri.....	40
2.8.2.5. Kondansatör anahtarlama.....	40
2.8.2.6. Güç sistem stabilizör (kararlayıcı) ayarı.....	41
2.8.2.7. Girdap akımı analizleri.....	41
2.8.2.8. Harmonik kaynağını izleme.....	41
2.8.2.9. Durum tahmini.....	42
2.8.2.10. Beklenmedik olay analizi (koruması).....	42
2.8.2.11. Elektrik makine kontrol ve analizleri.....	43

2.8.2.12.	Ünite paylaşımı ve planlama.....	44
2.8.2.13.	Nükleer güç istasyonlarında uygulamalar.....	44
3.	GÜÇ SİSTEMLERİNDE HARMONİKLER VE ETKİLERİ.....	46
3.1.	Harmoniklerin Matematiksel İfadesi.....	46
3.2.	Harmonik Analizi ve Genel Kavramlar.....	49
3.2.1.	Harmonik analizi.....	49
3.2.2.	Temel kavramlar.....	51
3.3.	Harmonik Kaynaklar.....	55
3.4.	Harmonik Akımlar.....	58
3.5.	Harmoniklerin Etkileri.....	59
3.5.1.	Harmoniklerin yol açtığı rezonans olayları.....	60
3.5.2.	Kondansatörler üzerindeki etkisi.....	63
3.5.3.	Transformatörler üzerindeki etkileri.....	66
3.5.4.	Döner makinalar üzerindeki etkileri.....	68
3.5.5.	Koruyucu sistemler (röleler) üzerindeki etkiler.....	68
3.5.6.	Ölçme aygıtları üzerindeki etkileri.....	69
3.5.7.	İletişim hatları üzerindeki etkileri.....	70
3.5.8.	Güç elektroniği elemanları ve anahtarlama elemanı üzerindeki etkileri.....	71
3.5.9.	İletim sistemi üzerindeki etkileri.....	71
3.5.10.	Harmoniklerin güç faktörüne etkisi	72
3.5.11.	Diğer Bazı Elemanlar ve Küçük Güçlü Elektrik Tüketicileri Üzerindeki Etkileri.....	73
4.	HARMONİKLERİN SÜZÜLMESİ.....	75
4.1.	Tasarım Sırasında Alınabilecek Önlemler.....	75
4.1.1.	Generatörlerde alınabilecek önlemler.....	75
4.1.2.	Dönüştürücülerde alınabilecek önlemler.....	76
4.1.3.	Transformatörlerde alınabilecek önlemler.....	76
4.1.4.	Yüksek harmoniklerin oluşturduğu rezonansa ilişkin önlemler.....	77
4.2.	Harmoniklerin Süzülmesi.....	78
4.2.1.	Harmonik filtrelerin tanımı.....	78
4.2.1.	Harmonik filtrelerin tanımı.....	79
4.2.3.	Filtre tasarım kriterleri.....	81
4.3.	Filtre Çeşitleri.....	84
4.3.1.	Tek ayarlı filtreler (bant geçiren filtreler).....	84
4.3.2.	Otomatik ayarlı filtreler.....	86
4.3.3.	Yüksek geçiren sönümlü filtreler.....	87
4.4.	Aktif Filtre.....	88
4.4.1.	Aktif filtre konfigürasyonları.....	89
4.4.2.	Aktif filtre ile pasif filtrenin karşılaştırılması.....	91
4.5.	Pasif Filtre Elemanlarının Özellikleri.....	92
4.5.1.	Kondansatör.....	92
4.5.2.	Endüktans.....	93

5.	HARMONİK KAYIPLARIN VE FİLTRELERİN MALİYET ANALİZİ.....	94
5.1.	Harmonik Ek Kayıpların Analizi.....	98
5.2.	Filtre Maliyeti.....	102
5.2.1.	Pasif filtrenin maliyet fonksiyonu.....	103
5.2.2.	Aktif filtrenin maliyet fonksiyonu.....	107
6.	SAYISAL UYGULAMA.....	109
7.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	120
	KAYNAKLAR.....	128
	EKLER.....	144
	Ek 1 Örnek Sisteme İlişkin Simülasyon Sonuçları.....	145
	Ek 2 YSA Program Yazılımı.....	167
	ÖZGEÇMİŞ.....	184

SİMGE LİSTESİ

C	Kapasite
Cu	Bakır
D	Distorsiyon gücü
Df_i	Akım için distorsiyon faktörü
Df_v	Gerilim için distorsiyon faktörü
f	Frekans
i	Faiz oranı
N	Tahmini filtre ömrü
I	Akımın efektif değeri
I_h	Harmonikli akımın efektif değeri
I_n	n. harmonik a kımı
$i(t)$	Ani akım
K	Genel anlamda sabit
k	Dönem başına artım miktarı
L	Endüktans
M	Maliyet (genel anlamada), moment
M_f	Aktif Filtre maliyeti
M_{fn}	Pasif Filtre maliyeti
m_L	Bobin için birim fiyat
m_C	Kondansatör için birim fiyat
n	Harmonik derecesi
P	Aktif güç
P	Şimdiki değer faktörü
p_c	Kondansatörün kayıp gücü
p_L	Bobinin kayıp gücü
p	Tristörlü çeviricilerde darbe sayısı
ΔP_n	(dengeli yüklenmede) n. harmonik kayıpları
$\Delta P'_n$	(dengesiz yüklenmede) n. harmonik kayıpları
Q	Kalite faktörü, reaktif güç
Q_{cn}	Kondansatörün reaktif gücü
Q_{Ln}	Bobinin reaktif gücü
Q_h	Harmonik reaktif güç
Q_L	Bobinin kalite faktörü
R	İletkenin (alternatif akım) direnci
S	Görünen güç
t	Zaman
U	Fazlararası gerilimin efektif değeri
U_h	Harmonik fazlararası gerilimin efektif değeri
V	Faz gerilimi
$v(t)$	Ani gerilim
X	Reaktans
Y	Adminans
[Y]	Admitans matrisi
Z	Empedans
[Z]	Empedans matrisi

δ	Filtre faktörü
ϕ	Faz açısı
ω	(Açısal) frekans, öğrenme oranı
α	Momentum oranı
$[.]$	Matris gösterimi
$\Sigma (.)$	Toplam fonksiyonu
$\partial (.)/\partial t$	Kısmi türev
$f (.)$	Fonksiyon



KISALTMA LİSTESİ

AKE	Aylık Kayıp Enerji Miktarı
AKEM	Aylık Kayıp Enerji Maliyeti
YKEM	Yıllık Kayıp Enerji Maliyeti
ANSI	Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü
AP	Amortisman Payı
BP	Geriye-yayılım (Backpropagation)
FFT	Hızlı Fourier Dönüşümü
IEC	Uluslararası Elektroteknik Birliği
IEE	(İngiliz) Elektrik Mühendisleri Birliği
IEEE	(ABD) Elektrik-Elektronik Mühendisleri Birliği
pu	Per-unit
TIF	Telefon Girişim Faktörü
THD	Toplam Harmonik Distorsiyonu
THD _i	Akım için Toplam Harmonik Distorsiyonu
THD _v	Gerilim için Toplam Harmonik Distorsiyonu
VDE	Alman Elektroteknikerler Birliği
YM	Yıllık Maliyet
YSA	Yapay Sinir Ağları

ÖZET

İdeal bir elektrik güç sisteminde enerjinin tek ve sabit frekanslı ve sabit genlikli belirlenmiş gerilim seviyelerinde olması istenir. Bununla beraber bu şartların hiçbirisi pratikte tam olarak sağlanmaz. Gerilim ve frekans sapması problemi ve bunların kontrol altında tutma yöntemleri, modern güç sistem analizinin tartışma konusudur. Aslında dalga şekli bozulması yeni bir olay değildir. Bu probleme son zamanlarda (son yirmi yılda) artan ilgiyi, lineer olmayan gerilim-akım karakteristiklerine sahip olan eleman ve cihazların artan sayısı, artan uygulamaları ve artan güç değerleri oluşturmuştur.

Bu çalışmanın birinci bölümünde genel bir girişten sonra önceki çalışmalar açıklanmıştır. İkinci bölümde Yapay Sinir Ağları (YSA), eğitime algoritmaları ve öğrenme kuralları incelenmiştir. Bu bölümde YSA'nın güç sistemlerinde uygulamaları da sunulmuştur. Üçüncü bölümde harmonikler için genel matematiksel ifadeler ve kavramlar ile harmonik kaynaklar ve bu kaynakların etkileri verilmiştir. Dördüncü bölümde harmoniklerin yok edilmesi ve filtre (aktif ve pasif) tasarımı açıklanmıştır. Beşinci bölümde ek harmonik kayıplar için bir prosedür ile hem aktif hem de pasif filtreler için maliyet fonksiyonları çıkarılmıştır ve harmonik-maliyet analizi yapılmıştır.

Sayısal uygulama bölümünde lineer olmayan yükleri içeren 8 baralı bir güç sistemi göz önüne alınmıştır. Bir simülasyon programı kullanılarak temel bileşen ve harmonik yük akışı yapıldıktan sonra ilk olarak harmonik kayıplar hesaplanmış ve daha sonra bu kayıplar değişen harmonik spektrum durumları için YSA ile bulunmuştur. İkinci işlemde öngörülen bağıntılar (Bölüm 5) ve elde edilen bilgisayar sonuçlarını kullanarak alçak gerilim için ek harmonik kayıpların ve filtrelerin maliyetleri TL bazında hesaplanmıştır. Son olarak tüm sonuçlar irdelenmiştir. Simülasyon sonuçları DIGSilent Güç Sistem Analiz Yazılımı ile elde edilmiştir. YSA için kullanılan C++ yazılımı EK'de verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Filtre maliyeti, harmonik kayıplar, non-lineer yük, YSA, öğrenme algoritması

ABSTRACT

In the electrical power system, energy is supplied at a single and constant frequency, and at specified voltage levels of constant magnitudes. However, none of these conditions are fulfilled in practice. The problem of voltage and frequency deviations, and the means of keeping them under control, is the subject matter of modern power system analysis. In fact the problem of the waveform distortion (especially due to harmonics) is not a new phenomenon. But the recent growing concern for this problem (for the last twenty years) results from the increasing numbers, applications and power rating of the equipment and devices which have non-linear voltage-current characteristics.

In the first chapter of this thesis, after general introduction previous studies are explained. In the second chapter, artificial neural networks (ANN), training algorithms, learning rules are studied. In this chapter applications in power systems of ANN's are also presented. In the third chapter general mathematical expressions and concepts for harmonics, harmonic sources and effects of them are given. In the 4th chapter, the elimination of harmonics and filter (active and passive) design are explained. In the 5th chapter, a procedure for additional harmonics losses and cost functions for both passive and active filters are derived and harmonic-cost analysis is performed.

In the numerical illustration an 8-bus power system including non-linear loads is considered. After fundamental and harmonic load flow is performed using a simulation program, firstly harmonic losses are computed and then these losses -for changing harmonic spectrum situations- are found by ANN. Secondly, using proposed expressions (in Chapter 5) and obtained computer results the cost of the additional harmonic losses and filter for low-voltage are computed in TL (Turkish Lira). The economic comparison of passive and active filters is given in table. Finally, the overall conclusions are discussed. Simulation results based on Digsilent Power System Analysis Software. C++ software for ANN is given the Appendix.

Keywords: Filter cost, harmonic losses, non-linear load, ANN, training algorithm

Elektrik güç kalitesi, hem elektrik şirketlerini hem de kullanıcıları önemli ölçüde ilgilendirmektedir. Güç kalitesi kavramı, iletim sistemi arıza çalışmalarından bilgisayar bilgi hatlarındaki geçici gerilim dalgalanmanın bastırılmasına kadar geniş bir sahayı kapsar; bu şekliyle güç sistem bozukluklarının çeşitli tiplerini bir araya toplayan bir şemsiye gibi görülebilir.

Referans alınan konuya göre güç kalitesinin tanımı değişebilir. Örneğin alıcılar açısından düşünüldüğünde temel olarak güç kalitesi problemi, alıcı teçhizatlarının yanlış çalışması veya bozulmasıyla sonuçlanan gerilim, akım veya frekansta ortaya çıkan herhangi bir problemdir (Dugan vd., 1996). Daha önceleri bir güç sistemini bozan etkiler tek tek ele alınırken, 1980'li yıllardan itibaren bütün bozucu etkiler güç kalitesi problemi olarak ele alınması düşünülmüştür. Bu düşüncenin bir ürünü olarak da 1991'de güç kalitesi üzerine uluslararası bir konferans düzenlenmiştir; periyodik olarak da düzenlenmeye devam etmektedir. Güç kalitesi kavramı, çoğu durumda gerilim kalitesi olarak algılanır. Güç kalitesi alanındaki standartlar (IEEE, P1159 ve IEC 1000-2-1 vb), kaynak gerilimini belirli sınırlar içinde tutmayı hedeflemişlerdir. Alternatif akım güç sistemleri, verilen frekansta (tipik olarak 50 veya 60 Hz) sinüs gerilimli olarak çalışmak için tasarlanmıştır. Genlik, frekans ve dalga şeklinin orijinalliğindeki herhangi bir sapma, olası bir güç kalitesi problemi olarak görülebilir.

İşte bu enerji üretimi, iletimi ve tüketimi aşamasında meydana gelen bozulmalar, güç sisteminde başta harmonikler olarak günümüzün önemli bir çalışma alanını oluşturmaktadır. Gerilim dalga şeklindeki bozulmanın en önemli nedeni, uç gerilimi ile akımı arasındaki bağıntısı lineer olmayan yüklerdir. Böyle yüklere lineer olmayan yükler denir ki; böyle yüklere sinüs biçiminde bir gerilim uygulandığında yükün akımı sinüs biçimli olarak değişmez ve harmonik bileşenler içerir. Harmonik içeren akımlar devrelerini şebekedeki diğer elemanlar üzerinden tamamlayarak harmonik gerilimleri oluştururlar. Bu gerilimler ise başlangıçta sinüs kabul edilen gerilimin dalga şeklini bozar. Bu bozulma, yükün meydana getirdiği harmonik akımın değerine, civar tüketicilerin ve şebekenin parametrelerine doğrudan doğruya bağlıdır. 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 aşağıdaki belirtildiği gibi 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, yarıiletken 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. Bazı ülkelerde, şebeke kısa devre gücüne göre sınırlamalar da getirilmektedir. Mevcut harmoniklerin tek tek ifadesi ise genelde temel bileşenin yüzdesi cinsinden verilmektedir.

Bir güç sisteminde güç kayıplarının doğru ve hızlı olarak değerlendirilmesinin önemi son günlerde daha fazla artmış durumdadır. Bugün modern güç sistemlerinde ekonomik işletme önem kazanmıştır. Harmoniklerin giderek artış göstermesi ve buna bağlı olarak gelen ek kayıpların belirlenmesi, uygun önlemlerin alınması gerekli görülmektedir. Enerji iletim sistemi kayıplarının tahmini için birçok yaklaşık metod önerilmiştir. Ancak yüksek doğruluk ve hız olguları bir kayıp değerlendirme metodolojisinde iki önemli gereksinimdir. Daha fazla doğruluk değerlendirmesi için daha fazla ayrıntılı modelleme gereklidir. Günümüzde güç sistem analiz çalışmalarında birçok yeni yöntem geliştirilmiştir. Bunlar arasında sonlu elemanlar, yapay sinir ağları, fuzzy lojik ve genetik algoritmalar sayılabilir. Bu çalışmanın konusu oluşturan yapay sinir ağları çok değişik alanlarda kullanılabilen oldukça popüler bir konudur. Güç sistem mühendisliği için son yıllarda YSA ile yapılan çalışmaların çokluğu konunun oldukça ilgi çekici olduğunu göstermiştir. Bu konudaki çalışmalar Bölüm-2’de yapay sinir ağlarının güç sistemlerinde uygulama alanları başlıklı kısımda daha ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.

Bu çalışmada harmoniklerin oluşturduğu ek kayıpların doğru ve hızlı bir şekilde hesaplanması için yapay sinir ağları yöntemi ile uygun bir kayıp değerlendirme algoritması sunulmuş, harmoniklerin elektrik tesislerinde neden olduğu olumsuz etkileri sınırlamak

veya yok etmek için kurulması artık bir gereklilik olarak görülen filtre düzeneklerinin maliyeti elektrik güç sistem ekonomisi çerçevesinde ele alınmıştır.

1.2. Önceki Çalışmalar

Enerji iletim ve dağıtım hatlarında meydana gelen dalga şekli bozulması yeni bir olay değildir. Bu problemler, senkron ve asenkron makinalardaki ısınma ve salınımlar, telefon hatlarındaki parazitler ve güç kondansatörlerinin arızalanması olarak bilinmekteydi. Yüzyılın başında transformatörlerin lineer olmayan karakteristiği ile üretilen harmonikler ve yıldız-üçgen (Y/ Δ) bağlamadaki 3. dereceli harmoniklerin oluşumu araştırılmıştır (Clinker, 1914; Curtis, 1914). İkinci Dünya Savaşı sonrasında özellikle doğrultucuların kullanımı artmıştır. Günümüzde bile hala geçerliliğini koruyan statik dönüştürücülerin harmonik üretimi üzerinde durulmuştur (Read, 1945). Silikon teknolojisinin gelişmesi sonucu 1957 yılında bulunan tristör elemanı güç elektroniği uygulamalarında bir devrim yapmıştır. Doğru akımla enerji iletiminin detaylı bir araştırması ve dönüştürücü istasyonlarının (doğrultucu-evirici) çalışma karakteristikleri ilk kez Kimbark tarafından ortaya konulmuştur (Kimbark, 1971).

Artan kullanım sayısı ve seviyesi nedeniyle modern güç sistem analizlerinde artık harmoniklerin dikkate alındığı güç akış çalışmaları da yapılmaktadır. Harmonik analiziyle ilgili olarak geliştirilen ilk bilgisayar destekli çözümleme tekniği, o zamanlar için en önemli harmonik kaynak olarak görülen doğru akımla enerji iletimi (HVDC) problemlerine yöneliktir (Hingorani vd., 1966, 1968; Hay ve Hingorani, 1970). Bu yöntemde çeviriciler birer ideal anahtar olarak modellenmekte ve sistemi karakterize eden lineer olmayan denklemler sayısal olarak çözülmektedir. Özellikle 1970'lerden sonra güç elektroniğinin hızla gelişme kaydetmesi, elektrikli cihazların güç kontrollerinin genellikle çeşitli elektronik elemanlar kullanarak elde edilen elektronik devreler ile gerçekleştirilmesine neden olmuştur. Bunların şebekeden çektikleri akımlar sinüs eğrisi biçiminde olmadıklarından, akım harmoniklerini içerirler. Geçmişte, şebekede harmonik meydana getiren etkiler ve bunların meydana getirdiği harmonik etkiler küçüktü. Bugün ise güç elektroniğinde meydana gelen gelişmeler, harmoniklerin şebeke ve tüketicilerde meydana getirdiği problemleri çok büyüttülmüştür. Özellikle silikon kontrollu

doğrultucular, güç transistörleri ve mikroişlemcili kontrol gibi tekniklerin büyük payı vardır. 1980 yıllardan itibaren lineerleştirilmiş modellemeye dayanan teknikte harmonik kaynakları ideal akım ve gerilim kaynakları şeklinde gösterilmiştir (Owen ve Granaghan, 1980; Granaghan vd., 1981, Johnson vd., 1982). Bir diğer daha gelişmiş teknik ise lineer olmayan frekans domen analizidir. Bu yöntemde lineer olmayan yüklerin gerilim ve akımların Fourier eşdeğerleri göz önüne alınmış ve güç akışı için de Newton-Raphson Yöntemi kullanılmıştır (Xia ve Heydt, 1982).

Modern güç sistemi analizinde bilinen değerlerle iteratif çözüme dayalı simülasyon tekniğinin kullanıldığı harmonik analiz sonucunda;

- ulaşılabilecek en düşük harmonik distorsiyonu ile çalışmak için
- filtre tasarımı yapılacak harmonik frekanslarının belirlenmesi için
- şebeke dengesizliklerinin etkilerinin ortaya konması için
- hatlarda ve fiderlerde akan harmonikli akım dağılışının ve buna bağlı olarak da hat ve fider ek kayıplarının ve dolayısıyla transformatörlerin ek yüklenmesinin belirlenmesi
- ileriki yıllarda payı giderek artacak olan lineer olmayan yüklerin tüm sistem üzerindeki etkilerini gözlemlemek için

etkili ve gerçekçi bir yaklaşım sergilenebilir.

Mevcut şebekelerde 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.

Bu konuda etkili tedbirler alınabilmesi için, sadece incelenen şebekede meydana gelen toplam kayıpların bilinmesi yeterli değildir, aynı zamanda bu kayıpların çeşitli yük durumları ve değişik topolojiler göz önüne alınarak da elde edilmesi oldukça önemlidir. Yani sistemin işletilmesi esnasında karşılaşılabilecek işletim şartlarını da göz önüne almak gerekir. Çünkü gitgide artan karmaşık güç sistemlerini en iyi bir şekilde işletmek için bu gereklidir.

Özellikle dağıtım sistemlerindeki kayıpların hesaplanması üzerinde çok durulan bir konudur. Bu konuda çeşitli klasik dağıtım sistemi konfigürasyonları ve formülleri verilmiştir (Freeman, 1968; Sun vd., 1980; Flaten, 1988). Enerji veya talep kaybı bilinirken ikisinden birini belirlemek için Gustafson vd. (1988)'nin çalışmasında “eşdeğer saat kayıp faktör denklemi” kullanılmıştır. Bu çalışmada alıcı yükünün bir fonksiyonu cinsinden alt dağıtım kayıplarının hesaplanması yapılmıştır. Gustafson ve Baylor (1989) ise kayıp denklemini saat başı sistem yüklerine ve transformatör kayıplarına dayandırarak elde etmişlerdir. Bu metod, kayıp denklem bilgisinde direkt olarak göz önüne alınmayan sistem topolojisi, talep örneği ve üretimin değişimi gibi kesin olmayan durumlara uygulanabilir.

Hiyerarşik kayıp değerlendirme prosedürü Nadira vd. (1993)'de sunulmuştur. Bu çalışmada optimal güç akışı (Optimal Power Flow, OPF) programı kullanılarak hesaplanabilen doğru güç kayıplarının bulunduğu kayıp değerlendirme prosedürü verilmiştir. Enerji kayıpları, kayıp-yük ilişkisi kurularak ve değişik işletim tarzı göz önüne alınarak integrasyon vasıtasıyla hesaplanır.

Bir güç sisteminin güç kayıpları sistem konfigürasyonunun, yük modellerinin, üretimin, talep örneğinin ve sistem işletimindeki farklı gerilim seviyelerinin kompleks fonksiyonları olarak ifade edilebilir. Bu kompleks planlama amacını gerçekleştirmek için paralel bilgi işleme özelliği olan bir algoritma kullanmak gerekecektir. Bu çalışmada sunulan YSA, bu yeteneğe sahiptir ve istenen planlama modellerine uygun hale getirilebilir.

Oldukça yeni bir çalışma konusu olan YSA günümüzde bir çok güç sistem problemine uygulanmıştır. Bu konuda Sagar vd. (1993) ve Wong (1993) tarafından geniş bir bibliyografi sunulmuştur. YSA ile harmoniklerin varlığı durumunda da çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Mori vd. (1989), Osowski (1992) ve Pileggi vd. (1981) harmonik bileşenlerin tahminini YSA ile gerçekleştirmiş, Ogi vd. (1991) YSA destekli GIS (Geographical Information System) tabanlı arıza ihbar sistemi kurmuş, Meliopoulos ve Martin (1992) harmonikli sistemlerde kabloların kayıplarını ve yüklenebilirliklerini YSA ile hesaplamış, Ghosh ve Lubkeman (1995) güç sistem bozukluklarını YSA ile sınıflandırmış, Sidhu (1995) iletim sistemlerindeki kayıpları YSA ile değerlendirmiş, Dash vd. (1996) güç sistem harmoniklerinin izlenmesi için adaptif bir algoritma sunmuştur.

Son yıllarda artan bir ilgiye sahne olan harmoniklerin meydana getirdiği etkiler ekonomik olarak da değerlendirilmelidir. Ancak bu konuda pek fazla bir çalışma yoktur. Harmonikli enerji sistemlerinin ekonomik yönden incelenmesi durumda ek güç kayıplarının ve filtrelerin maliyeti göz önüne alınmalıdır. Emanuel vd. (1991) bu konuda çok geniş bir perspektifte gelecek 20 ve 30 yılı da içine alan bir çalışma yapmış ve genel kavramlar üzerinde durmuştur; daha sonra Kawann ve Emanuel (1996) aynı çalışmaları formüle dökmüşler ve sayısal sonuçlar vermişlerdir.



BÖLÜM 2

YAPAY SİNİR AĞLARI

2.1. Giriş

Yapay Sinir Ağları (YSA), insan beyninin çalışma sisteminin yapay olarak taklit edilmesi sonucu ortaya çıkmıştır. YSA, insan beynindeki nöronlara karşılık gelen yapay basit işlemcilerin birbirlerine değişik etki seviyeleri ile bağlanmasından oluşan karmaşık bir sistemdir. Önceleri temel tıp bilimlerinde insan beynindeki nöronların matematiksel modelleme çabaları ile başlayan çalışmalar, geçtiğimiz on sene içerisinde disipline bir şekil almıştır. YSA bugün fizik, matematik, elektrik ve bilgisayar mühendisliği gibi çok farklı bilim dallarında araştırma konusu haline gelmiştir. Yapay sinir ağlarının pratikte kullanımı genelde değişik yapıda ve formlarda bulunabilen verileri hızlı bir şekilde sınıflandırma, tanımlama ve algılaması üzerinedir. Aslında mühendislik uygulamalarında YSA'nın geniş çaplı kullanımının en önemli nedeni, klasik tekniklerle çözümü zor problemler için etkin bir alternatif oluşturmasıdır. Yapay sinir ağları, geniş bir alana yayılmış bilim ve mühendislik problemlerinin çözümü için uygulanmaya devam etmektedir. Yapay sinir ağlarının matematiği, biyolojik sistemlerin yararlı özellikleri kullanılarak elde edilmiştir. Biyolojik sinir sistemlerinde olduğu gibi, yapay sinir ağları da kendi çözüm tarzlarını bulmak için eğitilebilirler.

2.2. Tarihsel Gelişimi

1940'lar, YSA'nın gelişiminin başlangıç yılları olarak kabul edilir. Bu tarihlerde McCulloch ve Pitts, ilk nöron (sinir, hücre) modelini geliştirdiler. Nöronun lojik fonksiyonlarını sağlayan basit bir eşik cihazı olarak modellenebileceğini gösterdiler (Culloch, 1943). Donald Hebb "The Organization Behavior" adlı kitabında hücrese seviyede beynin öğrenme mekanizmasından bahsetmiştir (Hebb, 1949). 1950'lerde Rosenblatt, basit nöron modellerine dayalı (perceptron) modelini ve öğrenme kuralını geliştirdi ve bugün kullanılan kuralların temellerini koydu. 1960 yılında Widrow ve Hoff, bu basit algılayıcı modellerini kullanarak ilk öğrenebilen adaptif sistemleri geliştirdiler.

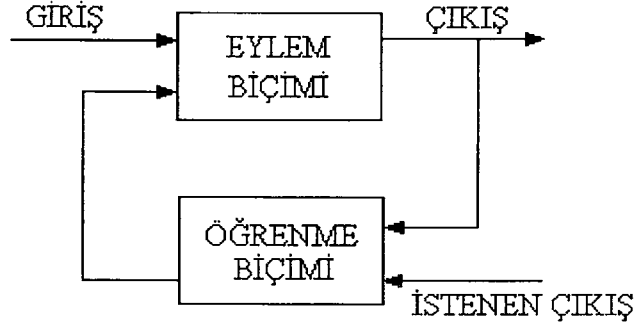
Minsky ve Papert, 1969 yılında yayınladıkları Perceptron adlı kitapta algılayıcının kesin analizini yapmışlar ve karmaşık lojik fonksiyonlar için kullanılamayacağını iddia etmişlerdir. Bunun üzerine YSA üzerine yapılan araştırmalar hemen hemen durmuştur. Ancak 1976'da Grossberg, Adaptif Rezonans Teoriyi (ART), 1982'de J.J.Hopfeld, optimizasyon gibi teknik problemleri çözmek için lineer olmayan dinamik Hopfield ağını ve 1984'te de Kohonen eğiticişiz öğrenen bir ağı “Self Organizing Maps” geliştirmişlerdir. 1986 yılında Rumelhart, “Parallel Distrubuted Processing” grubu ileri beslemeli modellerde yeni öğrenme modeli olan hatanın geriye yayılması algoritmasını (back propogation algorithm, BG) geliştirerek, bu konuda daha önce iddia edilen aksaklıkların aşılabileceğini göstermişlerdir (Lippman, 1987; Hecht-Nielsen, 1990, Hammerstrom, 1993). Bugün endüstride birçok YSA uygulamasında geriye yayılım algoritması kullanılmaktadır.

IEEE, 1989 yılında “Neural Computation” ve 1990 yılında da “IEEE Transactions on Neural Networks” adlı periyodikleri bilim dünyasına sundu. Bu periyodikler günümüzde de çıkmaya devam etmektedir. 1991 yılında da birinci yapay sinir ağlarının güç sistemlerine uygulamaları konusunda IEEE desteğinde uluslararası bir sempozyum düzenlenmiştir.

2.3. Yapay Sinir Ağıının Tanımı

YSA paralel dağılmış bir bilgi işleme sistemidir. YSA'nın temelinde, zeka gerektiren işlemlerden oluşan bilgi işleme işlevi vardır. Bu sistem, tek yönlü işaret kanalları (bağlantılar) ile birbirine bağlanan işlem elemanlarından oluşur. Çıkış işareti bir tane olup isteğe göre çoğaltılabilir. YSA yaklaşımının temel düşüncesiyle, insan beyninin fonksiyonları arasında benzerlik vardır. Bu yüzden YSA sistemine insan beyninin modeli denilebilir. YSA çevre şartlarına göre davranışlarını şekillendirebilir. Girişler ve istenen çıkışların sisteme verilmesi ile kendisini farklı cevaplar verebilecek şekilde ayarlayabilir. Ancak son derece karmaşık bir iç yapısı vardır. Bu sebeple bugüne kadar gerçekleştirilen YSA, biyolojik fonksiyonların temel nöronlarını örnek alarak yerine getiren kompoze elemanlardan oluşmaktadır. Aynı şekilde biyolojik beyin, tecrübe ile öğrenme ve bilgiyi kendi kendine yorumlama, hatta eksik bilgilerden sonuçlar çıkartma kabiliyetine sahiptir.

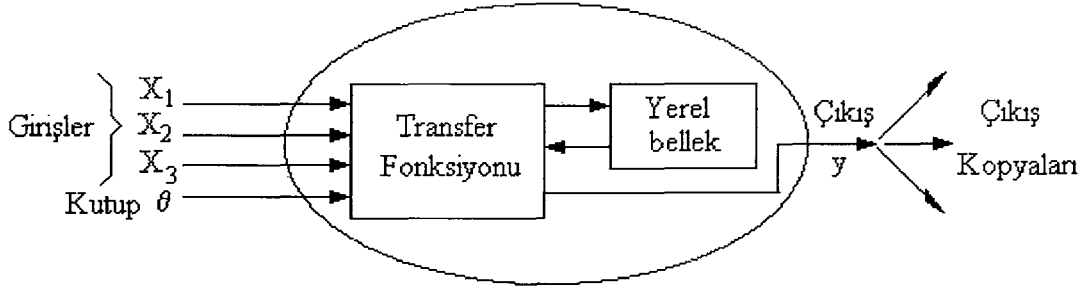
Bu, daha çok biyolojik sistemlerin hücreler üzerinde dağıtılmış bilgiyi paralel olarak işleme özelliklerinden kaynaklanır. Hücreler birbirine bağlı ve paralel çalıştılarından bazılarının işlevini yitirmesi halinde, diğerleri çalıştığı için sinir sistemi, fonksiyonunu tamamen yitirmez. İşte yapay sinir ağları, bu özellikleri bünyesinde toplayacak şekilde geliştirilmiştir. Yapay sinir ağının genel blok diyagramı Şekil 2.1’de görülmektedir.



Şekil 2.1 YSA'nın blok diyagramı

2.4. YSA'nın Yapısı

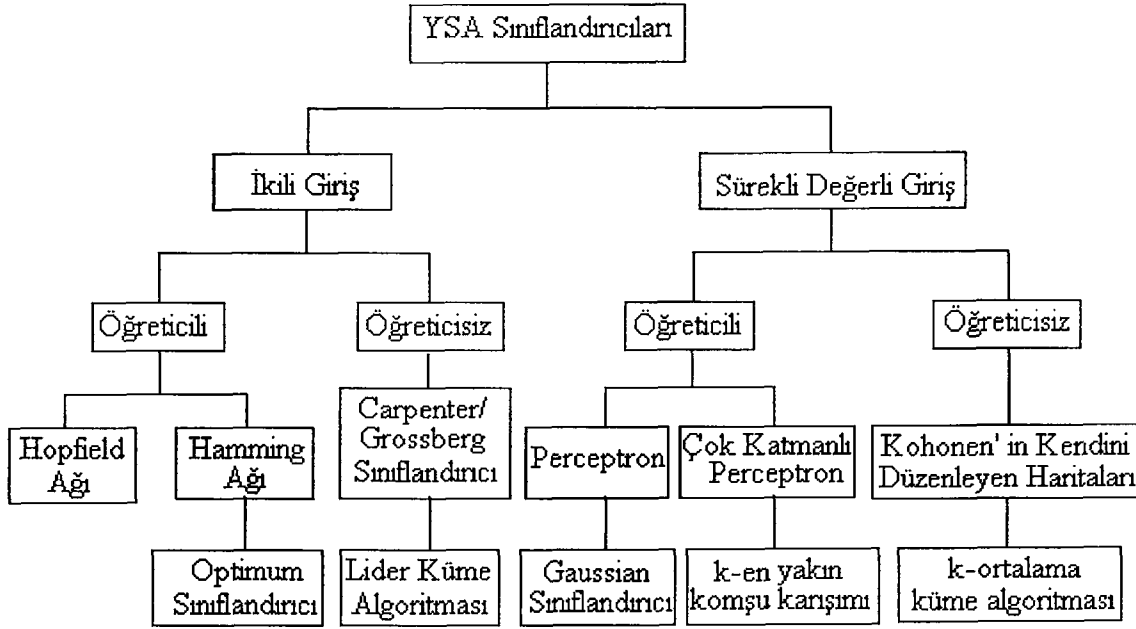
Yapay sinir ağı temel olarak basit yapıda ve yönlü bir graf biçimindedir. Ağın her bir düğümü hücre denilen n. dereceden lineer olmayan bir devredir. Düğümler işlem elemanı olarak tanımlanır ve aralarında bağlantılar vardır. Her bağlantı tek yönlü işaret iletim yolu (gecikmesiz) olarak görev yapar. Her işlem elemanı istenildiği sayıda giriş bağlantısı ve tek bir çıkış bağlantısı alabilir. Fakat bu bağlantı kopya edilebilir. Yani bu tek çıkış birçok hücreyi besleyebilir. Ağdaki tek gecikme, çıkışları ileten bağlantı yollarındaki iletim gecikmeleridir. İşlem elemanının çıkışı istenilen matematiksel tipte olabilir. Giriş işaretleri YSA'ya bilgi taşır. Sonuç ise çıkış işaretlerinden alınabilir. Şekil 2.2’de genel bir işlem elemanı (nöron, düğüm) gösterilmiştir.



Şekil 2.2 YSA genel işlem elemanı yapısı

YSA birtakım alt kümelerle ayrılabilir. Bu alt kümelerdeki elemanların transfer fonksiyonları aynıdır. Bu küçük gruplara "katman" (layer) adı verilir (çok katmanlı perceptron, MLP gibi). Ağ, katmanların birbirlerine hiyerarşik bir şekilde bağlanmasından oluşmuştur. Dış dünyadan alınan bilgi giriş katmanı ile taşınır. Giriş katmanı düğümlerinin transfer fonksiyonları yoktur. YSA transfer fonksiyonu ve yerel bellek elemanı bir öğrenme kuralı ile giriş çıkış işareti arasındaki bağıntıya göre ayarlanır. Aktif yapma girişi için bir zamanlama fonksiyonu tanımlaması gerekebilir. Kısaca bir YSA'dan beklenen görev, gerçek dünyadaki nesneler ile biyolojik sinir ağının yaptığı işlevi, benzer bir yolla yerine getirmesidir. YSA'nın giriş veri tipleri ikili (binary) 0-1 veya sürekli değerlerdir. Bu giriş durumlarından başka, işlem elemanlarına ait girişleri matematiksel olarak da sınıflamak gerekmektedir. Bir işlem elemanına gelen girişler matematiksel tiplerine göre etiketlenilerek sınıflandırılır. YSA, giriş veri tiplerine göre ikili giriş (0,1) ve sürekli değerli giriş olmak üzere Şekil 2.3'de gösterildiği gibi sınıflandırılır.

Yapay sinir ağlarının görevlerini gerçekleştirmede, sahip oldukları fiziksel yapının da önemi vardır. Bugün 50' ye yakın farklı yapılanma, diğer bir deyişle farklı model görülmekte ve bu sayı her geçen gün artmaktadır (Özmetler, 1989). Farklı yapılaşma, işlem elemanlarının birbirleriyle olan bağlantılarından ve uygulanan öğrenme kuralından kaynaklanmaktadır.



Şekil 2.3 Yapay sinir ağları sınıflandırıcıları

2.4.1. Bağlantı geometrileri

Bağlantı geometrisi YSA için çok önemli olduğu için, bağlantılarda taşınan işaret verisinin cinsi tanımlanmalıdır. Bağlantı işareti her cinsten olabilir. Bağlantının nerede başlayıp nerede bittiğinin bilinmesi gerekir. 1'den n'e kadar olan bir işlem elemanı kümesinin bağlantıları aşağıda tanımlandığı gibi $n \times n$ boyutlu matris biçiminde gösterilebilir.

$$[w_{ij}] = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \dots & w_{1n} \\ w_{21} & w_{22} & \dots & w_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{n1} & w_{n2} & \dots & w_{nn} \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Bu matrisin elemanlarında;

$w_{ij} = w_{ji} = 1 \Leftarrow$ i. işlem j. işlem elemanına bağlı

$w_{ij} = w_{ji} = 0 \Leftarrow$ i. işlem j. işlem elemanına bağlı değil

Bağlantılar çeşitli geometrik bölgeler arasında demetler halinde düşünülebilir. Bu bağlantı demetlerinin uyması gereken kurallar şunlardır:

- Bağlantı demetini oluşturan işlem elemanları aynı bölgeden çıkmalıdır
- Bağlantı demetinin işaretleri aynı matematiksel ve sınıftan olmalıdır
- Bağlantı demetinin bir seçim fonksiyonu olmalıdır.

YSA uygulamalarında kullanılan üç çeşit ağ tipi vardır:

- İleri beslemeli ağ: Her bir katmandaki hücreler sadece bir önceki katmanın hücrelerince beslenir.
- Kaskat bağlantılı ağ: Hücreler sadece önceki katmanlardaki hücrelerce beslenir.
- Geri beslemeli ağ: En az bir hücre sonraki katmanlardaki hücrelerce de beslenir.

2.4.2. Eşik fonksiyonları

Transfer veya işaret fonksiyonları olarak da adlandırılan eşik fonksiyonları; muhtemel sonsuz domen girişli işlem elemanlarını, önceden belirlenmiş sınırdaki çıkış olarak düzenler. Şekil 2.4'de görüldüğü gibi dört tane yaygın eşik fonksiyonu vardır. Bunlar, sırasıyla lineer, rampa, basamak ve sigmoid fonksiyonlarıdır.

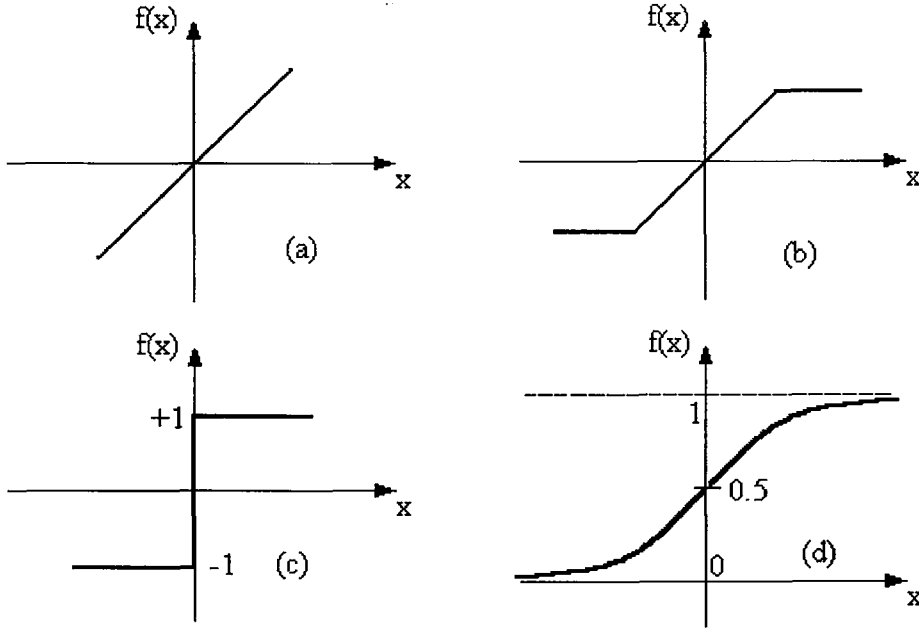
Şekil 2.4.a da gösterilen lineer fonksiyonun denklemi aşağıdaki gibidir:

$$f(x) = \alpha x \quad (2.2)$$

Formülde α , işlem elemanının x aktivitesini ayarlayan reel değerli bir sabittir. Lineer fonksiyon $[-\tau, +\tau]$ sınırları arasında kısıtlılığında Şekil 2.4.b'deki şekil rampa eşik fonksiyonu olur ve denklemi,

$$f(x) = \begin{cases} \tau: & \text{eger } x \geq \tau \\ x: & \text{eger } |x| < \tau \\ -\tau: & \text{eger } x \leq -\tau \end{cases} \quad (2.3)$$

şeklini alır.



Şekil 2.4 Çok kullanılan eşik fonksiyonları (Rampa (a), rampa eşik (b), basamak (c), sigmoid (d) eşik fonksiyonları)

$+\tau$ ($-\tau$) işlem elemanının maksimumu (minimumu), çoğu zaman doyma seviyesi olarak adlandırılan çıkış değeridir. Eğer eşik fonksiyonu bir giriş işaretine bağlı ise yaydığı $+\tau$ giriş toplamı pozitif, bağlı değilse eşik basamak fonksiyonu $[-\delta]$ olarak adlandırılır. Şekil 2.4.c, basamak eşik fonksiyonunu gösterir ve denklemi,

$$f(x) = \begin{cases} \tau & \text{eger } x > 0 \\ -\delta & \text{diger durumlar} \end{cases} \quad (2.4)$$

şeklindedir.

Bu çalışmada eşik fonksiyonu olarak kullanılan ve (2.5) ile bağıntısı verilmiş olan S biçimindeki sigmoid fonksiyonu (Şekil 2.4.d), seviyeli, lineer olmayan çıkış veren, sınırlı, monoton artan bir fonksiyondur;

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (2.5)$$

Her işlem elemanı kendisine verilen yerel veriye göre, kendisini ayarlayacak bütün YSA'nın veri bölgesinin öğrenmesini sağlar. Veri bölgesi bir çok uygulamada, gerçek değerler "0" ile "1" arasında normalize edilmesini gerektirir. Normalizasyon aynı anda bütün girişlere uygulanabilir.

2.4.3. Ağırlık uzayı

Bir çok YSA öğrenme işlemi, işlem elemanlarının ağırlığı değiştirilerek sağlanır. Böylece tanımlanan ağırlık değiştirilerek öğrenmede iyi bir model kullanıp, ağırlıkların bu modele göre değiştirilmesi esastır. Basit bir matematiksel model olarak her bir işlem elemanının "n" adet gerçek ağırlığı olduğu düşünülerek ve N adet işlem elemanı göz önüne alınırsa;

$$w = (w_{11}, w_{12}, \dots, w_{1n}, w_{21}, w_{22}, \dots, w_{2n}, \dots, w_{N1}, w_{N2}, \dots, w_{Nn})^T \quad (2.6)$$

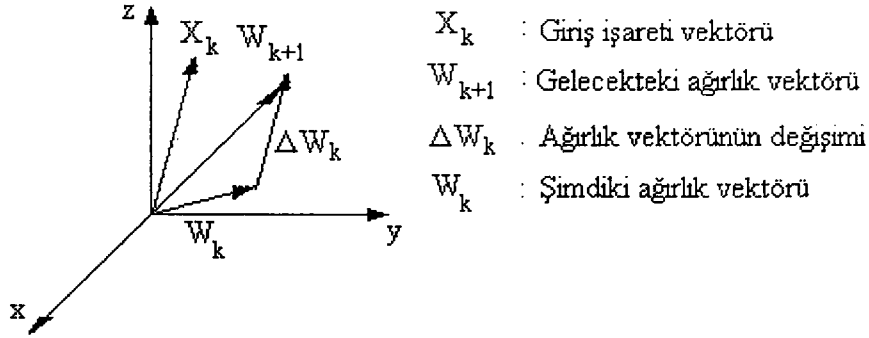
$$w = (w_1^T, w_2^T, w_3^T, \dots, w_N^T) \quad (2.7)$$

Burada $w_1, w_2, \dots, w_N$ işlem elemanlarının ağırlık vektörleridir.

$$w_1 = \begin{bmatrix} w_{11} \\ w_{12} \\ \vdots \\ w_{1n} \end{bmatrix}, \dots, w_N = \begin{bmatrix} w_{N1} \\ w_{N2} \\ \vdots \\ w_{Nn} \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

YSA ağırlık vektörü N, n boyutlu orkid uzayında yayılır. YSA'nın veri işleme performansı, ağırlık vektörünün belirli bir değeri ile bulunacaktır. Şekil 4.5'de ağırlıkların düzeltiminin vektörel çizimi verilmiştir.

Şekilde görüldüğü gibi $\Delta \vec{W}_k, \vec{X}_k$ ile aynı doğrultuda olduğunda istenen hata düzeltimini en küçük ağırlık değişimi ile elde etmek mümkündür. Böylece yeni bir giriş örüntüsü uygulandığında önceki eğitim örüntülerinin cevabı en az bozulmuş olur. Hata değişimini inceleyen iki çeşit kural vardır: (1) Hata düzeltme kuralları, (2) Gradyen kuralları.



Şekil 2.5 Üç boyutlu uzayda ağırlık vektörünün değişimi

Hata düzeltme kuralları; her bir giriş örüntüsünde ağırlıkları yeniden uyarlayarak çıktı hatasını en aza indirmeye çalışırlar. Gradyen kurallarında ise, ağırlıklar yeniden ayarlanarak ortalama karesel hata (Mean Square Error, MSE) en aza indirilmeye çalışılır.

Bu noktada gradyen kuralından kısaca bahsedecek olursak, hatayı düzeltmenin (yani minimize etmenin) geometrik bir yorumunu yapmak mümkündür. Bunu yapabilmek için ağırlıkların mümkün olan tüm değerleri, hataların kareleri toplamına karşı gelecek şekilde üç boyutlu koordinat sisteminde çizilir. Bu çizim sonunda hata yüzeyi küresel bir top şeklindedir. Bu yüzeyi bir tasa da benzetmek mümkündür. Tasın en alt kısmı, hataların kareleri toplamının en küçük değerlerine karşı gelmektedir. Eğitim sırasında amaç, ağırlıklar kümesinin en iyisini bulmak için en alt kısma ulaşmaktır. Geriye-yayılım algoritması (Back Propagation Algorithm, GB) o andaki ağırlıklar yerine, yüzey hatasının eğimini hesaplayarak amacına ulaşır. Daha sonra da bu ağırlıkları tasın alt kısmına doğru artımsal olarak değiştirir. İşte bu artımsal olarak tasın üst kısmından alt kısmına doğru ilerleme işlemine “gradyen iniş” denir.

Ağırlık vektörü ile çalışan YSA'da önemli noktalardan birisi, bir öğrenme kuralı geliştirip, veri bölgesi kullanarak (eşik fonksiyonu ile) ağırlık vektörü "w" yı istenilen YSA performansı verecek noktaya yöneltmektir. Genellikle öğrenme kuralı için bir performans ya da maliyet fonksiyonu tanımlanır. Minimizasyon veya maksimizasyon ile "w" vektörü bulunur. Bir performans çeşidi olarak bilinen, MSE (karesel ortalama hata) şu şekilde tanımlanır:

$$F(w) = \oint_A |f(x) - G(x, w)|^2 \rho(x) dv(x) \quad (2.9)$$

Burada

$y=G(x,w)$: sistemin giriş çıkış fonksiyonu.

y : çıkış işareti vektörü

x : giriş işareti vektörü

w : ağırlık vektörü

$\rho(x)$: olasılık yoğunluk fonksiyonu

olup amaç $F(w)$ 'yı küçültmeye çalışmaktır.

2.4.4. Yapay sinir ağlarında eğitime

Eğitime algoritmaları yapay sinir ağlarının (YSA) ayrılmaz bir parçasıdır. Eğitime algoritması eldeki problemin özelliğine göre öğrenme kuralını YSA'na nasıl adapte edeceğimizi belirtir. Üç çeşit eğitime algoritması yaygın olarak kullanılmaktadır:

- Öğreticili eğitime (supervised training).
- Skor ile eğitime (graded training)
- Kendini düzenleme ile eğitime (self-organization training)

Öğreticili eğitimde, elde doğru örnekler vardır. Yani $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ şeklindeki giriş vektörünün, $(y_1, y_2, \dots, y_n)$ şeklindeki çıkış vektörü, tam ve doğru olarak bilinmektedir. Her bir $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ çifti için ağ doğru sonuçları verecek şekilde seçilen bir öğrenme kuralı ile beraber eğitilir.

Skor ile eğitimde giriş işaretlerine karşılık gelen çıkış işaretleri tam olarak bilinmemektedir. Çıkış işareti yerine skor verilir ve ağın değerlendirilmesi yapılır. Özellikle kontrol uygulamaları için idealdir.

Kendini düzenleyen ağ; giriş işaretine göre kendini düzenleyerek organize eder. Olasılık yoğunluk fonksiyonlarına, sınıflandırma ve şekil tanıma problemlerine uygulanabilir.

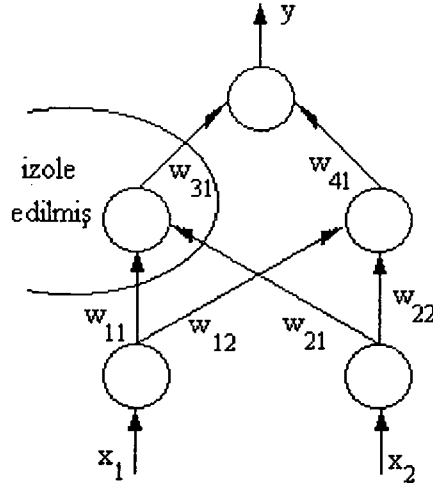
Ne tür eğitime yöntemi kullanılırsa kullanılsın, herhangi bir ağ için gerekli karakteristik özellik, ağırlıkların verilen eğitime örneğine nasıl ayarlanacağını belirtilerek öğrenme kuralının oluşturulmasıdır. Öğrenme kuralının oluşturulması için bir örneğin, ağa defalarca tanıtılması gerekebilir. Öğrenme kuralı ile ilişkili parametreler ağın zaman içinde gelişme kaydetmesiyle değişebilir. Hangi YSA algoritmasında ne tür bir eğitime kullanıldığı bu bölümün giriş işaretlerinin sınıflandırılması kısmında gösterilmiştir.

2.4.5. YSA'da bilgiyi saklama (bellek)

YSA'nın önemli bir özelliği bilgiyi saklama şeklidir. YSA'da bellek dağıtılır. Bağlantı ağırlıkları YSA bellek biçimleridir. Ağırlıkların değerleri ağın o anki bilgi durumunu temsil eder. Örneğin bir giriş/istenen çıkış çiftinin belirtilen bilgi parçası ağın içinde birçok bellek biçimine dağıtılmıştır. Bellek üniteleri ile diğer saklı bilgiler, bu bilgiyi paylaşırlar. Bazı YSA bellekleri ilişkilidir. Öyle ki eğitilen ağa bir kısmı uygulanırsa, ağ bu girişe belleğindeki en yakın çıkışı bu giriş için seçer ve tam girişe bağlı çıkış ortaya çıkar. Eğer YSA oto-ilişkili ise, kısmi giriş vektörlerinin ağa verilmesi bu girişlerin tamamlanması ile sonuçlanır. YSA belleğinin yapısı, eksik ve tam seçilemeyen bir giriş uygulandığı zaman bile mantıklı çıkış üretmeye uygundur. Bu kurala "genelleme" adı verilir. Bir genellemenin kalitesi ve anlamı, uygulama çeşidine, ağın tipine ve karmaşıklığına dayanır. Lineer olmayan çok katmanlı ağlar (özellikle geriye yayılım ağları) gizli katmandaki özelliklerden öğrenirler ve bunları çıkışlar üretmek için birleştirirler. Gizli katmandaki bilgi, yeni giriş örüntülerine akılcı çözümler oluşturmak için kullanılabilir.

2.4.6. Hata toleransı

Klasik hesaplama sistemleri çok az bir olumsuzluktan bile etkilenebilir. YSA için durum farklıdır. Bu farklılık YSA'nın hata toleranslı olmasıdır. İşlem elemanlarının az da olsa zarar görmesi sistemin bütününe etkiler. YSA paralel dağılmış parametrelili bir sistem olduğundan her bir işlem elemanı izole edilmiş bir ada olarak düşünülebilir. Şekil 2.6'de çok katmanlı perseptron (Multilayer Perceptron, MLP) için bu durum gösterilmiştir.



Şekil 2.6 MLP'nin izole edilmiş hali

Daha çok işlem elemanın zarar görmesi ile sistemin davranışı biraz daha değişir. Performans düşer ama sistem hiç bir zaman durma noktasına gelmez. YSA sistemlerinin hata toleranslı olmasının nedeni bilginin tek bir yerde saklanmayıp sisteme dağıtılmasıdır. Bu özellik sistemin durmasının önemli bir zarara neden olacağı uygulamalarda önem kazanır.

2.5. Öğrenme Kuralları

Bilginin kurallar şeklinde açıklandığı klasik uzman sistemlerin tersine, YSA gösterilen örnekten öğrenerek kendi kurallarını oluşturur. Öğrenme, giriş örneklerine veya (tercihen) bu girişlerin çıkışlarına bağlı olarak ağırlık bağlantı ağırlıklarını değiştiren veya ayarlayan öğrenme kuralı ile gerçekleştirilir. Öğreticisiz öğrenmede her giriş işareti için istenen çıkış sisteme tanıtılır ve YSA giriş/çıkış ilişkisini gerçekleştirene kadar kademe kademe kendini ayarlar. Günümüzde kullanılan birçok öğrenme kuralı vardır. Bilinen en çok kullanılan öğrenme kuralları şunlardır:

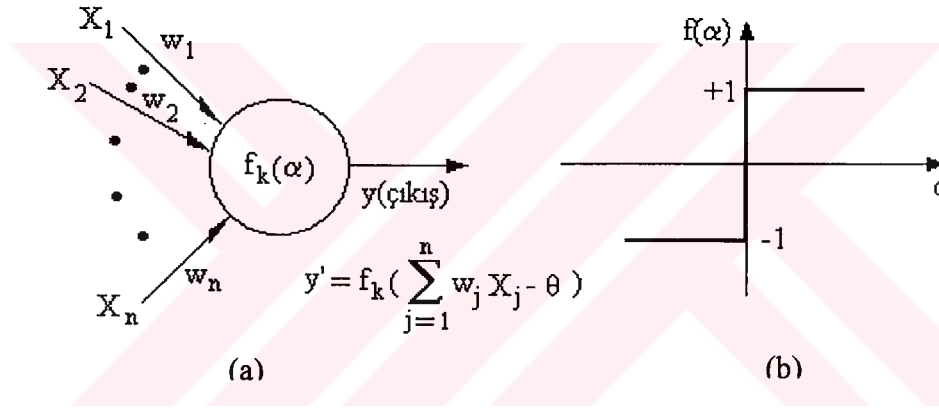
- Rastlantısal (Hebb) öğrenme kuralı
- Performans (Widrow ve Adaline) öğrenme kuralı
- Kompetitif (Kohonen) öğrenme
- Filtreleme (Grossberg)

- Spotitemporal öğrenme
- Genelleştirilmiş Delta Kuralı Öğrenme

Burada bütün öğrenme kuralları incelenmeyecektir. Sadece tezde kullanılan "Genelleştirilmiş Delta Kuralı" öğrenmesi ilk oluşumundan yani perceptron halinden başlayıp tüm gelişimiyle son durumu anlatılacaktır.

2.5.1. Perceptron (idrak)

Perceptron ağı, ilk olarak 1943 yılında McCulloch ve Pitts tarafından saptveı (Mc culloch vd., 1943). Bu YSA tipi Şekil 2.7'de gösterilmiştir. Şekildeki θ , bias (eşik) değeri olup denklem (2.10)'da gösterildiği gibi tanımlanır.

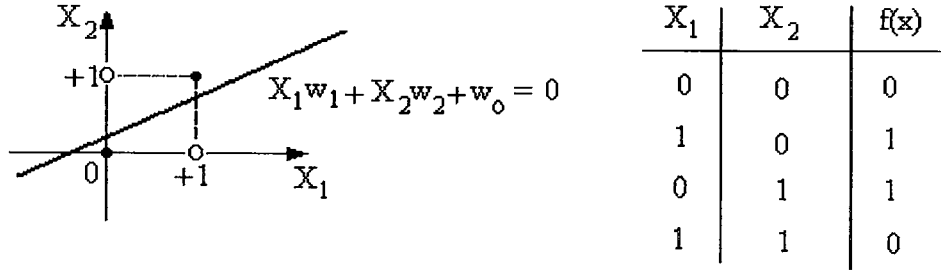


Şekil 2.7 Perceptron yapısı (a) ve transfer fonksiyonu (b)

$$\sum_{j=1}^n w_j x_j - \theta = 0 \quad (2.10)$$

Bu ilk perceptron modeli, giriş bilgisinin mevcut iki sınıftan hangisine eşit olabileceğini bulacak şekilde eğitilen basit bir ağıdır. Daha sonra 1960 yıllarında F. Rosenblatt yukarıdaki ağ tipini biraz daha geliştirdi. Ama Minshy ve Papert bu tek katmanlı perceptronun XOR işlemini gerçekleştiremediğini ispatladılar (Lippman, 1987). Şekil 2.8'den anlaşılacağı gibi 0'ları bir tarafta 1'leri bir tarafta ayıracak şekilde bir bölge oluşmıyor. XOR gibi üç veya daha fazla sınıfa ihtiyaç duyulan problemleri çözmek için yapılması gereken işlem, yapay sinir ağına yeni katmanlar eklemektir. Eşik bağlarıyla

oluşturulan karar bölgesi şeklinin karmaşıklığı sadece eklenmiş olan katmanların sayısı ile sınırlıdır.



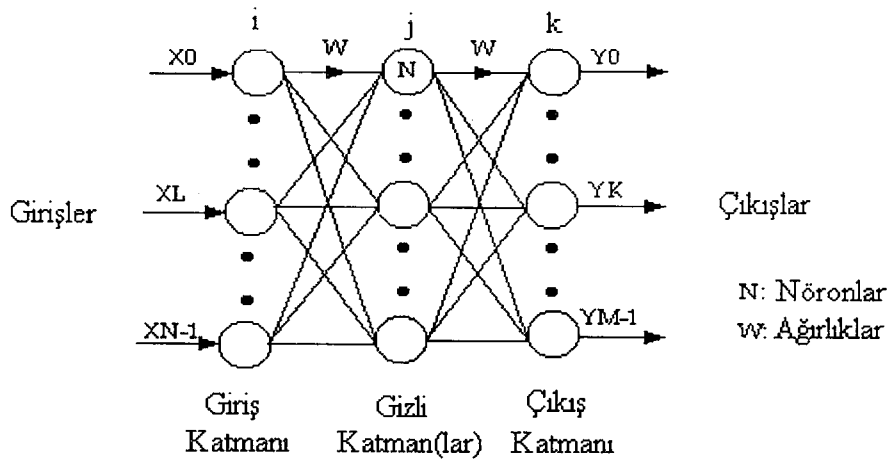
Şekil 2.8 Lineer olarak ayrılamazlığın gösterimi

Bilgi lineer yayılamıyorsa 2. katmanın çıkışı konveks bölgededir bunun neticesi olarak 3. katmandan gelecek olan çıkış bilgisinin şekli, herhangi bir bölgenin şeklinde olabilir. Bu sebeple ihtiyaç duyulan katman sayısı üç olmaktadır. İç-bükey olmayan hatta basit bağlantılı olmayan bölgeleri kümelemek ancak 3- katmanlı ağ ile mümkündür. Tek katmanlı perceptron uygulanan her eğitimin seti modelinin en önemli özelliği, lineer biçimde dağılmak zorunda olmasıdır.

2.5.2. Çok katmanlı perceptron (multi-layer perceptron)

Çok katmanlı perceptron giriş ve çıkış katmanları arasında birden fazla katmanın kullanıldığı YSA sistemleridir. Gizli katman (hidden layer) olarak isimlendirilen bu katmanlarda, düğümleri aracısız giriş olamayan ve aracısız çıkış veremeyen üniteler vardır. Şekil 2.9'da çok katmanlı perceptronun genel yapısı verilmiştir.

İki katmanlı ağlarda veriler giriş katmanı tarafından kabul edilirler. Ağ içinde yapılan işlemler sonucunda çıkış katmanında oluşan sonuç değer işlenen cevap ile karşılaştırılır. Bulunan cevap ile istenen cevap arasındaki herhangi bir fark varsa, ağırlıklar bu farkı azaltacak şekilde yeniden düzenlenir. Girişteki değer, ağırlıklar uygun noktaya ulaşana kadar değişmez. Hesaplanan çıkışlar istenilen cevaplarla karşılaştırılarak sonuçta gerekirse hata işaret edilir. Hata işareti gizli birimlerden çıkış birimine olan ağırlıkları değiştirmekte



Şekil 2.9 Çok katmanlı perceptron

kullanılır. Ama bunu yaparken giriş katmanından gizli katmana gelen verinin değiştirilip değiştirilemediğini düşünmek gerekir. Gizli birimlerden ne tür bir çıkış istendiği bilinemeyeceği için, gizli birimlerin çıkışında hata işareti verilmesi kolay bir şey değildir. Bunun yerine her bir birimin, çıkış biriminin hatalarına olan etkisi bilinmelidir. Çok sayıda gizli katmana sahip sistemlerde her sistemin hata işaretleri, bir önceki katmanın düzeltilmiş işaretlerinden çıkartılarak işlem tekrarlanır. Sonuç olarak ağırlık düzeltme işlemi çıkış seviyesine bağlı ağırlıklardan başlar ve işlem ters yönde, giriş seviyesine varana kadar devam eder. Sonuçta sistem hatalar yapar, ama bu hatalardan bir şeyler öğrenip isteneni bulana kadar işleme devam eder. Bu yöntem "hatanın geriye yayılması algoritması" (Error back-propagation algorithm) denir. Tezde bu algoritma kullanıldığından dolayı detaylı olarak incelenecektir.

2.5.3. Geriye Yayılma (Back-Propagation) Algoritması

Örnek olarak üç katmanlı bir YSA'nın geriye yayılma (BP) algoritması ile eğitilmesini göz önüne alalım. Ağdaki her bir düğüm tek bir işlem elemanıdır. Genelde daha öncede belirtildiği gibi düğümler katmanlarda düzenlenir. Veri girişleri giriş düğümlerinden yapılır. Giriş düğümleri pasiftir ve hesaplanabilir değildir. Giriş ile çıkış katmanı arasında kalan "gizli" düğümlere ağırlıklı veri değerleri bu katmandan iletilir. Her BP düğümü için ayrıca bir eşik değeri girişi daha mevcuttur. Bu girişler düğümün Bias'ı ya da "referans

seviyesi” olarak adlandırılır. Bütün gizli düğümler, tüm giriş verilerini alır. Fakat her biri farklı bir ağırlık kümesine sahip olduğu için, değerler kümesi de farklıdır. Her bir gizli düğüm kendisine gelen girişleri işleyerek sonucu çıkış düğümlerine aktarırlar. Çıkışlar da farklı ağırlık kümesine sahiptir. BP için gizli ve çıkış düğümleri kendisine giren girişleri iki aşamada işlerler. Her giriş kendisinin ağırlığı ile çarpılır, çarpımlar toplanır ve sonra bu toplam bir fonksiyon üzerinde çıkış elde edebilmek üzere, bir sonraki katmana geçirilir. Bu transfer fonksiyonuna "Sigmoid fonksiyonu" denir. Sigmoid fonksiyonu bir nonlinearlik oluşturur. Bu nonlinearlik ağın yeteneğine daha fazla güvenilmesini sağlar. BP öğrenme algoritmasının en büyük özelliği, hatalara karşı verdiği cevapta, ağırlıklarının değerini değiştirebilmesidir. Hataları hesaplamak için, girişi etiketlenmiş örneklerden oluşan veri dizisinin hedeflenen çıkış örneklerini de içermek zorunluluğu vardır.

BP eğitilmesi sırasında ağ, her giriş örneğini, çıkış düğümlerinde sonuç üretmek üzere gizli katmanlardaki düğümlere geçirir. Sonrada çıkış katmanındaki hataları bulabilmek için amaçlanan hedef sonuçtan gerçek sonucu elde eder. Bundan sonra ağ çıkış hatalarının türevini çıkış katmanından geriye doğru gizli katmanlara geçirirler. Bunu yaparken de, orijinal ağırlık bağlantılarını kullanırlar. BP ismini veren de işte bu hataların geriye doğru yayılması özelliği olmuştur.

Her çıkış ve gizli düğümlerin hata değerleri bulunduktan sonra, düğümler kendi hatalarını azaltmak için kendi ağırlıklarını ayarlar. Ağırlık değiştirme denklemleri ağdaki hataların karelerinin toplamını minimize edecek şekilde düzenlenir.

2.5.4. Genelleştirilmiş delta kuralı

Hatanın geriye yayılması algoritması, karesi alınmış hata fonksiyonunu minimize eden kodlu bir algoritma olup, genelleştirilmiş delta kuralını eğitime için kullanılır. Şekil 2.10'da akış diyagramı gösterilen algoritma, ana hatlarıyla şöyledir:

Her bir j biriminin çıkışı o_j şu şekilde tanımlanır;

$$o_j = f(net_j) = f(x) \quad \text{ise} \quad net_j = \sum_i^j w_{ji} o_i + \theta_j \quad (2.11)$$

Burada o_j ; i. biriminin çıkışı

w_{ji} ; i biriminden j birimine bağlantının ağırlığı

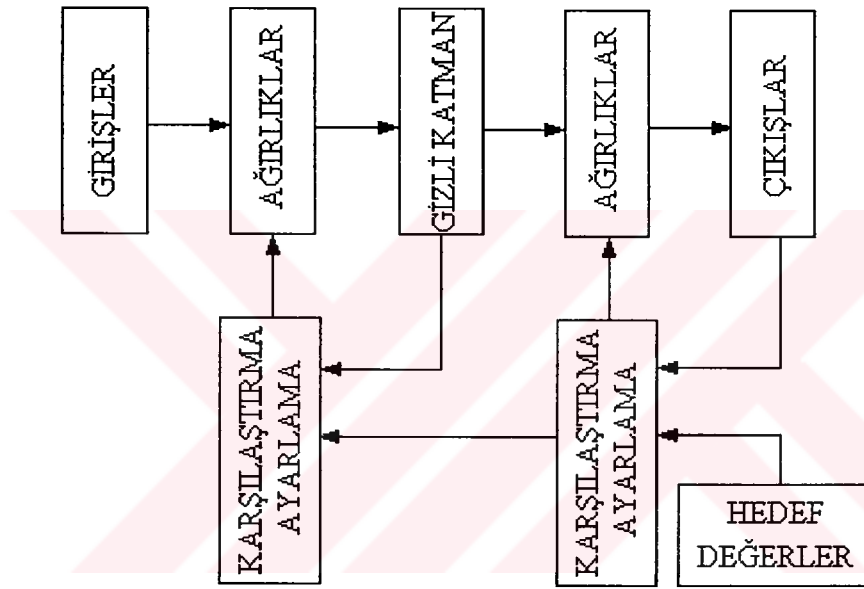
θ_j ; j biriminin kutbu (bias)

$\sum_j i_j$; çıkışı j birimine akan her i biriminin toplamı

net_j ; çıkışı j birimine akan her i biriminin toplamı

$f(x)$; monoton artan ve türevi alınabilen fonksiyondur.

Pratikte işlem (aktivasyon) fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu daha çok kullanılır.



Şekil 2.10 Hatanın geriye yayılması algoritmasının akış diyagramı

m-boyutlu giriş örüntüleri ayarlandığında $\{ i_p = (i_{p1}, i_{p2}, \dots, i_{p2}) ; p \in P \}$ 'dir. Benzer şekilde istenilen n- boyutlu çıkış örüntüleri $\{ t_p = (t_{p1}, t_{p2}, \dots, t_{pn}) p \in P \}$ belirtir. Burada P, YSA'na uygulanan işaret, şekil vb. örüntüleri verir.

Bir görüntü için ortalama karesel hata fonksiyonu E_p şu şekilde tanımlanır:

$$E_p = \frac{1}{2} \sum (t_{pj} - o_{pj})^2 ; j \in \text{çıkış katmanı} \quad (2.11)$$

Amaç, uygun w_{ji} ve q_j seçimiyle, " $E = \sum_p E_p$ " toplam hatayı yeterince küçük yapmaktır. Bu amacı gerçekleştirmek için, bir $p \in P$ örüntüsü ardarda ve rasgele biçimde seçilir. Daha sonra w_{ji} ve q_j aşağıda belirtildiği gibi değiştirilir.

i_{pj} : Giriş işaretinin i bileşeni

t_{pj} : Çıkış vektörünün j bileşeni

o_{pj} : YSA uygulanan P örüntü setinin ürettiği çıkış

olmak üzere;

$$\delta_{pj} = (t_{pj} - o_{pj}) \quad (2.12)$$

$$\Delta_p w_{ji} = -\varepsilon \left(\frac{\partial E_p}{\partial w_{ji}} \right) \quad (2.13)$$

$$\Delta_p \theta_j = -\varepsilon \left(\frac{\partial E_p}{\partial \theta_j} \right) \quad (2.14)$$

Burada ε öğrenme oranı adı verilen küçük bir pozitif sabit sayılır. Şayet gizli katman yok ise bu durumda,

$$\frac{\partial E_p}{\partial w_{ji}} = \frac{\partial E_p}{\partial o_{pj}} \frac{\partial o_{pj}}{\partial w_{ji}} \quad (2.15)$$

$$\frac{\partial E_p}{\partial o_{pj}} = -(t_{pj} - o_{pj}) = -\delta_{pj} \quad (2.16)$$

$$o_p = \sum_i w_{ji} i_{pi} \text{ ise;} \quad (2.17)$$

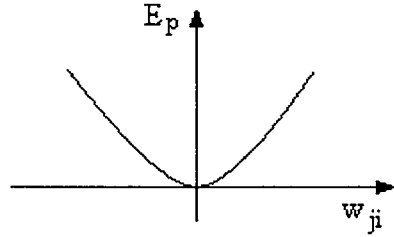
$$\frac{\partial o_{pj}}{\partial w_{ji}} = i_{pi} \quad (2.18)$$

elde edilir. (2.16) ve (2.17) ifadelerini (2.15)'da yerine konulursa;

$$-\frac{\partial E_p}{\partial w_{ji}} = \delta_{pj} i_{pi} \quad (2.19)$$

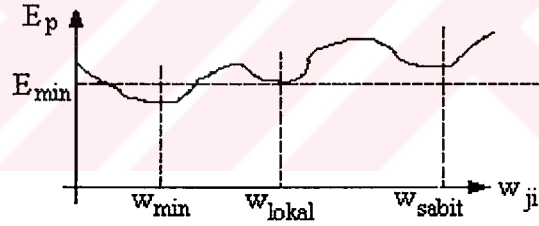
olur.

Hata fonksiyonu Şekil 2.11’de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.11 Gizli katmanı olmayan ağın hata fonksiyonu

Gizli katman bulunan yapay sinir ağlarında hata düzeyi Şekil 2.10'de olduğunun aksine bir minimumdan daha fazladır. Şekil 2.12'deki gibi çeşitli minimumlar oluşur.



Şekil 2.12 Gizli katmana ait ağın hata fonksiyonu

Öğrenmede en küçük minimuma ulaşılmak istenir. Bu durumda j. düğümün lineer olmayan çıkışı;

$$o_{pj} = f_j(\text{netp}_j) \Rightarrow \text{netp}_j = \sum_i w_{ji} o_{pi} \quad (2.20)$$

şeklindedir. Bu durumda;

$$\frac{\partial E_p}{\partial w_{ji}} = \frac{\partial E_p}{\partial netp_j} \frac{\partial netp_j}{\partial w_{ji}} \Leftrightarrow \frac{\partial netp_j}{\partial w_{ji}} = \frac{\partial}{\partial w_{ji}} \sum_k w_{jk} o_{pk} = o_{pi} \quad (2.21)$$

$$\delta_{pj} = -\frac{\partial E_p}{\partial netp_j} = -\frac{\partial E_p}{\partial o_{pj}} \frac{\partial o_{pj}}{\partial netp_j} = -\frac{\partial E_p}{\partial o_{pj}} f'_j(netp_j) \quad (2.22)$$

olur.

Burada iki durum söz konusudur:

1- o_{pj} YSA'nın çıkışı ise (2.16) ifadesini (2.22)'de yerine koyarsak,

$$\delta_{pj} = (t_{pj} - o_{pj}) f'_j(netp_j) \quad (2.23)$$

bulunur.

2- Eğer gizli katmanların çıkış işaretinden bahsediliyorsa,

$$\sum_k \frac{\partial E_p}{\partial netp_k} \frac{\partial netp_k}{\partial p_j} \quad (2.24)$$

şeklinde ise,

$$\sum_k \frac{\partial E_p}{\partial netp_k} \frac{\partial}{\partial o_{pj}} \sum_i w_{ki} o_{pi} = -\sum_k \delta_{pk} w_{kj} \quad (2.25)$$

olur. Bulunan sonuç (2.22)'de yerine konulursa;

$$\delta_{pj} = f'(net_{pj}) \sum_k \delta_{pk} w_{kj} \quad (2.26)$$

elde edilir. (2.26) denklemindeki (-) işareti, ağırlıkların ters yönde değiştiğini belirtir.

Bütün yapılan işlemler kısaca özetlenecek olursa;

1. Genelleştirilmiş Δ (delta) kuralı:

$$\Delta_p w_{ji} = \epsilon \delta_{pj} i_{pi}$$

2. Çıkış katmanı elemanları için;

$$\delta_{pj} = (t_{pj} - o_{pj}) f'_j(netp_j)$$

3. Gizli katman elemanları için;

$$\delta_{pj} = f'_j(netp_j) \sum_k \delta_{pk} w_{kj}$$

olur. İşlem elemanında, transfer (eşik) fonksiyonu olarak "sigmoid" fonksiyonu kullanılırsa,

$$o_{pj} = \frac{1}{1 + e^{-(\sum_i w_{ji} o_{pi} + \theta_j)}} \quad (2.27)$$

$netp_j = \sum_i w_{ji} o_{pi} + \theta_j$ ifadesinin türevi alınır ve gerekli kısaltmalar yapılırsa;

$$\frac{\partial o_{pj}}{\partial netp_j} = o_{pj} (1 - o_{pj}) \quad (2.28)$$

bulunur. Bu sonuç (2.23) de yerine konulursa, çıkış elemanı için,

$$\delta_{pj} = (t_{pj} - o_{pj}) o_{pj} (1 - o_{pj}) \quad (2.29)$$

elde edilir. (2.28) bağıntısı (2.26) de yerine konulursa, gizli katman elemanı için,

$$\delta_{pj} = o_{pj}(1 - o_{pj}) \sum_k \delta_{pk} w_{kj} \quad (2.30)$$

bulunur. Yukarıda toplam içerisinde gösterilen k'nın, j çıkış birimine akan her birim k olduğuna dikkat edilmelidir. Hesaplamayı hızlandırmak için momentum terimleri (α) eklenirse en genel halde çıkış ve gizli katman ifadeleri şu şekilde olur:

$$\Delta_p w_{ji}(t+1) = \epsilon \delta_{pj} o_{pi} + \alpha \Delta_p w_{ji}(t) \quad (2.31)$$

$$\Delta_p \theta_j(t+1) = \epsilon \delta_{pj} + \alpha \Delta_p \theta_j(t) \quad (2.32)$$

Burada t öğrenme sayıllarının sayısını gösterir ve α küçük pozitif bir sayıdır (Hecht-Nielsen, 1990; Freeman ve Skapura, 1992; Hassoun, 1995).

Hatanın geriye yayılması algoritmasını geliştirme amacıyla pek çok öneri ortaya atılmıştır. Bunların çoğu deneyime dayalı düzenlemeler olup, bazıları sistemin hızını artırmaya yönelik, bazıları yerel minimuma takılıp kalmayı önlemeye yönelik olup bazıları da sistemin genelleme yeteneğini arttırmaya yöneliktir.

Hatanın geriye yayılması algoritması, gradyen azalma tabanlı olması nedeniyle ilk şartlara çok duyarlıdır. Eğer ilk atanan ağırlık vektörü, hata yüzeyinin minimumuna çok yakın ve eğimli bir bölgede ise YSA'nın öğrenmesi çok çabuk olacaktır. Eğer ilk atanan ağırlık vektörü, hata yüzeyinin minimumuna uzak ve eğimsiz bir bölgede ise bu durumda sonuca ulaşmak çok zaman alabileceği gibi ulaşılamaması da söz konusudur.

2.6. Öğrenme ve Momentum Katsayıları

YSA ile ilgili bir başka sorunda, düzgün bir öğrenme katsayısının (ϵ) ayarlanmasıdır. Ağırlıkları çok yüksek tutmak davranışın bozulmasına neden olabilir. O nedenle öğrenme katsayısını böyle bir davranışı önlemek için küçük tutmak gereklidir. Öğrenme katsayısı, $0.01 < \epsilon < 10$ aralığında seçilen sabit bir sayıdır. Öte yandan çok küçük bir öğrenme oranı da, öğrenme işleminin yavaşlamasına yol açar. Momentum (α) fikri bu noktadan hareketle

ortaya atılmıştır. Momentum mevcut delta ağırlığı üzerinden önceki delta ağırlığının belli bir kısmını besler. Böylece daha düşük öğrenme katsayısı ile daha hızlı öğrenme elde edilir. Momentum katsayısı genellikle $0 < \alpha < 1$ aralığında değişen sabit bir sayıdır.

2.6.1. Öğrenme katsayısı

Hatanın geriye yayılması algoritmasında çözüme ulaşma hızı ile öğrenme katsayısının değeri doğrudan alakalıdır. Eğer öğrenme katsayısı küçük seçilirse YSA' nın takip edeceği araştırma yolu gradyen yola çok yakın olacaktır. Bu durumda yerel minimuma ulaşmak için alınacak adım sayısı artacağından çözüme ulaşmak uzun zaman alacaktır. Diğer yandan öğrenme katsayısı çok büyük seçilirse başlangıçta YSA çözüme kolay yaklaşacak fakat çözüm civarında osilasyon yaparak çözümü bulamayacaktır.

2.6.2. Momentum katsayısı

Hatanın geriye yayılması algoritmasının hızının artırılmasında diğer bir yöntem ağırlıkları değiştirme formülüne momentum katsayısının dahil edilmesidir. Bununla $\frac{\partial E}{\partial w_i}$ kısmi türevinin işaret değiştirmesini takip etmek yerine; her Δw_i ağırlık değişmesine, değişimi azalma doğrultusunda hızlandıracak bir momentum verilmiş olur.

2.7. YSA Kullanımının Nedenleri

YSA gerçek dünyaya ait ilişkileri tanıyabilir. Özellikle örnek (örüntü) tanıma (pattern recognition) tekniğinin gerekliliği, gerçek dünya ile bilgisayar ilişkisinin başlamasıyla ortaya çıkmıştır. Bu önem YSA'nın çok güçlü örnek tanıma tekniği olarak ortaya çıkmasına ve gelişmesine neden olmuştur. Sınıflandırma, kestirim (önceden tahmin), örnek değerlendirme ve fonksiyon uydurma gibi görevleri yerine getirebilirler. Genel ilişkilerle ayrık örnekler arasındaki boşluğu bir köprü gibi bağladığını söylemek yanlış olmaz. YSA'nın, ani değişen değerlerden örnekler alarak, doğrudan doğruya örneklerin birbirleri arasındaki benzer ilişkileri öğrenme yetenekleri vardır. YSA'nın bir konuda ve olaydaki verilerden hareketle önceki bilgileri bilmese bile sonuç çıkarma yetenekleri de vardır.

Çünkü YSA, klasik programlama gibi çalışmaz ve YSA'nın geliştirilmesi, bildiğimiz yazılım geliştirmeye benzemez. Zaten aralarındaki en büyük fark, ağların bir işi yapmaları için eğitime gereksinim duymalarıdır. Aynı işlemleri klasik bir bilgisayar programı ile yapmak da mümkündür. YSA'lar açıkça kuralları bulunmayan kuralları olsa bile çok karmaşık işlem gerektiren uygulamalar veya anında optimizasyon kısıtlamaları koyan uygulamalar için idealdir denebilir.

YSA'da eğitime işlevleri, değişkenlerin tanımlanması, çevrimlerin oluşturulması, şartların tespiti ve bunların testi ile bir derleyici üzerinde çalıştırma veyahut ta yazılan kodun "debug" (hata analizi) edilmesi gibi işlemleri gerektirmezler. İşte bütün bunların yerine eğitime prosedürleri, seçim, analiz ve verilerin bir araya getirilmesi ile başlar. Bir YSA'nın geliştirilmesindeki ilk ve en kritik adım budur.

Bir ağ, gerekli ilişkileri oluştururken, ağı geliştiren kişi bunun farkına bile varmaz. Ağ bu ilişkileri bulup yapar ve eğer bir örnek sonuç çıkaracaksa bunu da bulup ortaya çıkarır. Oysa klasik programlamada kodun derlenmesi sırasında kaynak programın adım adım izlenmesi mümkündür, hatta yerine göre gereklidir. YSA, verilerle işlem yaparken yineleme çevrimi olarak bunların nasıl öğrenileceğinin kontrolunu yapmak için bir takım parametrelere sahiptir. İşte bu parametreler, seçilen değerlerle iyi eğitilmiş bir ağın ne kadar etkili olacağını belirler.

YSA yeni bir konu olmasına rağmen, uygulama alanları bir çok konuda hızla artmaktadır. Bazı problemlerin çözümünde, oturup bir program yazmaktan daha etkin ve hızlı olabilmektedirler. Buna göre YSA'nın avantajlarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz (Sanchez ve Lau, 1992):

- YSA'lar mevcut verilerden hareketle bilinmeyen ilişkileri sanki düşünür gibi hemen ortaya çıkarabilmektedir. Bu özellikleri, uygulama açısından son derece önemlidir. Ayrıca veri girmek için bir ön sorgulama ya da açıklama gerekmemektedir. Mükemmel örnek sınıflandırma, örnekleri birbirine uydurmama, örnekleri tamamlama gücü ve önceden bildirme eğilimine sahiptirler.

- YSA’lar kullanılan modelin belli sınırlarına kadar genelleme yapabilirler. Bir örnekten hareketle, diğer örneklerdeki benzerlikleri doğru olarak anlayabilirler. Genelleştirme yapılabilmesi bu bakımdan çok iyi bir özelliğidir, çünkü gerçek dünya verilerinde sürekli olarak gürültü ve bozucu etkiler mevcuttur.
- YSA’lar lineer-olmayan özellik taşırlar. Bu özellikleri nedeni ile daha karmaşık problemleri lineer tekniklerden daha doğru çözerler. Lineer-olmayan davranışlar hissedilir, algılanır, bilinebilir, ancak bu davranışları ya da problemleri matematiksel olarak çözmek zordur.
- YSA’lar son derece paralelliğe sahiptir. Bağımsız işlemleri aynı anda çok hızlı yürütebilirler. Bu özelliği özellikle optimizasyon ve kontrol uygulamalarında önem kazanır. Paralel donanımlar yapıları gereği YSA’lara uygun olduğundan kendisine alternatif çözüm metotlarından daha elverişlidir.

Ancak bütün bunların yanında YSA'nın uygun olmadığı durumlar da söz konusudur. YSA’ların uygulamadaki genelde teorik olarak söz konusu olan dezavantajları ise aşağıda sıralanmıştır.

- Bir problemin çözümünde çok uygun bir çözüm bulamayabilirler ve çözümde hata çıkabilir. Buna sebep ise eğitilecek bir fonksiyonun bulunamamasıdır. Fonksiyon bulunsa bile yeterli veri sağlanamayabilir. Deneyler ve ölçümler yaparak uygun parametre değerlerinin bulunması özellikle bazı durumlarda çok fazla hesaplama zamanı gerektirmesi bir engel olarak görülebilir.
- Sonuç almak bazen yüzlerce giriş örneğinin hesaplanmasına bağlı olabilir. Ayrıca hangi ağırlığın sonucu nasıl etkileyeceğini tahmin etmek de zordur. Düğüm sayısının çok az artması bile bazen çalışma zamanı çok fazla etkileyebilir.
- YSA’larla bir dizi işlem yapmak, bunları eğitmek yavaş ve pahalı olabilir. Maliyeti arttıran sebeplerden ilki eğitme verilerinin toplanması ve değerlendirilmesidir. Doğru değerleri bulmak için bazen saatlerce hatta günlerce çalışma yapılması gerekebilir.

2.8. YSA'nın Elektrik Güç Sistemlerinde Uygulama Alanları

YSA, çok basit olarak düğüm olarak adlandırılan hesaplama elemanlarının bir bağlantısıdır. YSA'nın birçok tipi vardır fakat bunların hepsi ortaklaşa üç şeye sahiptir; neuronlar , bunlar arasındaki bağlantılar (topoloji) ve öğrenme algoritması. Bir YSA düzenli olarak şekillendirilmiş düğümlerin bir veya daha fazla katmanlarından ve birbirine bağlanmış topolojilerden oluşur.

YSA'nın güç sistem araştırmaları arasında popülaritesi hızla artmaktadır. Elektrik güç sistem problemlerine YSA uygulama sayısı son yıllarda göze çarpıcı bir şekilde artış göstermiştir. YSA literatüründe teori ve uygulama boyutunda 3500'den daha fazla yayın vardır. Son zamanlarda güç sistem mühendisleri mevcut verilerden öğrenerek karmaşık konularla başa çıkmak için eğitilmiş olan uygun sistemlerin tasarımına ilaveten, optimizasyon problemlerine ve kontrol uygulamalarına kadar YSA'yı uygulamayı düşünmüşlerdir (Vankayala ve Rao, 1993).

Çizelge 2.1'de YSA'ların güç sistemlerinde genel uygulama alanları tanımlanmıştır.

Çizelge 2.1 YSA'nın güç sistemlerinde örnek uygulama alanları

YSA Yeteneği	Uygulama alanları
Örnek sınıflandırması	Güvenilirlik değerlendirmesi, önceden tahmin etme
Hızlı cevap verme	Alarm işlemi, hattaki arıza analizleri
Mükemmel genelleştirme	Makine modelleme ve analizleri
Önceden tahmin eğilimi	Yük tahmini
Güvenilirlik	Nükleer güç santralleri

2.8.1. Temel algoritmalar

Katmanlı sinir ağları veya çok-katmanlı perceptron (bir giriş katmanı, gizli katmanlar ve bir çıkış katmanı) görünüşte bugün sonar, radar, işaret işleme, görüntü tanıma, robotik vb.

pratik uygulamaların geniş bir alanı için temelde geriye-yayılım algoritması ile birleşmektedir. Gerçekte bugün en önemli algoritma geriye-yayılım algoritmasıdır (Hech-Nielsen, 1989; Wasserman, 1989; Khanna, 1990; Freeman ve Skapura, 1991; Mammone ve Zeevi, 1991; Pao, 1989; Mirzai, 1990; Soucek ve the IRIS Group, 1991; Sanchez ve Lau, 1992; Kohonen, 1987a; 1987b; Carpenter ve Grossberg, 1991; Darpa, 1988). Hopfield ağı ise, beklenmedik olayları seçmede başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Ağırlıklarda ve eşik değer teriminde tanımlanmış bir enerji fonksiyonunu minimize ederek etkili bir şekilde ve çok hızlıca optimizasyon problemini çözebilmişlerdir (Chow vd., 1990; Vankayala ve Rao, 1993b). Bununla birlikte Hopfield ağıdaki yeni genişlemeler yukarıdaki sınırlamaların çaresini bulmuştur. Gee vd. (1991) bölgesel en az probleme sahip olmayan genişletilmiş bir Hopfield mimarisi önermişlerdir. Ayrıca, Onlar kolayca hesaplanabilen belirli bir optimizasyon problemi için Hopfield ağına ağırlıklar ve eşik değerlerinden kaydedilen bir metodu da formüle etmişlerdir. Vankayala ve Rao (1993b), genişletilmiş Hopfield ağına, diğer metodlardan 10-13 kez daha hızlı olduğunu bulmuşlardır.

Elektrik güç sistemlerindeki konuyla ilgili uygulamalar güvenlik değerlendirmesi, yük tahmini, arıza tespiti, alarm işleme, optimal kondansatör anahtarlama, güç sistem stabilize ayarı vb. konu başlıklarını içerir (Sanchez ve Lau, 1992; Kanoh vd., 1988; Tanaka vd., 1989; Kanoh vd., 1991; Ebron, 1988; Ebron vd., 1990; Chow vd., 1988; Chow ve Yee, 1990,a; Chow ve Yee, 1990,b; Magnum, 1990; Chow ve Yee, 1991; Chon, 1989; Santoso ve Tan, 1990; Hsu ve Chen, 1991; Kraft vd., 1991; Fera vd., 1991; Hartana ve Richards, 1990; Hartana ve Richards, 1993; Mori ve Tsuzuki, 1989; Bialasiewicz vd., 1989; Kanekar ve Feliachi, 1990; Eryurek ve Ubadhyaya, 1990; Nishimura ve Aral, 1990; Fischl vd., 1989; Chow vd., 1990; Chow vd., 1989; Chen ve Hsu, 1991; Harashima vd., 1989; Tai vd., 1990; Weerasooriya ve El-Sharkawi, 1991; Sobajic, 1988; Wong vd., 1990; Wu vd., 1992; Wang vd., 1990; Uhrig, 1991; Roh vd., 1991,a; Roh vd., 1991,b; Izumi ve Taoka, 1989; Mathur ve Samad, 1990; Mathur vd., 1990; Proc. NSF, 1991; Pao, 1987).

2.8.2. Güç sistemlerinde mevcut YSA uygulamaları

Güç sistemlerinde YSA uygulamalarını incelemek güç sistem araştırmacıları için ilgi çekici bir konu haline gelmiştir. 1988'lerde güç sistemleri alanına girdiğinden (Chow vd.,

1988; Sobajic, 1988; Pao ve Sobajic, 1988) bu zamana kadar YSA ile birçok uygulamalar yapılmıştır ve bu alandaki araştırmalar hızlı bir şekilde artış göstermektedir. YSA'nın ortaya çıkması, güç mühendislerine güç sistem problemlerinin çözümü için umut verici bir gelişme sağlamıştır. YSA, yeterli eğitimden sonra hızlı ve etkili bir şekilde örnek tanıma, tahmin ve optimizasyon yapma yeteneğine sahip olduğundan dolayı bu özelliklerinden faydalanılarak değişik konularda çalışmalar yapılmıştır. Güç sistemlerindeki YSA uygulamalarının yaklaşık %70'i çok-katmanlı perceptron ağ modeliyle yapılırken, geriye kalan %30'u ise Hopfield ağları, Kohonen ağları, Boltzmann machine ve diğer tip ağlarla yapılmıştır (Wong, 1993). Aynı zamanda güç sistemlerinde yapılan YSA uygulamalarının çoğu son beş-altı yıl içinde yoğunluk kazanmıştır.

YSA'nın son yıllardaki uygulama alanları kullanılan YSA modelleriyle birlikte aşağıda özet olarak verilmiştir. Burada uygulamalar 4 ana konu başlığı altında sınıflandırma yapılarak özetlenmiştir.

Tahmin ve kontrol:

- Geçici Kararlılık Analizi (Sobajic, 1988; Wong vd., 1990; Sobajic ve Pao, 1989; Wong vd., 1991; Wong ve Lau, 1993; Jeyasurya, 1993; Marpaka vd., 1994; Wan vd., 1996): Çok-katmanlı perceptron
- Yük Tahmini (Hsu ve Yang, 1991,a; Hsu ve Yang, 1991b; Lee vd., 1990; Lee vd., 1992; Park vd., 1991; Chen vd.,1991; Srinivasan vd., 1994; Peng vd., 1993; Maifeld ve Sheble, 1994; Ho vd., 1992; Ranaweera vd., 1995; Highley ve Hilmes, 1995; Eşiyok vd., 1995; Lamedica vd., 1996a; Lamedica vd., 1996b; Kermanshahi vd, 1996): Çok-katmanlı perceptron, Öz-denetimli nitelik haritası (Self-organizing feature map).
- Statik ve Dinamik Güvenlik Değerlendirmesi (El-Sharkawi vd.,1989; Aggoune vd., 1991; Aggoune vd., 1989; Neigur ve Germond, 1992; Neily vd.,1991; Pao ve Sobajic, 1988; Pao ve Sobajic, 1992; Sobajic ve Pao, 1989; Zhou vd., 1994; Hwang vd., 1991; Weerasooriya ve El-Sharkawi, 1992; Wehenkel ve Akella, 1993; Ranaweera ve Karady, 1993; Napoli ve Piglione, 1996): Çok-katmanlı perceptron, Hopfield Ağı, Khonen.
- Senkron Makine Modelleme ve Analizi (Chow vd., 1989; Chen ve Hsu, 1991): Çok-katmanlı perceptron, Nilsson's learning machine

- Senkron Generatör Analizi (Tsai vd., 1995; Auckland vd., 1995; Hsu ve Jeng, 1995): Çok-katmanlı perceptron
- DC Motor Kontrolu (Tai vd., 1990; Weerasooriya ve El-Sharkawi, 1991): Çok-katmanlı perceptron
- Durum Tahmini (Bialasiewicz vd., 1989; Kanekar ve Feliachi, 1990): Çok-katmanlı perceptron, Adaptive lineer combiner, Structured neural network.
- Güç Sistem Kararlılığı (Hsu ve Chen, 1991; Zhang vd., 1993a; Zhang vd., 1993b; Zhang vd., 1994; Kanemitsu vd., 1993; Iwamoto vd., 1993; Zhang vd., 1995; Djukanovic vd., 1995): Çok-katmanlı perceptron
- Sürekli Hal Kararlılığı (Mori vd., 1992a; Chen ve Hsu, 1990): Kohonen ağı
- Güç Dönüştürücü Kontrolu (Harashima vd., 1989): Çok-katmanlı perceptron
- Kazan İkaz ve Kontrolu (Kraft vd., 1991): Çok-katmanlı perceptron
- Turbogeneratör Regülatör Kontrolu (Wu vd., 1992): Çok-katmanlı perceptron
- Nükleer Santrallarda Güç Tahmini (Uhrig, 1991; Roh vd., 1991a; Roh vd., 1991b): Çok-katmanlı perceptron, Parity space model
- Dağıtım Sistemi Servis Yenileme (Hsu ve Huang, 1995): Çok-katmanlı perceptron
- Arıza Yeri Tahmini (Yang vd., 1994; Yang vd., 1995; Dalstein vd., 1996): Çok-katmanlı perceptron
- Güç -Talep Tahmini (Dash vd., 1995): Çok-katmanlı perceptron

Tanıma:

- Harmonik Kaynaklarını Tanıma ve Analiz (Grady, 1985; Hartana ve Richards, 1993; Hartana ve Richards, 1990; Shuter vd, 1989; Mori vd., 1989; Heyd vd, 1991; Mori vd., 1992b; Osowski, 1992): Çok-katmanlı perceptron
- Arıza Analizi (Kano vd., 1988; Kano vd., 1991; Tanaka vd., 1989; Wong ve Lau, 1993; Ogi vd., 1991; Kandil vd., 1992; Ebron vd., 1990; Ebron, 1988; Song vd., 1996): Çok-katmanlı perceptron
- İndüksiyon Makinelerinin Başlangıç Arızalarını Bulma (Chow vd., 1988; Chow ve Yee, 1990a; Chow ve Yee, 1990b; Magnum, 1990; Chow ve Yee, 1991): Çok-katmanlı perceptron
- Koruma (Feser vd, 1991; Khapearde vd., 1991): Çok-katmanlı perceptron

- Turbogeneratör Parametrelerini Tanıma (Chaudhry vd., 1995): Çok-katmanlı perceptron

Optimizasyon:

- Ağ Topolojisi Analizi (Mori ve Tsuzuki, 1989; Mori, 1991): Çok-katmanlı perceptron, Boltzman machine
- Optimal Güç Akışı (Zhengxiang ve Fushuan, 1991; Kim vd., 1991; Mori vd., 1991; Nguyen, 1995; Kalra vd., 1993; Abbasy ve Soliman, 1996): Hopfield ağı, Çok-katmanlı perceptron
- Ünite Paylaşımı (Unit commitment) (Wang vd, 1990; Sasaki vd, 1991): Çok-katmanlı perceptron
- Kondansatör Ünitelerinin Kontrolü (Santoso ve Tan, 1990): Çok-katmanlı perceptron

Sınıflandırma:

- Olasılık (beklenmedik olay) Analizleri (Fischl vd., 1989; Chow vd., 1990; Yan vd., 1991): Çok-katmanlı perceptron, Hopfield ağı
- Alarm İşlem (Chan, 1989; Karunakaran ve Karady, 1991): Çok-katmanlı perceptron

Geriye-yayılım modeli, kullanılan YSA tasarımları içinde en popüler olanıdır. Değiştirilmiş Hopfield ağları, öz-denetimli nitelik haritası ve hücresel ağları da çalışmalarda kullanılan diğer tasarımlardan bazılarıdır. Burada, literatürde gösterilen bazı önemli uygulamaların değerlendirmesi yapılacaktır.

2.8.2.1. Güvenilirlik değerlendirmesi

Bir güç sistem güvenilirliği, en kötü ve en yakın beklenmedik olaya katlanma yeteneğidir. Güvenilirlik değerlendirmesi başlangıçtan itibaren YSA uygulamalarının en ileri yerinde yer almaktadır. Güvenilirlik değerlendirmesinin amacı, uygun önleyici etkileri üzerine alabilsin diye işlem durumlarının tipini güvenli veya güvenli olmayan operatörlerle yerine getirmektir. Sobajic ve Pao (1989) ve Pao ve Sobajic (1988) sistemin önemli parametrelerinden biri olan kritik temizleme zamanını (CCT) sentez yaparak ortaya

çıkartırlar. 12 girişten, 6 gizli düğümünden ve bir çıkış düğümünden oluşan bir üç katmanlı perceptron ağı bu amaç için uygulanır. Eğitim seti, uygun CCT değerleriyle yazılmış 12 boyutlu bir örnek settir. CCT parametreleri sistem denkleminin nümerik entegrasyonu ile elde edilir. YSA çıkış CCT parametreleri gerçek değerleriyle yakın bir şekilde birbirine uyar. Aggoune vd. (1991), benzer bir yaklaşım kullanarak güç sistemlerinin dinamik güvenilirliğini değerlendirmek için üç-katmanlı bir perceptron ağı kullanırlar. YSA kararlılık analizinin sonuçlarında eğitilir. Bu yaklaşım tatminkar sonuçlar gösterir.

2.8.2.2. Yük tahmini

Yük tahmini, en önemli SCADA (Supervisory Control ve Data Acquisition System) görevidir ve aynı zamanda YSA'nın uygulandığı çoğu popüler alanlardan biridir. Faydalı veri tabanında geçmiş yük verilerinin hazır bulunması YSA'nı yerine getirme için bu alanı oldukça uygun hale getirir. YSA modeli olarak çok-katmanlı perceptron ağları ve öz-denetimli nitelik haritası kullanılarak uzun-süreli yük tahmini gibi kısa-süreli yük tahmininde de etkili doğrulukla başarılı olunmuştur. Lee vd. (1990), kısa-süreli yük tahmini için çok-katmanlı perceptron kullanmışlardır. Bu YSA kış, sonbahar, yaz ve bütün sezonların bir günlük ileri yük tahmini için kullanılır. Ortalama olarak nispi %2'lik bir hataya ulaşılmıştır (Lee vd., 1992). Park vd., (1991) çok-katmanlı perceptron ile faydalı nümerik tahmin metodunun performansını karşılaştırmak için benzer bir yaklaşım kullanmışlardır. Bu durumda, YSA kullanıldığı esnada; 18, 21 ve 24 saatleri için ortalama hatalar sırasıyla % 2.79, % 2.65, % 2.0 bulunurken, nümerik metod kullanıldığında ise % 2.72, % 6.44 ve % 4.22 bulunmuştur. Hsu ve Yang (1991a, 1991b) kısa-süreli yük tahmini için öz-denetimli nitelik harita modelini ve çok-katmanlı perceptron birleşiminin uygunluğunu göstermişlerdir. Öz-denetimli nitelik harita modeli geçmiş verilerden gün tiplerini belirlemek için kullanılmıştır (Hsu ve Yang, 1991a). Bir günün saat başı yük örneklerini elde etmek için, aynı gün tipine sahip olan geçmişteki birkaç günün saat başı yük örnekleri ortalaması alınır. Günlük tepe (peak) yükü ve en düşük yükü görmek için çok-katmanlı perceptron kullanmışlardır (Hsu ve Yang, 1991b). İki tipik gün için sonuçlar sunulmuştur: İlk gün için ortalama tahmini hata % 1.41 iken, maksimum hata % 2.365 ve minimum hata % 0.096'dır. İkinci gün için bu hatalar sırasıyla % 1.258, % 2.473, ve % 0.037'dir.

2.8.2.3. Arıza analizi

Uzman sistemlerin (US) yerine geleneksel arıza tespitleri konusu YSA tarafından da analiz edilmiştir. Ancak şu anda US, YSA'na göre daha üstün gelmektedir. Uzman sistemlerin açıklayıcı yetenekleri ve onların daha fazla kullanıcı ortak yüzü YSA'na göre daha fazla alternatif duruma getirmektedir. Ancak hızlı cevap gerektiren kesin alanlarda YSA, kullanmaya hala açıktır. Değişik arıza tespiti problemleri için birçok kullanımlar literatürde gösterilmiştir. Kanoh vd. (1988, 1991), arızalanmış iletim hattı bölümünü tanımak için üç-katmanlı perceptron'un bir kaskat yapısını sunmuşlardır. YSA, geriye-yayılım algoritması kullanılarak eğitilmiştir. Kaskat yapıdaki 1. ve 2. YSA, dağıtım örnekleri akım genlik ve faz açıları kullanarak, 3. YSA, yukarıdaki 1 ve 2 adayları ile akım genlik dağıtım örneklerini kullanarak son arıza bölgesini elde eder. Bu yaklaşım sonuçları, EMTP (Elektromagnetic Transient Program) sonuçlarından ölçülmüş değerlerle % 30'luk bir farka sahip olduğu zaman bile bu metod % 98.4 doğruluğa ulaşabilmiştir.

Ebron (1988) ve Ebron vd. (1990) dağıtım fiderlerindeki yüksek empedans arızalarını aramak için üç-katmanlı perceptron ağı kullanmışlardır. Onların yaklaşımı üç kısımdan oluşur; belirli işleme tabi tutulmuş örneklendirilmiş fider akımlarının örnekleri; bu verilerle YSA'nın eğitimi ve yeni örneklerle YSA'nı test etme. Eğitim seti, EMTP kullanılarak bilgisayar simülasyonu vasıtasıyla üretilir. 20 özellik, bir periyotluk işlem üzerindeki fideri temsil etmek için kullanılır. Eğitim seti sadece % 50 yük değişimleri, % 20 yük değişimleri ve kondansatör anahtarlama; % 20 yük değişimleri ve bir arıza; % 10 yük değişimleri, kondansatör anahtarlama ve bir arızadan oluşur. Bu tasarım, 100 test örneğiyle test edilir. YSA, 10 durumu doğru bir şekilde sınıflandırmış ancak 17 durumda yanlış bir alarmı neden olmuştur.

YSA, indüksiyon motorlarının başlangıç halindeki arıza aramada da başarılı olmaktadır (Chow vd., 1988; Chow ve Yee, 1990a). Chow ve Yee (1991) tek fazlı sincap kafesli indüksiyon motorlarındaki başlangıç halindeki arıza arama için çok-katmanlı perceptron ağı kullanmışlardır. Bu yaklaşımda, iki YSA kullanılmıştır;

- Düzenli-durum ölçümleri tutulduğu esnada geçici ölçümler dışında filtre etmek için bozulma ve gürültü
- Motordan toplanmış veriye dayandırılan arızaları aramak için bir başlangıç halindeki arıza arama.

Bu metodoloji uygun değişiklikle diğer dönen makinaların çoğuna da uygulanabilmiş. YSA simulasyon verileri kullanılarak eğitilmiştir. Kombine bozulma ve gürültü filtresi ve arıza dedektörü, % 95 - % 99 doğrulukta arıza tespitleri üretmişlerdir.

2.8.2.4. Alarm işlemleri

Güç sistem operatörleri, olağanüstü durumlarda optimal doğru hareketi sağlama ve değişik tercihleri değerlendirmeyi hızlı bir şekilde beklerler. Ancak VDU (Video Display Unit)'dan alınan gerçek-sürekli alarmların sayısı onların değerlendirmesi oldukça fazladır. Gerçek zamanda böyle bir işlem, operatörün dikkati ve alarmların sayısı parametre olarak alınır. Bu tür alarm işlemleri için YSA da kullanılmıştır. Chan (1989) bu amaç için umut verici simülasyon sonuçlarıyla üç-katmanlı perceptron ağı önermiştir. Eğitilmiş bir YSA'nın hızlı cevabı ve genelleştirme yetenekleri bu uygulamada çok faydalı olmuştur.

2.8.2.5. Kondansatör anahtarlama

Dağıtım ağlarındaki anahtarlanabilir kondansatörlerin gerçek-zaman kontrolü, gerçek-zamanlı optimizasyona ihtiyaç duyar. Santoso va Tan (1990) bu problem için bir YSA uygulamasını göstermişlerdir. Onlar gerçek-zaman kontrollu kapasitörler için iki aşamalı bir YSA kullanmışlardır. İki tane üç-katmanlı perceptron kullanılmıştır. İlk aşamada, yük profili ölçülmüş aktif ve reaktif güçlerden gerilim ve akım, kapasitör gruplarına önceden bildirilir. İkinci aşamada, optimal kapasitör bağlantı grupları, yük profiline dayanarak hesaplanır. Bu YSA yaklaşımı, bir simülasyon paketiyle elde edilmiş sonuçlarla birbirine çok yakın veya aynısı kapasitör grupları üretir. YSA'nın asıl avantajı burada işlem hızıdır.

2.8.2.6. Güç sistem stabilizör (kararlayıcı) ayarı

Güç sistem stabilizörlerinin (PSS) gerçek-zaman ayarı karmaşık bir konudur. Hsu ve Chen (1991) bu amaç için dört-katmanlı bir perceptron ağı önermişlerdir. Bu ağ, iki giriş düğümü, her biri dört düğümlü iki gizli katman ve iki çıkış düğümlerinden oluşmuştur. Bu YSA'na girişler generatör gerçek güç çıkışı ve güç faktörüdür. YSA çıkışları güç sistem kararlayıcısının kazanç gruplarıdır. Bu YSA için eğitime seti çevrim dışı simülasyonlar vasıtasıyla üretilir. Öğrenme işlemini hızlandırmak için, geriye-yayılım algoritmasının öğrenme oranını dinamik olarak değiştiren bir adaptasyon kuralı kullanılır. YSA sonuçları sayısal simülasyonlara çok yakın bulunur.

2.8.2.7. Girdap akımı analizleri

Girdap akım kayıplarının analizleri integral-diferansiyel denklemlerinin sayısal çözümünü gerektirir. Bu denklemleri sonlu-elemanlar yöntemi kullanarak onları çözmek hesap olarak çok zordur. Faria vd. (1991) bu denklemlerin çözümü için hesaplama olarak daha kolay, basit ve daha hızlı bir üretim sağlayan hücresel YSA metodunu kullanmışlardır. Onlar sonlu-eleman yöntemlerine alternatif olarak hücresel sinir ağlarını önermişlerdir. Hücresel ağlar SPICE kullanılarak simüle edilmiştir. Hücresel ağ, değişken bir manyetik alandaki iletken materyal veya akım taşıyan bir iletken maddesindeki girdap akımlarını ve girdap akım kayıplarını hesaplar. Hücresel ağın sonuçları, sonlu-elemanlar yöntemi kullanılarak elde edilen değerlere çok yakın olarak bulunmuştur. Bu yapısal analizler, elektromanyetik alan hesaplamalarında vb. alanlarda geniş bir uygulama alanı geliştirmiştir.

2.8.2.8. Harmonik kaynağını izleme

Hartana ve Richards (1990a, 1990b) nonlinear yükler içeren güç sistemlerindeki harmonik kaynaklarını izleme ve tanımayı amaçlamışlardır. Bu yaklaşım, sistemdeki harmoniklerin direkt ölçümlerini yeterli görmüştür ve üç-katmanlı perceptron kullanmışlardır. Bu YSA, değişik yük şartları için simülasyon sonuçları kullanarak eğitilmiştir. YSA, harmoniklerin kaynağını göstermek için bir durum değerlendiricisiyle kullanılmıştır. Bu yaklaşım önceden tanımlanmamış olan bir harmonik kaynağını tanıyabilmektedir.

2.8.2.9. Durum tahmini

YSA sistem tanınmasında, parametre tahmininde ve analizlerinde çok başarılı olmuştur. Güç sistem topolojik görünürlüğü Mori ve Tsuzuki (1989) tarafından üç-katmanlı perceptron ağı kullanılarak ele alınmıştır. Bialasiewicz vd. (1989) akıllı kontrol sistemle ilgili bir modelde çok-katmanlı bir perceptron ağının bir durum değerlendiricisi olarak kullanılabildiğini göstermişlerdir. YSA, bir test sisteminin çevrim-dışı simülasyon verileri kullanılarak eğitilmiştir. Geriye-yayılım öğrenme oranı, öğrenme işlemini hızlandırmak için dinamik hale getirilmiştir. Durum tahmini için Kanekar ve Feliachi (1990) tarafından bir uygun lineer birleştirici ve çok-katmanlı perceptron ağı kullanılmıştır. Bu uygulamada YSA, güç sisteminin birkaç Kalman filtre çözümleri kullanılarak eğitilmiş ve örnek bir sistemde test edilmiştir. Durum tahminine dayanan YSA'nın sonuçları Kalman filtresiyle karşılaştırılmıştır ve sonuçlar olumlu bulunmuştur.

Eryürek ve Apadhyaya (1990) bir güç santralında sensör analizi için bir üç-katmanlı perceptron ağı önermişlerdir. Güç sistem durum tahmini probleminin üstesinden gelen başka bir YSA uygulaması Nishimura ve Aral (1990) tarafından gösterilmiştir. Bu YSA, uygulamaları bağımsız olan bir yapıya sahiptir. Bu çalışmanın performansının geriye-yayılım şeklinden daha iyi olduğu gösterilmiştir.

2.8.2.10. Beklenmedik olay analizi (koruması)

Sistem güvenilirliğini değerlendirmek için, olası beklenmedik olayların büyük bir miktarı değerlendirilir ve sıralanır. Geleneksel sıralama metodları uzun hesaplama zamanı alır. Bir sistemin işletme tarihi, veri tabanında mevcut olduğu için, beklenmedik olayları birkaç alt sınıf şeklinde gruplandırmak mümkün olabilecektir (Fischl vd., 1989). Bu çalışmada Fischl vd. farklı yüklenme ve beklenmedik olay şartları altında doğru bir şekilde güç sistem güvenilirliğini sınıflandırabilen iki-katlı bir perceptron ağını göstermişlerdir. Bu YSA, simülasyon sonuçları ve geriye-yayılım kullanılarak eğitilmiştir. Ancak güç sisteminin bütün alanını kapsamak için yeterli eğitime setleri üretmek mümkün değildir. Bu nedenle beklenmedik olay koruması için Chow vd. (1990) bir Hopfield ağı önermişlerdir. Bu çalışma, perceptron ağlarının öğrenme metodunun aksine YSA'nın ağırlıklarını ve eşik

değerlerini bulmak için bir optimizasyon metodu kullanmıştır. Optimizasyon metodu beklenmedik olayların doğru sınıflandırma olasılıklarını arttırmak için lineer programlama teknikleri kullanır. Bu işlem, sınır ihlal tipine ve sayısına göre beklenmedik olayları sınıflandırır. Metod, komple güvenlik izlemede ve korumada ilginç uygulamalara sahiptir.

2.8.2.11. Elektrik makine kontrol ve analizleri

Chow vd. (1989) bir senkron makine modelleme için üç-katmanlı bir perceptron ağ önermişlerdir. YSA, farklı işlem şartları altında senkron makinenin davranışını açıklamak için çevrim-dışı simülasyon verilerinden eğitilmiştir. Gizli katmanın iki farklı yapısı bu amaç için karşılaştırılmıştır. İlk yapı, gizli katmanda 10 düğüm içerirken ikinci yapı, gizli katmanda 20 düğüm içermektedir. Alan geriliminde, bir kademe girişe bir kademe cevap verme olarak bu iki yapı kullanılarak simüle edilmiştir. Chen ve Hsu (1991) senkron makine kararlı-durum analizleri için değiştirilmiş bir Nilsson öğrenme makinesi kullanmışlardır. Generatör çıkışları, güç sistem stabilizörü parametreleri gibi sistem değişkenleri YSA'na giriş olarak verilir. YSA bu bilgileri makinenin kararlılığını “dinamik kararlı” veya “dinamik kararsız” şeklinde değerlendirmek için kullanır.

YSA ile öğrenme kontrol işlemlerinde de oldukça verimlidir. Geleneksel kontrol tasarımı, YSA'nın gelişile yeni bir dönüşüm sağlamıştır. Geliştirilen model, parametrelerini ve uygun kontrol stratejisini örneklerden öğrenebildiği için güç sistemlerinin birçok kontrol alanlarında uygulama alanı bulmuştur. Weerasooriya ve El-Sharkawi (1991), DC motor kontrolörüne dayanan bir YSA göstermişlerdir. YSA, rotor hızının yörünge kontrolü için sistem değişkenlerini referans alan modelle uygulanmıştır. YSA, bu uygulamada iki gizli katman kullanır ve geriye-yayılım kullanılarak eğitilir. Wong vd. (1990), geçici stabilite değerlendirmesi için çok-katmanlı perceptron kullanmışlardır. YSA, dış devrenin herhangi bir noktasında simetrik bir arıza için tek-makineli bir sistemde test edilmiştir. YSA, CCT parametrelerini çok doğru bir şekilde tahmin etmede başarılı olmuştur. Wu vd. (1992) de türbogeneratörün kontrolü için geriye-yayılım perceptron modeli kullanmışlardır. Bu YSA uygulaması daha kompleks dinamik sistemlere veya ek kontrol düğümlerine kolaylıkla genişletilebilen bir öz yapıya sahiptir. YSA'nın uygun kontrol performansı ve modellemesi, bir türbogeneratör sisteminin ayrıntılı nonlinear modeliyle simülasyon

çalışmalarıyla değerlendirilir. YSA, santral izleme işletmesinde de uygulamalar bulmuştur (Pao, 1987). Bu uygulamada YSA, değişik işletme şartları ve bozulmalar altında çalışan bir kontrolör ile karşılaştırılmıştır.

2.8.2.12. Ünite paylaşımı ve planlama

Ünite paylaşımı, kesin olmayan planlama vb. gibi birçok güç sistem uygulamalarında ayrıntılı bir araştırma gerekir. Wang vd. (1990), ünite paylaşımı için üç-katmanlı perceptron ağı, tipik yük eğrileri ve ünite paylaşım programını göz önüne alarak eğitmişlerdir. Bütün durumlar için YSA, uygun çözüm sağlamıştır. Rao ve Vankayala (1993), kesin olmayan üretim büyüme planlaması için bir YSA tasarımı göstermişlerdir. Bu çalışmada ısı, su, nükleer vb. gibi değişik türdeki enerji kaynaklarının optimal oranlarını ve özel katkılarını tanıma için çok-katmanlı bir YSA önermişlerdir. Bu planlamadaki temel zorluk, planlama işleminde kullanılan değişik parametrelerin kesin olarak bilinmemesidir. Giriş verileri, geçmiş ekonomik faktörler, yakın geçmişteki yıllar üzerine enerji gelişimindeki bilgiler, yük gelişimindeki bilgiler, umulan kaynakların bulunması gibi geçmiş sistem verilerinden oluşturulur.

2.8.2.13. Nükleer güç istasyonlarında uygulamalar

Son zamanlarda nükleer güç santrallerinin güvenilirlik ve işlerliliğini iyileştirmede YSA'nın potansiyel uygulamalarını araştırılmaktadır (Uhrig, 1991; Izumi ve Taoka, 1989; Mathur ve Samad, 1990). Araştırmada durumundaki alanlar şunlardır:

- Belirli anormal şartların belirlenmesi
- İşletme model değişimini arama
- Valfleri denetlemeyi izleme
- Santral termo dinamiklerini modelleme
- Santral parametrelerini izleme
- Santral titreşimlerinin analizi

Nükleer güç sisteminin termal gücünü önceden bildirme (Roh vd, 1991a, 1991b) YSA için başka uygulama alanıdır. Bu uygulamada YSA'nın gürültülü işaret şartlarında bile çok başarılı olduğu gösterilmiştir.



BÖLÜM 3

GÜÇ SİSTEMLERİNDE HARMONİKLER VE ETKİLERİ

3.1. Harmoniklerin Matematiksel İfadesi

Herhangi bir periyodik dalga şekli, temel bileşenin tam çarpanları olan frekanslarda harmonik olarak adlandırılan bileşenler ile temel sinüs dalga bileşeni ve (varsa) doğru bileşenden oluşacak şekilde gösterilebilir. Sinüsoidal olmayan bir dalga kompleks dalga olarak nitelenir ve örneğin bu dalga şekli bir gerilim dalga şekline ait ise matematiksel olarak

$$u(t) = U_0 + U_1 \sin(\omega t + \phi_1) + U_2 \sin(2\omega t + \phi_2) + U_3 \sin(3\omega t + \phi_1) + \dots + U_n \sin(n\omega t + \phi_n) \quad (3.1)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada,

$u(t)$: Gerilimin herhangi bir t anındaki ani değerini

U_0 : Gerilimin doğru (veya ortalama) değerini

U_1 : Gerilimin temel bileşeninin maksimum değerini

U_2 : Gerilimin ikinci harmonik bileşeninin maksimum değerini

U_n : Gerilimin n . harmonik bileşeninin maksimum değerini

ω : Bağlı açısal frekans olmak üzere ($\omega = 2\pi f$ olup f , temel bileşen frekansıdır)

$\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$: Sırasıyla birinci, ikinci ve n . mertebeden harmonik açısal frekanslarını

$\phi_1, \phi_0, \dots, \phi_n$: Sırasıyla birinci, ikinci ve n . mertebeden harmonik faz açılarını

göstermektedir.

Yukarıda gösterilen sinüsoidal olmayan periyodik işarete ωt yerine x bağımsız değişkenini, volt veya akım yerine y bağımlı değişkenini kullanmak suretiyle

$$y=f(x)=R_0 + R_1 \sin(x + \phi_1) + R_2 \sin(2x + \phi_2) + R_3 \sin(3x + \phi_1) + \dots + R_n \sin(nx + \phi_n) \quad (3.2)$$

veya

$$y=f(x)=A + a_1\sin x + a_2\sin 2x + \dots + a_n\sin nx + b\cos x + b_2\cos 2x + \dots + b_n\cos nx \quad (3.3)$$

olarak ifade edilebilir.

Yukarıda düzenlenen (4.3) denklemi Fourier serisi olarak bilinir ve bu serinin elemanlarına da Fourier bileşenleri ya da katsayıları adı verilir. Fransız matematikçi J. Fourier¹, sinüsoidal olmayan periyodik dalgaların genlik ve frekansları farklı birçok sinüsoidal dalgaların toplamından oluştuğunu göstermiştir. Fourier serisinin katsayıları aşağıda gösterildiği gibi belirtilir (periyot, $T = 2\pi$ alınmıştır):

$$A = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(x) dx \quad (3.4)$$

$$a_n = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \sin nx dx \quad (3.5)$$

$$b_n = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \cos nx dx \quad (3.6)$$

Yukarıdaki 3.5 ve 3.6 ifadeleri

$$R_n \sin(nx + \phi_n) = a_n \sin nx + b_n \cos nx \quad (3.7)$$

şeklinde yazılabilir. Burada,

$$R_n = (a_n^2 + b_n^2)^{1/2} \quad \text{ve} \quad \phi_n = \arctan \frac{b_n}{a_n}$$

şeklindedir.

¹ Joseph Fourier (168-1830), "Theorie Analytique de la Chaleur", Paris, 1822.

Yukarıdaki ifadelerden yola çıkarak sinüsoidal olmayan periyodik bir işaretin Fourier analizi sonucu zaman domeni ifadesi en genel halde

$$f(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} R_n \sin(nt + \phi_n) \quad (3.8)$$

veya

$$f(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} R_n \cos(nt + \phi_n) \quad (3.9)$$

şeklinde gösterilebilir. Burada,

$n = 2, 3 \dots$ pozitif tamsayı olmak üzere harmonik mertebesini

$t =$ bağımsız değişkeni (elektrik güç sistemlerinde $t = \omega t$ alınır)

$A_0 =$ sabit terimi (literatürde sabit bileşen veya ortalama değer olarak da bilinir) göstermektedir.

$R_1 \sin(t + \phi_1)$ terimine $f(t)$ fonksiyonunun temel dalga bileşeni adı verilir. Daha genel bir ifade ile "1" indisli terimler "temel bileşen" adını alır. Temel bileşen aynı zamanda tam sinüsoidal değişime karşılık düşen dalgayı belirler (Kryzing, 1967; Lander, 1981).

Periyodik bir fonksiyonun Fourier bileşenleri, fonksiyonun dalga şekline bağlıdır. Böylelikle dalga analizi sonunda bazı bileşenler bulunabileceği gibi bazıları da bulunmayabilir (Kuo, 1960). Kompleks bir dalganın analizinde bazı basitleştirmeler yapmak da olasıdır:

- i) Pozitif ve negatif yarım dalgaların alanları eşitse o zaman $A_0 = 0$ 'dır. Yani doğru bileşen yoktur demektir.
- ii) $f(\pi + x) = -f(x)$ ise bu durumda yani yarım periyot sağa veya sola π kadar kaydırıldığında t eksenine göre simetrik ise çift dereceli harmonikler yoktur.
- iii) $f(-x) = -f(x)$ ise bu durumda $b_n = 0$ (tek simetrik) yani kosinüslü terimler yoktur.
- iv) $f(-x) = f(x)$ ise bu durumda $a_n = 0$ (düşey eksen simetrisi) yani sinüslü terimler yoktur.

3.2. Harmonik Analizi ve Genel Kavramlar

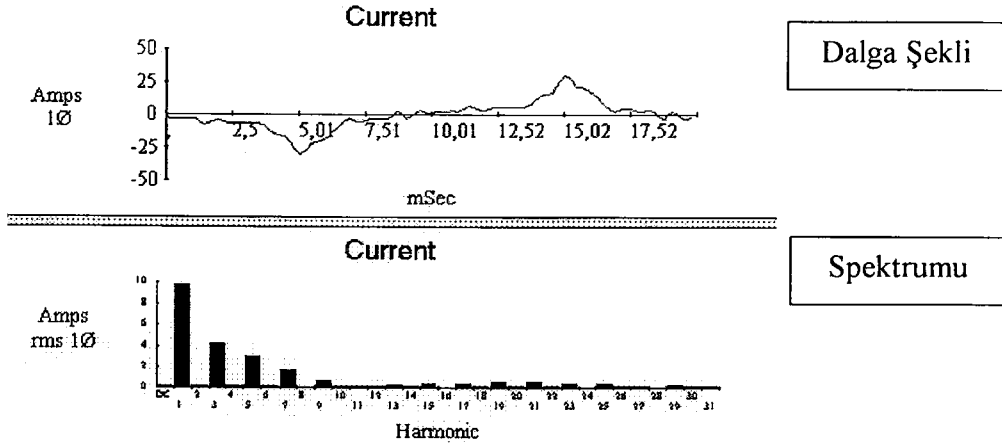
3.2.1. Harmonik analizi

Harmonik analiz, periyodik dalga şeklinin temel bileşen ve daha yüksek dereceli harmoniklerin genlik ve faz açılarının hesaplanması işlemidir (Arrillaga vd., 1985). Fourier analiz teorisine göre, bozulmuş periyodik bir dalga şeklinin harmonik bileşenleri bir Fourier serisi ile ifade edilebilir. Fourier analiz tekniklerini uygulayarak bozulmuş bir periyodik dalga şekli 50 Hz'in tam katları olan frekanslara sahip (100 Hz, 150 Hz, 200 Hz, ...) sinüs biçimli dalga şekillerinin bir serisine ayrıştırılabilir.

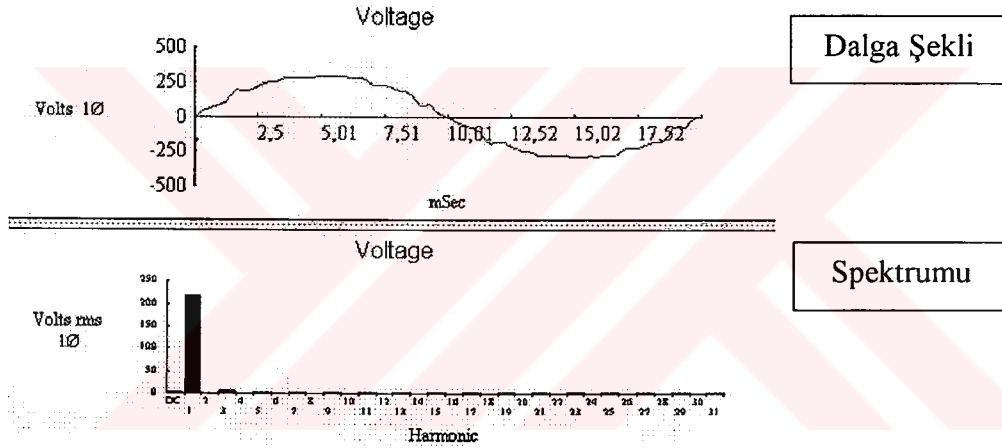
Periyodik bir dalga şekli için matematiksel yani analitik bir ifade koymanın zor olduğu durumlarda grafik yöntem kullanılır. Genelde osiloskoptan alınan veya bir deney sonucu elde edilen dalga şekli, bir periyot için apsisde k kadar eşit parçaya bölünür ve aşağıdaki ifadelerden katsayılar hesaplanır (Arrillaga vd., 1985). Bu ifadelerde f_m , her m değerine karşılık gelen fonksiyon değeridir.

$$\left. \begin{aligned} A_0 &= \frac{2}{k} \sum_{m=1}^k f_m \\ A_0 &= \frac{2}{k} \sum_{m=1}^k f_m \sin m \frac{2\pi n}{k} \\ A_0 &= \frac{2}{k} \sum_{m=1}^k f_m \cos m \frac{2\pi n}{k} \end{aligned} \right\} \quad (3.10)$$

Harmonikleri belirlemenin üçüncü bir yolu ölçme yöntemidir. Harmonik frekansların ve genliklerin ölçülmesi için günümüzde hızlı Fourier dönüşümünü (FFT) kullanan "harmonik analizörü" veya "dalga analizörü" adı verilen cihazlar kullanılabilir. Gerçek zamanda sürekli bir harmonik analizi yapılarak sonuçları ya dalga şeklinde ya da temel bileşenin yüzdesi cinsinden spektrum şeklinde gösteren çok kanallı (32 kanala kadar) ve 50. harmoniğe kadar akım ve gerilim harmoniklerini veren sistemler mevcuttur (Miller vd., 1992). Şekil 3.1'de harmonikli bir sistemin akım ve gerilim dalga şekilleri ve harmonik spektrumları gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Tek fazlı harmonikli akım dalga şekli ve spektrumu



Şekil 3.2 Tek fazlı harmonikli gerilim dalga şekli ve spektrumu

Ölçülen harmoniklerin dört tip karakteristik özellik gösterdiği gözlemlenmiştir:

- 1) Yavaş değişen harmonikler
- 2) Değişken harmonikler
- 3) Hızlı değişen harmonikler
- 4) Ara harmonikler

İlk üç kategori arasında tam bir ayrım yapmak zordur. Birinci durum, sürekli analizin gerekli olmadığı belli zamanlarda yapılan uygulamalardır. Örneğin i) sabit harmonik akımların (TV alıcıları, flüoresan lambalar veya aydınlatma dimmerleri gibi) ölçülmesi, ii)

bir besleme sisteminde, ani bir etkisinin olmadığı, uzun süreli periyodik ölçümler. İkinci durum sürekli gerçek-zaman analizlerinin gerekli olduğu uygulamalardır. Örneğin elektronik faz kontrol ve regülasyonu, motor dönüş yönünün ve hızının değişmesi gibi nedenlerden dolayı oluşan değişken harmoniklerin ölçülmesi. Üçüncü durum çok kısa süreli (1 saniye gibi) harmonik sıçramalarının ölçülmesi uygulamasıdır ki özellikle şebekelerde uzaktan kontrol (SCADA) uygulamalarında önemlidir (Defty ve Maples, 1970; Bradley ve Grindrod, 1982; IEEE Working Group on Power System Harmonics, 1983; IEC 1000-4-7, 1991).

Harmonik ölçüm sonuçları genelde genlik ölçümüne daha doğrusu harmonik akımlarının efektif (rms) değerlerinin ölçümüne dayanır. Harmonik kaynaklar ve sistemin toplam empedansı ile yükleri içeren doğru bir eşdeğer devre oluşturmak için, hem genliklerin hem de faz açılarının ölçülmesi gereklidir. Ancak bu şekilde sistemin harmonik seviyelerinde meydana gelecek değişiklikler önceden tahmin edilebilir, harmonik yük akışı tam olarak değerlendirilebilir ve aynı sistemin farklı düğümlerindeki ölçmeler karşılaştırılabilir (IEC 1000-4-7, 1991).

3.2.2. Temel kavramlar

Elektrik enerji sistemlerinde harmoniklerin her geçen gün artması nedeniyle bu etkilerin ifade edilmesi, yok edilmesi veya sınırlandırılmasında baz alınan bazı büyüklükler tanımlanmıştır (Shuter vd., 1989; Emanuel, 1990; Heydt vd., 1991). En yaygın olarak kullanılan hem gerilim hem de akım için verilen Toplam Harmonik Distorsiyonu (THD) kavramıdır. Bu konudaki standartlar da sınırlamalarını yüzde THD olarak göstermektedirler.

Maksimum harmonik derecesi K olan,

$$i(t) = I_0 + \sum_{n=1}^K I_n \sin(n\omega t + \alpha_n) \quad (3.11)$$

$$v(t) = V_0 + \sum_{n=1}^K V_n \sin(n\omega t + \beta_n) \quad (3.12)$$

şeklinde verilen akım ve gerilim dalga şekilleri göz önüne alınsın.

Akım için sırasıyla efektif akım (I), toplam harmonik distorsiyonu (THD_i) ve distorsiyon faktörü (DF_i),

$$I = \sqrt{\left(\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt \right)} = \left(I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots \right)^{1/2} \quad (3.13)$$

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (3.14)$$

$$DF_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I} \quad (3.15)$$

Gerilim için sırasıyla efektif gerilim (V), toplam harmonik distorsiyonu (THD_v) ve distorsiyon faktörü (DF_v),

$$V = \sqrt{\left(\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt \right)} = \left(V_0^2 + V_1^2 + V_2^2 + \dots \right)^{1/2} \quad (3.16)$$

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \quad (3.17)$$

$$DF_v = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V} \quad (3.18)$$

şeklinde yazılabilir. Yukarıdaki ifadelerde "1" indisi temel bileşen değerini, "2....K" indisleri ise harmonik bileşenleri gösterir. K değeri, pratikte 25 ile 50 arasında değer almaktadır.

Harmonik içeren enterkonnekte sistemlerinde dört temel sistem ele alınabilir:

- i) Sinüsoidal gerilim beslemeli lineer devreler
- ii) Sinüsoidal gerilim beslemeli lineer olmayan devreler
- iii) Sinüsoidal olmayan gerilim beslemeli lineer devreler
- iv) Sinüsoidal olmayan gerilim beslemeli lineer olmayan devreler

Yukarıda belirtilen her dört durum için de ayrı ayrı güç (aktif, reaktif, görünen güç) ve kompanzasyon (güç faktörü ve kondansatör gücü) tanımı yapılmıştır. Harmonik güç ve harmonik kompanzasyon kavramları da yeni yeni literatürde yer almaktadır (Shepherd ve Zand, 1979; Kusters vd., 1980; Makram vd., 1992; Watanabe vd., 1993; Emanuel ve Yang, 1993). Burada pratikte en çok karşılaşılan sinüsoidal beslemeli lineer olmayan devreler örnek olarak alınmıştır. Lineer olmayan yükü besleyen tek fazlı bir devreye

$$v = V_m \sin \omega t = \sqrt{2} V \sin \omega t \quad (3.19)$$

şeklinde bir gerilim uygulanması durumunda devreden K dereceli harmonik içeren

$$i = \sqrt{2} \sum_{n=1}^K I_n \sin(n\omega t + \Psi_n) \quad (3.20)$$

şeklinde bir akım geçer. Bu durumda şebekeden çekilen (ortalama) güç,

$$P = P_1 = V I_1 \cos \Psi_1 \quad (3.21)$$

olur. Ψ_1 , besleme gerilim (V) ve yük akımının temel bileşeni (I_1) arasındaki açıdır. Burada besleme gerilimi sadece temel harmonik bileşeni içerdiğinden, ortalama güç sadece temel

bileşen akımı ile besleme geriliminin bileşiminden oluşmaktadır (Shepherd ve Zand, 1979; Heuman, 1986.).

(3.16) ve (3.19) yardımıyla

Görünen güç,

$$S = VI \quad (3.22)$$

Reaktif güç,

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (3.23)$$

$$Q_1 = V I_1 \sin \Psi_1 \text{ (Temel bileşen reaktif gücü)}$$

Güç faktörü,

$$PF = \frac{P}{S} = \frac{VI_1 \cos \Psi_1}{VI} = \frac{I_1 \cos \Psi_1}{\sqrt{\sum_{n=1}^K I_n^2}} \quad (3.24)$$

yazılabilir. Bu bağıntıda $\cos \Psi_1$ deplasman güç faktörü (ki sinüsoidal gerilim ve akımlı lineer devrelerdeki güç faktörü ile aynı anlamlıdır), I_1/I distorsiyon faktörü olarak adlandırılır. Bu yüzden (3.24) bağıntısı “PF = deplasman güç faktörü (DPF)*distorsiyon faktörü” şeklinde yeniden yazılabilir. Dikkat edileceği gibi $I > I_1$ olduğundan dolayı distorsiyon faktörü birden küçük olacaktır.

Harmonik Distorsiyon gücü,

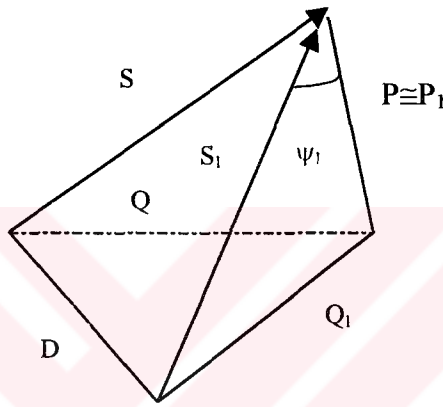
$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} = \sqrt{V^2 \sum_{n=2}^K I_n^2} = S^2 \left[1 - \left(\frac{I_1}{I} \right)^2 \right] \quad (3.25)$$

Tepe faktörü veya krest faktörü (Crest Factor, CF) periyodik olarak değişen herhangi bir dalga şekli için,

$$CF = \frac{\text{tepe değeri}}{\text{efektif değeri}} \quad (3.26)$$

şeklinde yazılabilir.

Şekil 3.3'de güçlere ait fazör diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Güçleri gösteren fazör diyagramı

Yukarıda tanım büyüklükleri verilen ifadeleri tek fazlı doğrultucunun beslediği bir yük (2,2 kW, 220 V, 60 Hz) için ele alırsak

DPF : 0,93

PF : 0,735

CF : 2,25

THD_i : %79

dc gerilim : %1,5

değerleri örnek olarak verilebilir (Mohan vd., 1989).

3.3. Harmonik Kaynaklar

Elektrik üreten ve dağıtan firmalar ile elektriği kullanan müşteriler elektrik enerjisinin iyi kalitede olmasını isterler. Ancak bazı yükler yapıları gereği bazı yükler ise tasarım ve

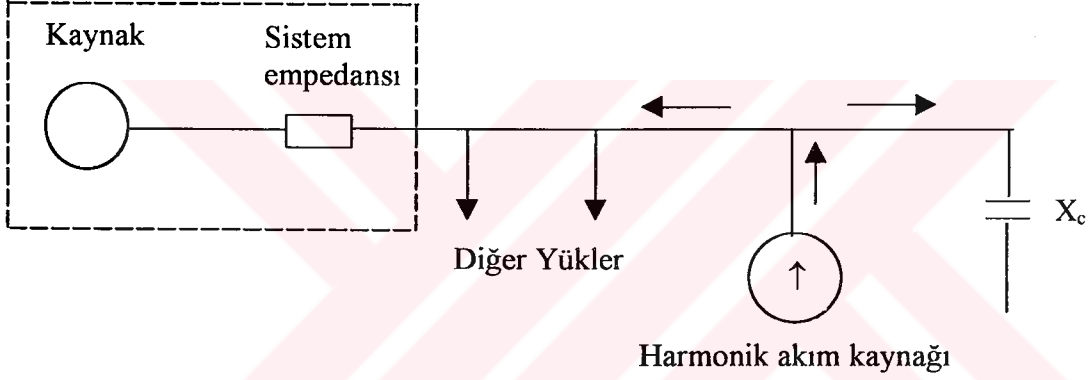
kontrol özellikleri bakımından besleme gerilimini ve akımını bozarlar yani harmonik üretirler. Bunun en belirgin nedeni uç gerilimi ve akımı arasındaki bağıntının lineer olmadığı yüklerdir. Bu tür yükler, genel olarak ark prensibine göre çalışan düzenler, gaz deşarjlı aydınlatma armatürleri, demir çekirdekli sargı bulunduran makinalar, elektronik veya yarıiletken teknolojisine göre tasarlanmış sistemler şeklinde sınıflandırılabilir. Sanayide, ticarethanelerde ve evlerde kullanılan harmonik üreten cihazlara her geçen gün yenileri eklenmektedir. Elektrik makinalarının ve cihazlarının tasarım ve kontrol ilkelerinde meydana gelen değişiklikler ve güç elektroniğinin hızla ilerlemesi modern hayata bir çok yararlar getirirken beraberinde bir çok olumsuzlukları da getirmektedir. Örneğin jeneratör, transformatör, motor ve bobin gibi demir çekirdek içeren elemanlar, doymanın baş göstermesi ile harmonikli akımlar üretirler. Ark fırınları ve kaynak makinaları gibi düzeneklerde normal işletmeleri gereği bir arkın oluşması sonucunda harmonik üretirler. Tristörler, GTO'lar (Gate-Turn-Off thyristor), MCT'ler (MOS-Controlled Thyristor) veya IGBT'ler (Insulated Gate Bipolar Transistor) sinüs biçimli akımı keserken yine harmonikler oluştururlar. Aşağıda harmonik üreten kaynaklar, cihazlar, düzenler ve olası tasarımlar ve teçhizatlar geniş bir yelpazede maddeler halinde sunulmuştur (Kimbark, 1971; IEEE Working Group on Power System Harmonics, 1983; Arrillaga, 1985; Heuman, 1986; Lakervi and Holmes, 1989; Wagner, 1993, Emanuel vd., 1993; Dwyer vd., 1995, İnan vd., 1997):

- Elektrik makinalarındaki diş ve oluklar
- Çıkık kutuplu senkron makinalarda hava aralığındaki relüktans değişimi
- Senkron makinalarda hava aralığı döner alanı
- Senkron makinalarda ani yük değişimlerinin meydana getirdiği manyetik akı dalga şeklindeki bozulmalar
- Doyma bölgesinde çalışan transformatörlerin mıknatıslanma akımları (Mıknatıslama akımındaki harmoniklerin şebekeye geçmesi, transformatörün bağlantı grubuna, primer tarafı yıldız bağlı ise yıldız noktasının nötre bağlı olup olmamasına ve manyetik devrenin geometrik yapısına bağlıdır)
- Transformatörlerin ilk enerjilenmesi ve motorların kalkış akımları
- Senkron makinaların uyarılması için kullanılan diyod ve tristörlü dönüştürücüler

- Güç üretim tesislerinde pompa, ateşleyici ve fanları sürmede kullanılan elektronik kontrol düzenleri
- Özellikle çimento ve maden sanayinde kullanılan lineer motorları sürmek için kullanılan frekans dönüştürücüler
- Ark ocakları ve fırınları
- Indüksiyonla ısıtmanın kullanıldığı çelik sanayi, haddehaneler
- Kaynak makinaları
- Yarı iletken kontrollü cihazlar (motor hız kontrol düzenleri, ısıtıcılarda ısı regülasyon düzenleri, elektronik termosifonlar vb.)
- Başta teyp, portatif tv adaptörleri, ütü, traş makinası ve uzun ömürlü tekrar dolabilen piller gibi şarjlı cihazlarda kullanılan doğrultucu devreler
- Reaktif gücün çok hızlı ve ani değiştiği (özellikle ark fırınlarında) sistemlerde tristör anahtarlama statik VAR kompanzasyonu
- Deşarj lambaları (civa buharlı, sodyum buharlı, neon gazlı ve floresan lambalar)
- Kesintisiz güç kaynakları
- Bilgisayar/network sistemleri ve bunlarla yönetilen otomasyona dayalı üretim tesisleri
- Anahtarlama güç kaynakları
- Enerji tasarrufu amacı ile kullanılmaya başlanan kompakt floresanlar ve beraberinde gelen elektronik balastlar ile ışık ayarlı (dimmer) halojen lambalar
- Doğru Akım ile Enerji İletimi kontrolü ve dönüştürücü istasyonlar
- Elektrikli trenler ve tek-raylı ulaşım araçlarında yüksek güçlü doğrultucuları, universal ve üç fazlı motorları beslemek için kullanılan dönüştürücüler
- Elektrikli taşıtlarda akü-şarj devreleri
- Konutlarda kullanılmaya başlanan fuzzy kontrollü çamaşır ve bulaşık makinaları, özellikle çok ekranlı televizyonlar, akıllı fırınlar ve mikrodalga fırınları, otomatik ayarlı aspiratörler ve hava düzenleyiciler (klimalar).
- Elektrokimya'da plakalara şekil verme, elektrokaplama işlemlerinde ve elektrophoretic boya spreylarinde kullanılan statik dönüştürücüler
- Rüzgar ve güneş enerjisi gibi alternatif enerji kaynaklarında özellikle ac/dc dönüştürücülerde kullanılan yarı iletken teknolojisi.

3.4. Harmonik Akımlar

Harmonik akımlar, harmonik kaynağından en düşük empedansa doğru akma eğilimindedir. Harmonik akım kaynağı tarafından görülen empedans, sistem kaynak empedansı ile sisteme paralel bağlı diğer yüklerin empedanslarının eşdeğerlerinin toplamıdır. Genel olarak kaynak empedansı, paralel bağlı yüklerin empedansından çok daha düşüktür. Harmonik akımlar çok büyük bir kısmı sistem kaynağına doğru akmak üzere empedans oranına göre bölünecektir. Daha yüksek mertebeli harmonik akımları ise, yüksek frekanslarda düşük bir empedans gösteren kondansatörlere doğru akacaktır. Simülasyon ve güç akış çalışmalarında lineer olmayan yükler bir akım kaynağı olarak düşünülür. Şekil 3.4 de harmonik akımların akış yönü gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Harmonik akımların akışı

Güç sisteminde gerilim harmonik bileşenler içerdiğinde bundan tüm yükler etkilenir. Harmonik içeren bir akım ise sadece harmonik akımın üzerinden geçtiği yüklerle etki edebilir. Gerilimdeki harmoniklerin nedeni, sistem empedansında akan harmonikli bir akımdır. Bu nedenle, gerilim harmoniklerini önlemenin yolu, harmonik akımlarının akışını kontrol ederek gerilim harmoniklerine neden olabilecekleri yerlerden uzak tutmaktır.

Sistemin herhangi bir yerinde oluşan harmonik akımlarının her zaman sorunlara neden olacağı söylenemez. Güç sistemi, herhangi bir önemli sorun oluşturmadan önemli miktarda harmonik akımı taşıyabilir. Bir sorunun ortaya çıkması için harmonikli akımın yüksek bir empedans yolunda veya iletişim devrelerinde akması gerekir.

Harmonik içeren bir akım, yüksek bir empedans yolunda veya rezonans devresinde akarsa, gerilimde harmonik bileşenler içermeye başlar. Bu, dolaylı bir etkidir. Akım harmoniklerinin doğrudan etkisi, akım yolundaki elemanlarda ek ısınma ve kayıplara yol açmasıdır.

Önceden de belirtildiği gibi, lineer olmayan bir elemanın akım-gerilim karakteristiği lineer değildir. Bu elemanlar sinüs biçimli bir gerilim kaynağına bağlandığında elemanın akımı, tam sinüs biçimli bir akım kaynağına bağlandığında ise elemanın gerilimi harmonik bileşenler içerecektir. Yani, lineer olmayan bir elemanın akım veya geriliminden herhangi birisi veya her ikisi birden harmonik bileşenler içerebilir, fakat her ikisi birden tam sinüs biçimli olamaz.

Sistem kaynağının empedansı yük empedansına göre genelde çok daha düşük olduğundan, sistemdeki gerilim harmonik seviyeleri bazen izin verilebilir seviyeleri aşmasına rağmen genelde düşüktür. Sistemdeki akım dalga şekli yaklaşık olarak sabittir ve lineer olmayan yükler sabit harmonik akım kaynakları olarak düşünülebilirler. Sonuç olarak doğrusal olmayan yüklerin etkisi, özellikle sistem empedansına olmak üzere sistem karakteristiklerine bağlıdır (Gonzales, 1987).

3.5. Harmoniklerin Etkileri

Son 50 yıldır harmoniklerin neden olduğu bir çok problem ortaya konmuştur. Lineer olmayan yükler tarafından üretilen harmonikler güç sistemindeki tüm elemanları etkilerler. Harmonikler elektrik makinaları, transformatörler ve enerji iletim hatlarında ilave harmonik akımların geçmesine, dolayısıyla kayıpların artmasına neden olurlar. Bu durumda elektrik makinalarında, transformatörlerde ve enerji iletim hatlarında aşırı ısınmalar meydana gelebilir. Bazı durumlarda elemanın zarar görmesine ve devre dışı kalmasına neden olurlar. Bazı elemanlar için başka sonuçlarda mümkündür. Yüksek harmoniklerin bulunduğu bir şebekede toprak kısa devresi akımları da daha büyük efektif değerlere yükselirler (Wagner vd., 1993).

Harmonik akımların frekansları 50 Hz'in tam katları olduğundan, bu akımların generatörler, transformatörler ve hat reaktansları üzerinde meydana getirdiği gerilim düşümleri artar. Şebeke geriliminin frekansından farklı frekanstaki bu gerilim düşümleri, temel şebeke gerilimi üzerine binerek sinüsoidal gerilim biçimini bozarlar.

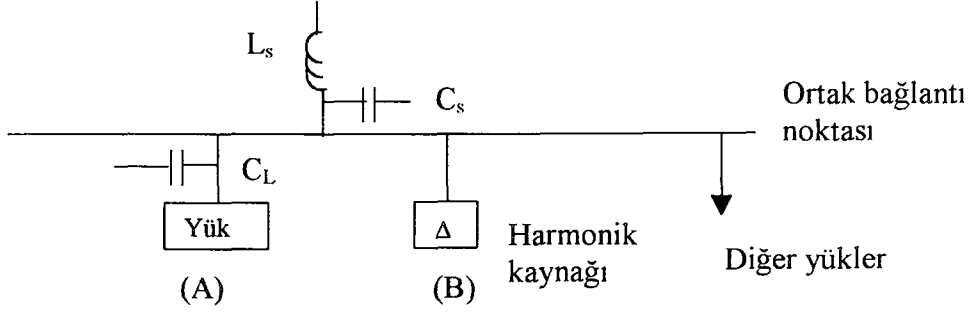
Harmonik akımlar nedeniyle sistemdeki gerilim düşümleri artacak, generatör, transformatör ve motorlardaki kayıplar büyüyecek ve ayrıca, harmonikler nedeniyle sistemde çeşitli frekanslar bulunacağından, rezonans meydana gelme olasılığı artacaktır. Rezonans sonucu oluşabilecek aşırı akım ve gerilimler işletmedeki aygıtlara zarar verecektir.

Bir tüketici tarafından üretilip şebekeye verilen harmonikler şebekede dağıtılarak başka bir tüketiciye ulaşırlar. Eğer harmoniklerin ulaştığı tüketicinin yükleri sadece lineer ise zararlı tüketicinin hesabı ikinci tüketicinin üstüne biner. Bu durum tüketici haklarına yeni bir kavram getirmiştir. Bu nedenle üretilen harmoniklerin ölçümünde kullanılmak üzere yeni elektronik sayaçlar üzerinde çalışmalar sürmektedir. Bu tür sayaçlar "50 Hz'lik enerjiyi" ve "harmonik enerjiyi" ayıracak şekilde programlanabilir. Burada iki temel sorun yatmaktadır; elektrik idareleri tüketicilerden kullandıkları harmonik enerji için mi yoksa şebekeye verdikleri harmonikler için mi fatura kesecekler?

3.5.1. Harmoniklerin yol açtığı rezonans olayları

Bilindiği gibi, endüktif reaktans frekans ile doğru orantılı olarak artmasına rağmen, kapasitif reaktans frekans ile ters orantılı olarak azalır. Rezonans frekansında endüktif reaktans kapasitif reaktansa eşit olur. Sistem rezonansı, harmonik frekanslarından birine yakın bir değerde oluşursa, aşırı seviyede harmonik akım ve gerilimleri ortaya çıkacaktır. Sistemdeki rezonans durumları, harmonik seviyelerini etkileyen çok önemli etkenlerdir. Seri rezonans harmonik akım akışı için düşük bir empedans göstermesine rağmen, paralel rezonans yüksek empedans gösterir. Rezonans durumları bir sorun oluşturmadığında sistem önemli seviyelerdeki harmonik akımlarını taşıyabilir. Bu nedenle, sistemin cevap karakteristiklerini analiz etmek ve sistem rezonans sorunlarını gidermek çok önemlidir (Shipp, 1979).

Söz konusu rezonans olayları, seri rezonans ve paralel rezonans olmak üzere iki grup altında incelenebilir. Şekil 3.5’de bir paralel rezonans devresi gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Ortak bağlantı barasında paralel rezonans oluşumu

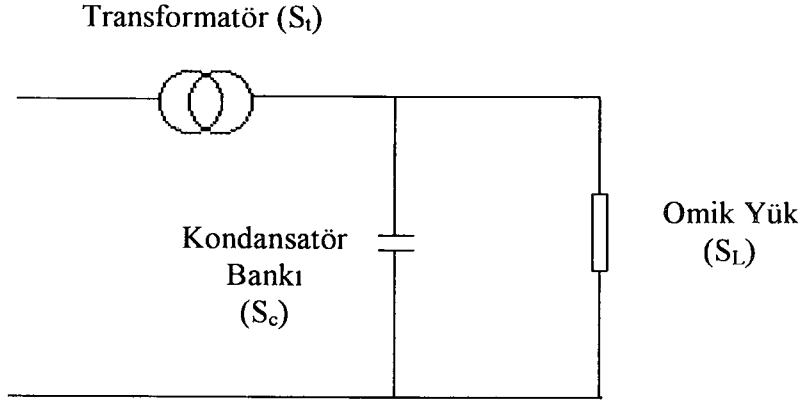
Paralel rezonans olayı en çok karşılaşılan problemlerden biridir. Lineer olmayan yüklerin ürettiği harmonik frekanslarından birinin yakınında, kondansatör grupları ile sistem endüktansı arasında paralel rezonans oluşabilir. Paralel rezonans olayı sırasında kondansatör uçlarındaki gerilim aşırı yükseldiği için kondansatör zarar görebilir. Bu durum endüstriyel yüklerde ve sistemlerde yaygın olarak görülen bir olaydır.

Şebeke empedansının tamamen endüktif olduğu kabul edilirse rezonans frekansı

$$f_p = f \cdot \sqrt{\frac{S_s}{S_c}} \quad (3.27)$$

yazılabilir. Burada f temel frekansı, f_p paralel rezonans frekansını, S_s şebekenin kısa devre gücünü ve S_c kapasitenin anma gücünü göstermektedir. "B" tüketicisi bir harmonik kaynağını göstermektedir. Rezonans koşulu sistemin endüktansı (L_s) ve sistem kapasitesi (C_s) ile yükün kapasitesi (C_L) değerine bağlı olacaktır. Hangi durumda rezonans koşulu oluşacağını belirleyebilmek için, baradaki harmonik gerilim ile birlikte, baraya bağlı her tüketici yük ve kaynakların harmonik akımlarını ölçmek gerekir. Genel olarak, baradan enerji sistemine akan akım küçük ancak harmonik gerilim değeri yüksek ise, rezonansın enerji sistemi tarafında oluşacağı söylenebilir. Eğer baraya bağlı yükler harmonik akımlar çekiyor ve bu durum barada harmonik gerilimlerin oluşmasına neden oluyorsa, rezonansın sistemin endüktansı ve yük kondansatörü arasında oluşacağı söylenebilir (Arrillaga, 1985).

İkinci rezonans türü olan seri rezonans Şekil 3.6'de görülmektedir.



Şekil 3.6 Seri Rezonans Devresi

Seri rezonans koşulu

$$f_s = f \cdot \sqrt{\frac{S_t}{S_c \cdot Z_t} - \frac{S_L^2}{S_c^2}} \quad (3.28)$$

şeklindedir. Burada f_s seri rezonans frekansını, S_t transformatörün nominal gücünü, Z_t transformatörün (p.u) empedansını ve S_L omik yükün gücünü göstermektedir. Seri rezonans, rezonans frekansıyla uyuşan harmonik akımlarına düşük bir empedans yolu sağlar; böylece harmonik akımlarda bir büyüme söz konusu değildir. Ancak harmonik akımlar şebekenin istenmeyen kısımlarına akabilirler. Bunun sonucunda iki tür sorun ortaya çıkabilir: (a) Rezonans devresi ile hat boyunca seri bağlantılı devreler varsa, önemli ölçüde parazitler oluşabilir (Gonzales. 1987), (b) Rezonans kolundaki harmonik akımlar nedeniyle kondansatör grubunda aşırı gerilim harmonikleri oluşabilir ve bobin sargılarının izolasyonu zorlanır. Kondansatör uçlarındaki gerilim şebeke geriliminin X_c/R katına çıkar (Van, 1993).

Rezonansların oluşması sistemde arıza ve hasarlar meydana getirebilir. Harmonik rezonansının etkisi sistem yükünün az olduğu zamanlarda, örneğin gecenin geç saatleri ve tatil günlerinde daha fazladır. Yük seviyesi arttıkça akımın akabileceği daha küçük empedans yollarından dolayı rezonans nedeniyle oluşan harmonik artışı zayıflar. Birçok

endüstriyel tesiste olduğu gibi, devreler daha az yüklendiklerinde ve yüklerin tümü motor olduğunda, rezonans nedeniyle oluşan harmoniklere karşı daha duyarlı olurlar (Arrillaga, 1985).

3.5.2. Kondansatörler üzerindeki etkisi

Yüksek harmoniklerin neden olduğu gerilim distorsiyonundan en çok etkilenen eleman güç faktörü düzeltiminde kullanılan kondansatör üniteleridir. Gerçekte bir harmonik probleminin ilk belirtilerinden biri kondansatör ünitelerinde oluşan arızadır. Bu elemanlarda en önemli problem aşırı etkin akımlardır ve buna bağlı olarak kayıpların artmasıdır. Diğer bir problem de tepe geriliminin oluşturduğu yalıtım zorlanmasıdır.

Gerilimin sinüsoidalden ayrılması kapasiteler üzerinde ek kayıplara yol açar; n harmonik derecesini, C kondansatörün kapasitesini, $\tan \delta = R\left(\frac{1}{\omega C}\right)$ kayıp faktörünü; $\omega_n = 2\pi f \cdot n$, harmonik frekansı ve V_n , n . harmoniğe ilişkin efektif gerilim değerini göstermek üzere kondansatörlerdeki ek dielektrik kayıpları yani kondansatörde harmoniklerden kaynaklanan kayıp artışı,

$$\sum_{n=2}^{\infty} C \cdot (\tan \delta) \omega_n \cdot V_n^2 \quad (3.29)$$

şeklinde yazılabilir.

Gerilimi ve güç faktörünü düzeltmek için şönt kondansatörlerinin kullanımı harmonik seviyeler üzerinde önemli bir etki meydana getirir. Kondansatörler harmonik üretmezler ancak olası rezonans şartlarını oluşturan şebeke çevrimini sağlarlar. Kondansatörlerin ilavesi ile sistem, yük akımı veya sistem geriliminde var olan harmonik frekans civarında rezonansa gelebilir. Kondansatör tesisi bulunan alçak gerilimli bir sistemin rezonans frekansı

$$n = \sqrt{(Q_s/Q_c)} \quad (3.30)$$

ifadesinden bulunabilir. Burada,
 n , rezonansın oluşabileceği harmonik derecesi
 Q_s , mevcut kısa devre gücü kVA
 Q_c , kondansatör tesisinin kVAr değeridir

Alçak gerilimli tesislerin çoğunda aşağıdaki talimatlara uyulması gerekir (Wagner vd., 1993):

- i. Harmonik üreten yükün kVA'sı, transformatör kVA değerinin %10'nun daha az ise kondansatörler rezonans ihtimali olmadan kullanılabilir.
- ii. Harmonik üreten yükün kVA'sı, transformatör kVA değerinin %30'nun daha az ve kondansatörler kVAr değeri, transformatör kVA değerinin %20'sinden daha az ise kondansatörler rezonans ihtimali olmadan kullanılabilir.
- iii. Harmonik üreten yükün kVA'sı, transformatör kVA değerinden %30'nun daha fazla ise kondansatörler filtreler ile donatılmalıdır.

Bu talimatlar, transformatör empedansı %5-6 ve transformatör sonrası sistem empedansı, transformatör bazına göre %1'den daha az ise uygulanabilir.

Harmonik bileşenler, kondansatörler üzerinde ek ve daha yüksek dielektrik zorlanmaya neden olurlar. ANSI/IEEE 18-1980 no.lu standart "maksimum izin verilebilir harmonik seviyeleri" belirlemek için kullanılan kondansatör bankları için gerilim, akım ve reaktif güç üzerinde sınırlamalar getirmiştir. Bu standart, kondansatörlerin aşağıdaki sınırlar içinde sürekli olarak çalıştırılabileceğini gösterir. Harmonik bileşenler,

Efektif (rms) gerilim değerinin (rms) %110'unu
 Tepe gerilim değerinin %120'sini
 Efektif (rms) akım değerinin %180'ini
 Reaktif gücün %135'ini

geçmemelidir. Diğer taraftan akım üzerindeki sınır, 2400 volttan daha az nominal değerli kondansatörler için yapımcı firmalar tarafından belirlenebilir.

Aslında bir çok harmonik problemi, şönt kondansatör banklarında ya sigortanın atması ya da kondansatör ünitesinin bozulması şeklinde ortaya çıkar. Kondansatördeki problemlerin nedeni kondansatörün rezonans çevriminin bir parçası olması ve akım ve gerilim büyüklüklerinin yüksek değerler almasıdır.

Harmonik akımlar yukarıdaki izin verilen sınırlar içinde ise şu bir kaç tedbir de düşünülebilir:

- i) Kondansatörlerin yerlerinin değiştirilmesi, rezonans civarında bulunmasından kaynaklanan aşırı akımlar oluşabilir. Harmonik üreten yükler ve kondansatör bankı aynı transformatörü paylaşmamalıdır.
- ii) Yıldız (wye) bağlı dağıtım kondansatör bankları için, nötrün toprak bağlantısı, kondansatör yoluyla akacak üçüncü derecede harmonikleri önlemek için kaldırılmalıdır. (Bank yalıtımı ve yük kesme anahtarının değeri, eğer nötr bağlanmayacaksa yetersiz gelebilir.)
- iii) Bu tedbirlerin dışında bir ayar reaktörü bağlamak gerekebilir. Reaktörün amacı, rezonans frekansını akım ve gerilim harmonik frekanslarından (tipik olarak 5. ve 7. harmonikler) uzağa çekmektir. Bununla beraber bir reaktörün eklenmesi sonucu, kondansatör üzerinde artan gerilim ve akım yüklemesi göz önüne alınmalıdır.

Frekansın artmasıyla kapasitif empedans azalır. Kondansatör akımı,

$$I_n = n (V_n) \quad (3.31)$$

olacaktır. Burada;

I_n yüzde harmonik akımı,

n harmonik derecesi,

V_n uygulanan yüzde harmonik gerilimidir.

Örneğin, kondansatör gerilimi %15 yedinci harmonik gerilimi içeriyorsa, kondansatör akımı %105 olacaktır. Bu durum, sigortaların beklenmedik şekilde atmasının nedenini oluşturur. Orta gerilim kondansatör ünitelerinde, nominal akım değerlerinin %125 ile

%165'i arasında sigorta değeri kullanıldığından dolayı akım sınırı, standartlarda %180 olmasına karşın daha düşük olabilir. Alçak gerilim kondansatörleri, genelde nominal değerlerinin %200 katı değerinde sigorta ile korunur (Wagner vd., 1993).

Filtre devrelerindeki kondansatörler güç faktörünü düzeltme görevinin yanı sıra harmonik distorsiyon kontrolünü de sağlamalıdır. Bu tür uygulamalarda bile kondansatör yukarıda açıklanan sınır değerleri sağlamalıdır. Reaktörün ilavesi gerçekte kondansatör gerilimini attırır; çünkü reaktör üzerindeki görülen küçük gerilim düşümü göz önüne alınmaz. Sonuç olarak filtre devrelerindeki kondansatörler, gerilim bakımından nominal sistem gerilimden en az %10 daha fazla olmalıdır.

Güç kondansatörlerinin, TSE 804'e göre sürekli olarak güçlerinin %135'i kadar yüklenmesine izin verilir. Eğer sürekli çalışma akımı harmonikler nedeniyle bu sınırın üzerine çıkarsa kondansatörün ömrü kısalmaktadır. Örneğin harmoniklerden dolayı akımın %10 artması, bir kondansatör grubunun sıcaklığını yaklaşık olarak %7 arttırır. Bunun sonucunda da kondansatör grubunun ömrü %30 düşer (Martzloff ve Thomas, 1988).

3.5.3. Transformatörler üzerindeki etkileri

Harmonikler, transformatörlere iki şekilde etki eder. Akım harmonikleri bakır sargı kayıplarında (I^2R) ve kaçak akı kayıplarında artışa, gerilim harmonikleri ise eddy ve histerezis akımlarından dolayı demir kayıplarında artışa ve mekanik yalıtımın zorlanmasına (sargı ve nüve sacında) neden olur. (Arrillaga, 1985). Her iki durumda da transformatörlerde ek ısınma oluşur ve transformatör sargılarının aşırı ısınmaları işletme ömürlerini düşürür (Emanuel ve Wang, 1985; Fuchs vd., 1986).

Başlıca kayıp bileşenleri, I^2R sargı kayıpları, sargı eddy-akım kayıpları ve sargılar, nüve, bağlantı noktaları gibi alanlardaki manyetik akıdan dolayı oluşan kaçak akı kayıplardır. I^2R bileşeninden kaynaklanan kayıplar, deri etkisi ve iletken ısınmasından dolayıdır. Sargı eddy-akım kayıpları, yük akımının ve frekansın karesiyle artar. Diğer kaçak kayıplar da ilk iki kayba göre daha az olmakla beraber frekansla artar.

Per-unit sargı eddy akım kayıpları, 9. harmoniğe kadar olan düşük dereceli harmonikler için aşağıdaki bağıntı ile ampirik olarak hesaplanabilir (Hwang vd., 1987).

$$P_{ec} = P_{ec-r} \sum I_n^2 n^2 \quad n = 1, 2, 3, 4 \quad (3.32)$$

şeklinde ifade edilir. Burada,

P_{ec} = sargı eddy akım kaybı (Nominal I^2R kaybının per-unit değeri)

P_{ec-r} = nominal yük ve frekansta sargı kaybı (Nominal I^2R kaybının per-unit değeri)

I_n = n. harmonik akımı

n = harmonik derecesidir.

Standartlar, transformatör aşırı gerilim değerlerini belirlemiştir. Buna göre maksimum aşırı gerilim nominal yükte %5, yüksüz halde %10'dur. Bu sınırlar harmonik dalga şeklinin bozulması durumunu da içine alır (Wagner vd., 1993).

Diğer bir sorun ise transformatör endüktansı ile transformatörlere bağlı bir tüketicinin kapasitesi arasında rezonans meydana gelebilir. Transformatörün dengesiz bir yükü beslemesi de bir sorun olarak düşünülebilir. Yük akımı, d.a. (doğru akım) bileşeni içeriyorsa, transformatör manyetik devresinin doymasının sonucu a.a. (alternatif akım) uyarma akımına ait tüm harmonik bileşenlerin seviyesi önemli ölçüde artacaktır. Harmoniklerin güç transformatörlerindeki etkilerinden biri de üçgen bağlı sargılarda sıfır bileşen akımların dolaşmasıdır. Tasarım sırasında bu akımlara gerekli önem verilmediği zaman sargılardan aşırı akımlar geçebilir (Arrillaga, 1985).

Harmonik akım ve gerilimlerinin oluşturduğu transformatör kayıpları frekansa bağlıdır. Çekirdekteki manyetik alanın yön değiştirmesi, yüksek frekanslarda daha hızlı olduğundan histerezis kayıpları artar. Ayrıca zamanla değişen manyetik akı, iletkenleri kestikçe değişken manyetik alan çekirdek dilimlerinde eddy akımları oluşturur. Bu da ek kayıplara neden olur. Yani frekans arttıkça transformatör kayıpları artar. Bu yüzden transformatörün ısınmasında yüksek frekanslı harmonik bileşenler düşük frekanslı harmonik bileşenlerden daha önemlidir.

3.5.4. Döner makinalar üzerindeki etkiler

Gerek gerilim gerekse akım harmonikleri döner makinalar üzerinde olumsuz etkiler yapar. Bu etkilerden birincisi, harmonik kayıplardır. Harmoniklerin varlığı diğer elemanlarda olduğu gibi stator sargılarında, rotor devresinde, stator ve rotor saçlarında ek kayıplara yol açar. Stator ve rotor uç-sargılarında harmonikler akımlarının oluşturduğu kaçak alanlar da ek kayıplar üretir. Örneğin 16 kW'lık bir endüksiyon motoru 60 Hz temel frekanslı sinüsoidal gerilimle beslenirken oluşan toplam kayıp 1303 W iken, kare dalga bir gerilimle besleme yapıldığında toplam kayıpların 1600 W'a çıktığı gözlenmiştir (Klinghsirn ve Jordan, 1968). Harmoniklerin varlığı makina kayıplarını yaklaşık olarak %10-12,5 artırır. (Murphy ve Turnbull, 1988). Harmoniklerin yol açtığı diğer bir olay da, harmonik momentlerdir. Sinüsoidal olmayan gerilim uygulandığında motor veriminde ve momentinde bir düşüş olur; motor verimi ise yaklaşık olarak %2 düşer (Murphy ve Turnbull, 1988). Harmoniklerin ortalama moment üzerindeki etkisi çoğu zaman ihmal edilebilir, ancak önemli sayılabilecek moment salınımlarına yol açabilir (Arrillaga, 1985). Diğer taraftan harmoniklerin motor ömründe azalmaya neden olduğu da vurgulanmıştır (İnan ve Attar, 1998).

Sinüs biçimli olmayan bir beslemeye sahip üç fazlı bir endüksiyon motorundaki harmonik akımlarının oluşturduğu akı yoğunluğu dalgaları arasındaki etkileşim gürültüye neden olabilir. Ayrıca harmoniklerin, hava aralığında bir bileşke akı üretmesi nedeniyle endüksiyon motoru kalkış yapamayabilir veya senkron altı hızlarda çalışabilir (Belmans vd., 1987; Wallace, 1990).

Standartlar, motorlar için kesin gerilim veya akım harmonik sınırlamaları vermemesine rağmen, endüksiyon motorları için %5'lik bir gerilim harmoniği sınırlaması kabul edilebilir (Arrillaga, 1985)

3.5.5. Koruyucu sistemler (röleler) üzerindeki etkiler

Bilindiği gibi koruyucu sistemler çoğunlukla temel gerilim ve akımlara göre tasarlanırlar. Tepe gerilimine, akım veya gerilimin sıfır geçişlerine göre çalışan röleler harmonik

distorsiyonlardan çeşitli biçimlerde etkilenirler. Dalga şekli bozulması koruma rölelerinin performansını etkiler; ya gerektiğinde çalışmamasına ya da uygun olmayan yerde çalışmasına neden olurlar. Faz açısının gerilim veya akım dalga şeklinin temel bileşen ile harmonik bileşenler arasında değişmesi, rölenin cevabını önemli ölçüde etkiler (Horton ve Goldberg, 1985).

Genelde rölelerin çalışmasını etkileyen harmonik seviyeleri, diğer elemanlar için kabul edilebilir maksimum harmonik seviyelerinden daha büyüktür. Özellikle ancak sayısal mesafe koruma rölelerinde büyük ölçme ve değerlendirme hatalarına yol açabilmektedir (McClaren ve Redfern, 1975). Bununla birlikte, koruyucu elemanlar (röleler) üzerindeki yapılan testlerden, %10-20'lik bir harmonik seviyesine kadar rölelerde fazla bir işletme problemi oluşmadığı gözlenmiştir (Jost vd., 1974; Ortmeier vd., 1985).

3.5.6. Ölçme aygıtları üzerindeki etkiler

Ölçü aletleri, tam sinüsoidal işaretlere göre kalibre edilirler. Gerilimin karesiyle orantılı dönme momentine göre ölçüm yapan sayaçlarda, gerilim harmoniklerinin oluşması bazı kayıt hatalarına yol açacaktır. Elektrik saatleri ve aşırı akım röleleri gibi endüksiyon disk aygıtları sadece temel bileşene göre çalışırlar. Diskte oluşan moment, akının ve diskte endüklenen eddy akımının çarpımına eşittir. Her ikisi de yüksek frekanslarda orantısız olarak azalır. Bu da elektrik saatinin temel frekanstan daha yüksek frekanslarda hatalı ölçme yapmasına neden olur. Harmonik distorsiyonun oluşturduğu faz dengesizlikleri de bu elemanların hatalı çalışmalarına neden olur (Baggot, 1974, Emanuel vd., 1981). Şebeke frekansından başka frekanslardaki enerjileri okumak için tasarlanmayan konvansiyonel sayaçların (kWh sayaçlarda) harmoniklerin varlığında daha yüksek değerler okuyabildikleri görülmüştür (Arrillaga, 1985).

Son yıllarda üretilen sayısal örnekleme, elektronik çoklayıcı veya log/antilog tekniklerini kullanan modern cihazlar, dalga şekli bozulmasından daha az etkilenmektedirler. Örneğin modern voltmetreler ve ampermetreler, sinüsoidal olmayan işaretlerden %0,2'den daha az hata vermektedirler. Modern wattmetrelerin ölçüm hataları ise %0,1'den daha azdır. Ancak

sayaçlarda çok yüksek frekanslarda (400-1000 Hz) bazı kayıt hataları ve mekanik rezonans olasılığı görülmüştür (Wagner vd., 1993).

3.5.7. İletişim hatları üzerindeki etkiler

İletişim ve telefon hatlarının yan yana bulunması, telefon haberleşmesi ile parazit oluşturur. Güç devresindeki akım akışı, yakınındaki iletişim devresi iletkenlerinde akım/gerilim endükleyecek bir manyetik/elektrostatik alan oluşturabilir. Parazitlerin miktarı akım/gerilim genliğine ve frekansa bağlıdır. Haberleşme devrelerindeki gürültü, iletim kalitesini azaltır; iletilen sinyalle girişim yapabilir veya gönderilen bilgide kayba neden olabilir (Joseph vd., 1990).

Bu problem yani harmoniklerin oluşturduğu parazit, iki tür değişkenle belirlenir. Bunlardan birisi, frekans, genlik ve frekans için ağırlaştırma faktörünü birleştiren telefon etki faktörüdür. Telefon Etki Faktörü (TEF)

$$TEF = \frac{1}{U} \left[\sum_{n=1}^{\infty} (K_f p_f U_f)^2 \right]^{1/2} \quad (3.33)$$

şeklinde verilir. Burada, U, iletim hattının gerilimi, U_f f frekansındaki harmonik gerilim, K_f kuplaj katsayısı, p_f f frekansındaki harmoniğin ağırlığıdır (1000 Hz için 1 alınır). Diğer değişken ise TEF ile akımın (I) çarpımı olan IT (I.TEF) çarpanıdır. IT çarpanı 10.000'den az ise bir problem oluşturmaz. Yaklaşık 25.000'nin üzerinde ise parazit problemleri oluşacaktır. Bu problem konusunda bir çok yaklaşım vardır. Örneğin, iletim hattı ile telefon hattı arasındaki kapasitif kuplaj bunlardan biridir.

İletkenler arasında ve iletken toprak arasındaki kapasiteler, güç iletim potansiyeli için gerilim bölücü olarak davranırlar. Zaman zaman baş gösteren bazı röle arızaları da iletişim parazitlerinden kaynaklanabilmektedir (IEEE Working Group, on Power System Harmonics, 1985; Wagner vd., 1993; Arrillaga, 1985).

3.5.8. Güç elektroniği elemanları ve anahtarlama elemanı üzerindeki etkileri

Güç elektroniği elemanları birçok durumda önemli bir harmonik kaynağı olmalarının yanı sıra harmonik distorsiyona çok duyarlıdır. Bu elemanların doğru çalışması gerilim sıfır geçişlerinin doğru saptanmasına bağlıdır. Harmonik distorsiyon, gerilim sıfır geçişlerini kaydırır. Bu durum birçok elektronik kontrol devresi için kritik noktalardır. Bu kayma nedeniyle oluşan komütasyon hataları elemanların çalışmasını olumsuz yönde etkiler. Yarı-iletken elemanlarda delinme etkileri ve ek ısınma etkileri görülür. Tristör kontrollü hız kontrol cihazlarında harmoniklerin bir takım olumsuz etkileri bulunmaktadır. Örneğin tristörlerin tetiklenmesinde kapı devrelerinde gecikmeler, ateşleme anlarının değişmesi vb. sayılabilir (Wagner, 1993).

Harmonik bileşenler anahtarın akım kesme yeteneğini de etkileyebilir. Yani harmonik bileşenler akım sıfır geçişlerinde yüksek di/dt değerine neden olabilirler ve akım kesme işlemini zorlaştırabilirler (Wagner, 1993). Şiddetli harmonikler nedeniyle söndürme bobinlerinin tam olarak çalışmaması nedeniyle devre kesicileri akımı kesemezler. Sönüm bobini verimsiz çalışırsa arkın uzamasına ve kesicinin görevini yapamamasına neden olur. Benzer problemler diğer akım kesme aygıtlarında da oluşabilir. Vakumlu kesiciler, havalı manyetik kesicilerden daha az duyarlıdır (Lembo ve D'Onofrio, 1991).

Anahtarlama aygıtlarının akımı kesebileceği harmonik akım seviyeleri hakkında belirli standartlar yoktur. Günümüzde tüm kesme testleri, anma frekansında yapılmaktadır.

3.5.9. İletim sistemi üzerindeki etkiler

İletim sistemi (hava hattı veya yeraltı kablosu) üzerindeki etkileri, iki bölüm altında incelemek mümkündür. Bunlardan birincisi akım bileşenlerinin oluşturduğu ek I^2R kayıplarıdır. Bu kayıplar:

$$\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2 R_n \quad (3.34)$$

şeklinde verilebilir. Deri etkisi ihmal edilirse $R_n \rightarrow R$ (hattın omik direnci) yazılabilir.

Diğer taraftan harmonik akımların hat boyunca çeşitli devre elemanları üzerinde oluşturduğu gerilim düşümleri de ayrı bir etkidir. n . akım harmoniğinin oluşturduğu gerilim düşümü

$$(\Delta V)_n = I_n \cdot Z_n \quad (3.35)$$

olarak yazılabilir.

Kablolu iletim durumunda harmonik gerilimler, tepe gerilim değerleriyle orantılı olarak dielektrik zorlanmayı arttırmırlar. Bu da kablonun kullanım ömrünü kısaltır. Aynı zamanda arıza sayısını ve bu nedenle de onarım masraflarını arttırır. Aşırı gerilimler nedeniyle yalıtkan kablolarda delinme meydana gelebilir.

Harmoniklerin korona başlangıç ve sönme seviyeleri üzerindeki etkileri gerilimin tepeden tepeye değerinin bir fonksiyonudur. Tepe gerilimi, temel ve harmonik gerilim arasındaki faz ilişkisine bağlıdır (Ortmeyer, 1985).

3.5.10. Harmoniklerin güç faktörüne etkisi

Bildiğimiz güç faktörü ($\cos \phi$) çalışan bir sistemden sürekli enerji çalmakta ve sistemi sürekli büyümeye zorlamaktadır. Fakat bunun yanında fazlararası ya da faz toprak arasına yerleştirilen yüksek frekanslı akımlara ihtiyaçları olan nonlineer yükler de sistem kapasitesinden çalan yeni bir hırsız olarak karşımıza çıkmaktadır.

Harmonik akımlara ihtiyaç gösteren yeni cihazlar devreye alındığında güç faktörü 0.88'lerden 0.70'lere düşmektedir. Bu kötü durum Şekil 3.4.'deki üç boyutlu vektör diyagramında görülmektedir. Görüleceği gibi distorsiyon adı verilen yeni bir vektör karşımıza çıkmaktadır. Sayfadan dışarı fırlayacakmış gibi gözüken KVA vektörünün üzerinde distorsiyonların da etkisi vardır. Bu distorsiyonlar nonlineer yüklerin yüksek frekans ihtiyaçlarından meydana gelmektedirler ve distorsiyon güç faktörü olarak adlandırılmaktadır. KVA_r ve distorsiyon vektörleri iş üretmeyen enerjileri temsil

etmektedir. Bu iki vektörün varlığı sonucunda bileşke KVA vektörünün boyu daha da uzar. Diğer bir değişle distorsiyon ve güç faktörünün sisteme etkisi ne kadar büyük ise, belli bir yükü enerjilendirmek için o kadar güçlü bir sisteme ihtiyaç olacaktır.

Lineer olmayan yükleri içeren tesislerde kapasite değeri ne kadar büyük olursa olsun güç faktörü belli bir değere kadar yükselmekte daha sonra düşüş göstermektedir. Bu durum pratikte ne kadar gereksiz yere kapasite kullanımı olduğunu gösterir. Bu bakımdan güç faktörünü istenen değere çıkarmak için harmoniklerin mutlaka filtre edilmesi zorunluluğu vardır (İnan ve Attar, 1997).

3.5.11. Diğer Bazı Elemanlar ve Küçük Güçlü Elektrik Tüketicileri Üzerindeki Etkiler

Bu etkiler şu şekilde özetlenebilir (IEEE Working Group on Power System Harmonics, 1983; Arrillaga, 1985; Segui, 1986; Gruz, 1990; Wagner vd., 1993):

- Gerilim harmonikleri, TV cihazlarının görüntü kalitesini bozabilir.
- Flouresant ve civa buharlı lambalarla yapılan aydınlatmada, balastın yanısıra kondansatörler de kullanılır. Devrenin endüktansı ile kondansatörler bir rezonans devresi oluşturabilir. Eğer harmonik frekansı bu devrenin rezonans frekansına eşit olursa aşırı ısınma ve arızalar oluşur. Akkor flamanlı lambaların kullanıldığı aydınlatma tertibatında yaşlanma etkileri görülür. Örneğin anma efektif gerilimin %105 değerinde sürekli işletmede lamba ömrünün %47 oranında azaldığı gözlenmiştir.
- Kontrol ve kumanda sistemlerinde harmoniklerden kaynaklanan istenmeyen etkiler oluşabilir. Uzaktan anahtarlama ve yük kontrolünü gerçekleştiren sistemin yanlış çalışmasına neden olan güç hattı taşıyıcı sistemler ile ripple (dalgalanma) kontrolü arasında girişim oluşturur.
- Harmoniklerin oluşturduğu gürültü, kontrol sistemlerinin hatalı çalışmasına neden olur. Başta motor olmak üzere diğer cihazlarda ek gürültü oluştururlar.
- Bir paralel kondansatör ünitesindeki sigortanın atması aşırı harmonik seviyelerinin ilk göstergesidir. Büyük harmonik akım seviyeleri, sigortaların akım-zaman

karakteristiklerinde kaymalara ve dolayısıyla istenmeyen çalışma biçimlerine neden olabilirler. Harmonikler, minimum erime zamanlarını da azaltabilirler.

- Sistemdeki harmonik aşırı gerilim sonucu yalıtılmış kabloların dielektrik delinmesi söz konusu olabilir. İletkenlerde frekansın artması nedeniyle deri etkisi de artar. Diğer taraftan özellikle ticari binalarda harmonik üreten tek fazlı yükleri besleyen 3 fazlı 4 telli sistemlerde nötr akımından da akım geçer. Bu akım özellikle veri işleme merkezlerinde büyük önem taşır.

Yukarıda sayılan bu etkiler harmonik kaynağına ve güç sisteminde bulunduğu yere ve tabii ki harmonik yayılmayı belirleyen şebeke karakteristiklerine bağlıdır.

Bir çok ülke harmoniklerin sınırlandırılması için THD kriterine göre çeşitli standartlar çıkartmıştır. Örneğin İngiltere'de gerilim seviyelerine göre belirlenmiş sınırlamalar Çizelge 3.1'de verilmiştir (Arrillaga, 1985). Çizelge 3.2'de IEEE (standart 519) tarafından gerilim seviyelerine göre belirlenmiş maksimum harmonik distorsiyon oranları verilmiştir (Burke, 1994). Ülkemizde henüz bu yönde bir çalışma yoktur.

Çizelge 3.1 İngiltere'de sistemin herhangi bir noktasındaki gerilim distorsiyon sınırları

Besleme Gerilimi (kV)	Toplam Harmonik Distorsiyon (%)	Harmonik Distorsiyonu (%)	
		Tek	Çift
0.415	5	4	2
6.6 ve 11	4	3	1.75
33	3	2	1
132	1.5	1	0.5

Çizelge 3.2 IEEE 519'a göre maksimum gerilim distorsiyon oranları

Maksimum Distorsiyon (%)	Sistem Gerilimi		
	< 69 kV	69 - 138 kV	> 138 kV
Tek harmonik Değeri	3.0	1.5	1.0
Toplam Harmonik Değeri	5.0	2.5	1.5

BÖLÜM 4

HARMONİKLERİN SÜZÜLMESİ

Önceki bölümlerde ortaya çıkma nedenleri ve sakıncalarından bahsedilen harmoniklerin şebekeler üzerine olan zararlı etkilerini, günümüzde tamamen ortadan kaldırmak mümkün olmasa bile, en alt düzeye indirmek çeşitli yöntemlerle mümkün olabilmektedir. Bu yöntemler işletme öncesinde ve sonrasında olmak üzere ikiye ayrılabilir.

4.1. Tasarım Sırasında Alınabilecek Önlemler

Bu tip önlemler, daha önce bahsedilen harmonik kaynakların, ya imalatları sırasında ya da şebekelere bağlanmaları esnasında alınır.

4.1.1. Generatörlerde alınabilecek önlemler

Senkron generatörlerde endüvi iletkenlerinde endüklenen elektromotor kuvvet, hava aralığındaki manyetik alana bağlıdır. O nedenle elektromotor kuvvetin sinüsoidal olması, ϕ manyetik akısının da sinüsoidal olmasına bağlıdır. Yuvarlak rotorlu senkron makinalarda uyarma sargısı bütün rotor çevresine homojen olarak dağıtılsa, üçgen (trapez) şeklinde bir alan eğrisi elde edilir. Bu gibi sinüsoidal olmayan eğriler 1., 3., 5., 7., 9. vb. tek mertebeli sinüs terimlerinin toplamına eşit olduğundan endüklenen elektromotor kuvvet de aynı mertebeden harmonikleri içerir.

Yuvarlak rotorlu senkron makinalarda alan eğrisini sinüs eğrisine yaklaştırmak için, bir kutup taksimatının yalnız 2/3'ü sarıldığı gibi, ayrıca oluklar arasındaki uzunluklar da birbirinden farklı yapılmak suretiyle aynı amaca ulaşılır.

Senkron makinada alan eğrisinde belirli harmoniklerin bulunmasına rağmen, endüklenen gerilimde harmoniklerin etkisi çok daha düşüktür. Endüvi sargılarının özel bir şekilde düzenlenmesi ve sargı adımının uygun seçilmesi ile alan eğrisindeki 3. 5. ve 7. harmonikler, gerilim eğrisinde tamamen ortadan kaldırılabilir. Çıkık kutuplu senkron

makinalarda, kutuplara uygun şekil verilmesi, endüvi oluklarının belirli bir şekilde düzenlenmesi (oluklarının yan meyilli yapılması) ve bunun gibi bir takım yapısal çarelere başvurularak gerilim eğrisinin sinüsoidal olması sağlanabilir. Çıkık kutuplu senkron makinalarda alan eğrisi dikdörtgendir. Kutup ayaklarına değişik şekiller vermek suretiyle sinüs eğrisine yakın alan eğrileri elde etmek mümkündür (Rao, 1996).

4.1.2. Dönüştürücülerde alınabilecek önlemler

Sinüsoidal bir alternatif gerilime bağlı olan redresörlerde darbe sayısı p olmak üzere, harmonik mertebesi $n=k.p \pm 1$ değerini alır. Burada $k=1,2,3...$ gibi tamsayılardır. Genellikle redresörlerde $n=5,7,11,13,....$ olup harmonik akımları $I_5 = I_1 / 5$, $I_7 = I_1 / 7$, gibi değerler alırlar. Buradan görülüyor ki darbe sayısı ne kadar büyük olursa, harmonik mertebeleri o kadar yüksek ve harmonik değerleri de o kadar küçük olur. Böylece bunların zararlı etkileri de o oranda azalır. Bu özellikten dolayı harmonik üreten güç elektroniği aygıtlarında, daha tasarım aşamasında gerekli tedbirler alınarak harmoniklerin şebekedeki etkinlikleri azaltılabilir. Örneğin, bazı tesislerde darbe sayısını 6'dan 12'ye veya 12'den 36'ya çıkartmakla, daha önce görülen olumsuzlukların artık söz konusu olmadığı literatürde kaydedilmiştir (Mohan vd., 1989).

4.1.3. Transformatörlerde alınabilecek önlemler

Genellikle büyük transformatörlerde çekirdekten maksimum yararı sağlamak için endüksiyon değeri büyük tutulur. Bu durumda ise mıknatıslama akım dalga şeklinde harmonikler meydana gelir. Mıknatıslama akımını düşürmek için en uygun tedbir, manyetik endüksiyonun düşük tutulmasıdır.

Modern transformatörlerde soğuk haddelenmiş ve kristalleri yönlendirilmiş sac kullanmakla, manyetik akı ve bunun sonucu olarak mıknatıslama akımı düşürülür. Bu tip sac kullanılması halinde harmonikler sıcak haddelenmiş saclardakine göre 1/5 değerine düşer. Böylece şebekelerde harmonik tehlikesi büyük oranda önlenir (Mohan vd., 1989).

4.1.4. Yüksek harmoniklerin oluşturduğu rezonansa ilişkin önlemler

Rezonans anında $\omega = 1/\sqrt{LC}$ olduğundan L ya da C parametrelerinin herhangi birini değiştirmekle rezonanstan kaçınmak teorik olarak mümkündür. Rezonans halinde;

$$L = 1/C\omega^2 \quad (4.1)$$

$$C = 1/L\omega^2 \quad (4.2)$$

ifadeleri göz önüne alınırsa, C sabit kalmak koşuluyla devrenin endüktansını düşürmek ya da artırmak bir çözüm olabilir. Rezonansın yol açtığı zararlı etkilerden kurtulmak için, kompanzasyon tesisinin öz frekansı rezonansa neden olabilecek şebeke frekansının altında olmalıdır. Yüksek harmoniklerin verdiği zararlı etkilerden kaçınmak için şu önlemler sıralanabilir:

- Kompanzasyon için gerekli olmayan kondansatör bataryaları devreden çıkarılmalıdır. Yükün az olduğu saatlerde tesisi besleyen transformatörler ile kompanzasyon için konan kondansatörlerin tamamı devrede kalırsa, aşırı kompanzasyon nedeni ile gerilim yükselir ve transformatörler doyma bölgesinde çalışmaya başlar. Doyma anında mıknatıslama akımının şekli bozulacağından transformatör bir harmonik üretici gibi çalışır. Bunun sonucu yüksek harmonik rezonansı baş gösterebilir. Onun için kondansatör gücünü kompanzasyon ihtiyacına göre ayarlamak amacı ile tesisin otomatik cosφ regülatörü ile donatılması uygun olur.
- Devreye omik direnç yerleştirmekle teorik olarak yüksek harmonik akımlarını azaltmak mümkündür. Fakat devredeki her ek direnç kayıplara yol açacağından, mümkün olduğu kadar yapay direnç artırma yoluna gidilmez. Buna karşılık doğal olarak devrede bir omik direncin bulunmasını sağlamak amacı ile, kompanzasyon tesisleri doğrudan doğruya baraya bağlanma yerine bir veya birkaç kablo üzerinden bağlanırlar.
- Kompanzasyon yapmak amacıyla hesaplar yapılırken, bağlanacak kondansatör değeriyle tesisteki mevcut motor, transformatör ve hatların endüktif direnç değerleri göz önünde bulundurulmalıdır. Rezonansa neden olacak harmonik frekanslarından

kaçınılmalıdır. Örneğin kurulacak kompanzasyon tesisinin rezonans frekansının mevcut harmonik frekans değerleri arasında olmaması gerekir.

4.2. Harmoniklerin Süzülmesi

Yukarıda sözü edilen tasarıma yönelik önlemler yeterli değildir. Buna ek olarak harmonik akımlarının şebekeye geçmesine engel olan düzenlere gerek vardır. Faz ile nötr arasında bulunan ve istenen harmonik akımının süzülmesini sağlayan bu devrelere “harmonik filtresi” adı verilir.

4.2.1. Harmonik filtrelerin tanımı

Harmonik filtreleri, bir ya da daha fazla frekanstaki akım veya gerilimlerin etkisini yani harmonik içeriğini azaltmayı veya yoketmeyi amaçlar. Başlıca görevleri;

- Harmonik üreten bir cihazdan (bir redresörden veya inverterden) beslenen yükün gerilim dalgalarını düzeltmek
- A.C. sisteme geri gönderilen istenmeyen harmonik bileşenleri önlemek
- Radyo frekans girişimlerini elimine etmek

şeklinde özetlenebilir. Güç sistemlerindeki istenmeyen harmonik akımlar iki şekilde önlenebilir :

- Yüksek değerli seri empedans (Seri Filtre) kullanarak harmonik akımların yollarının kesilmesi,
- Düşük değerli paralel empedans (Paralel Filtre) kullanarak harmonik akımların yönlerinin değiştirilmesi.

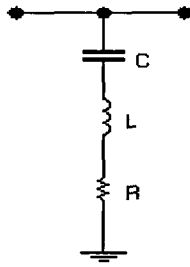
Harmonik filtrelerinde amaç, sadece özel bir frekanstaki işaretin güç sistemine veya güç sistem elemanlarına girmesini önlemek olduğunda, seri filtre kullanılır. Bu filtre ilgili frekanstaki işarete karşı büyük bir empedans gibi davranır. Fakat bu çözüm kaynakta ortaya çıkan harmoniklerin süzülmesi için kullanılan bir yaygın yöntem değildir. Kaynakta

harmonikleri engellemek, bu cihazların çalışmasını engellemek anlamına gelecektir. Statik dönüştürücüler gibi harmonik üreten cihazlarda düşük empedanslı paralel bir eleman yardımıyla harmoniklerin sisteme geçmesi engellenir.

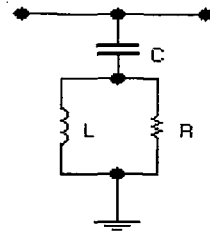
Seri filtreler, tüm yük akımını taşımak zorundadırlar. Buna karşılık paralel filtreler, hangi anma değeri gerekiyorsa ona göre tasarlanabilirler. Ayrıca paralel filtreler, temel frekansta tepkin güç üretebilirler ve daha ekonomiktirler. En önemli özellikleri de tasarımlarının kolay olmasıdır. Bu yüzden güç sistemlerinde harmonik frekanslı akımlara düşük empedanslı bir yol sağlayan paralel filtreler kullanılır. Tek tek veya birleştirilmiş seri veya paralel filtreler ile enerji sisteminin empedansına bakılmaksızın harmonik akım veya gerilimler en aza indirgenebilir; fakat bu yöntem, her frekans için ayrı bir filtre devresi gerektirmesi nedeniyle oldukça pahalıdır (Arrillaga, 1985).

4.2.2. Harmonik filtreleriyle ilgili genel tanımlar

Paralel filtreler, endüktif ve kapasitif reaktansları eşit kılan frekansa ayarlanabilir. Kalite faktörü Q , ayar keskinliğini belirler. Q faktörü bakımından filtreler ya yüksek Q ya da düşük Q tipindedirler. Yüksek Q tipi filtrelerde Q değeri 30 ile 60, düşük Q tipi filtrelerde 0.5 ile 5 arasında değerler alır. Yüksek Q filtresi, düşük harmonik frekanslardan birine ayarlanır. Düşük Q filtresi ise, geniş bir frekans aralığında düşük bir empedansa sahiptir ve yüksek mertebeli harmonikleri süzmek için kullanıldığında yüksek geçiren filtre olarak da sunulur. Düşük ve yüksek Q tipi filtreler sırasıyla Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.1 Tek ayarlı filtre devresi



Şekil 4.2 İkinci mertebe zayıflatan sönümlü filtre devresi

Yukarıda adı geçen Q kalite faktörü

$$Q = 2\pi (\text{Depo edilen maksimum enerji/birim eleman başına kaybedilen enerji}) \quad (4.3)$$

şeklinde ifade edilir (Rao, 1996). Bu ifadeye göre ayarlı bir filtrede Q ifadesi,

$$Q = X_o / R \quad (4.4)$$

olarak tanımlanır. Burada, X_o rezonans frekansındaki reaktansı (kapasitesinin veya endüktansın) ve R filtrenin direncini göstermektedir. Yüksek geçiren sönümlü filtrelerde ayarın keskinliği, ayarlı filtrelerinkinin tersidir. Yani,

$$Q = R / X_o \quad (4.5)$$

dır.

Bir filtrenin anma ayar frekansından uzaklaşması, ayar sapma faktörü δ ile tanımlanmıştır. ω_n , rad/s olarak ayarlanan açısal frekans olmak üzere

$$\delta = (\omega - \omega_n) / \omega_n \quad (4.6)$$

şeklinde verilir.

Bu faktör aşağıda belirtilen etkileri içerir:

1. Temel frekansta meydana gelen değişimler
2. Filtre ömrü ve sıcaklığının neden olduğu kapasite ve endüktanstaki değişimler
3. Yapım toleransı ve Q için öngörülen ayar aralığının eden olduğu etkiler

Yukarıda belirtilen (4.5.) ifadesi

$$\delta = \frac{\Delta f}{f} + \frac{1}{2} \frac{\Delta L}{L} + \frac{1}{2} \frac{\Delta C}{C} \quad (4.7)$$

şeklinde de yazılabilir. Burada, Δf ac şebeke frekansındaki sapmayı, ΔL ve ΔC ayarlı filtrenin L (bobin) ve C (kondansatör) değerindeki sapmayı (örneğin çevre sıcaklığından dolayı değerlerinin değişmesi gibi) gösterir. Örneğin, bobin sıcaklık katsayısı °C başına %0.01, bobin sıcaklık katsayısı °C başına %0.05, frekans toleransı $\pm\%1$ ve çevre sıcaklığı ± 20 °C alınırsa bu durumda δ , 0.016 bulunur (Arrillaga vd., 1985).

4.2.3. Filtre tasarım kriterleri

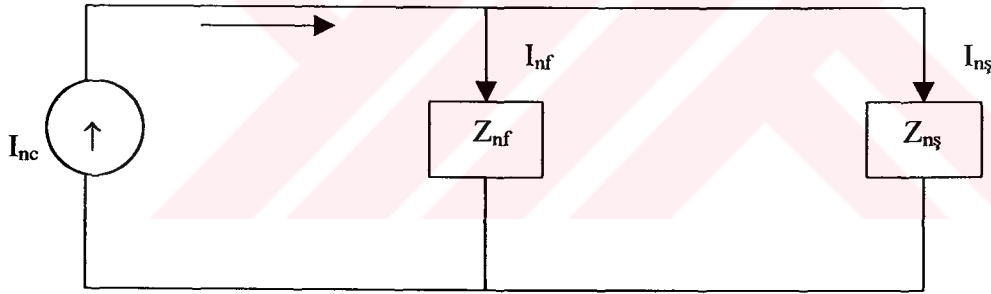
Filtre tasarımı hem teknik hem de ekonomik açıdan ele alınmalıdır. Örneğin teknik açıdan a.a. şebekesinin harmonik dağılımları önceden tahmin etmek zordur; ekonomik açıdan ise harmonik kayıpların maliyete olan etkisidir. Bu bakımdan harmonik akım, harmonik gerilim veya her ikisi cinsinden ifade edilen problemin, ortak bağlantı noktasında veya her bir tüketicinin şebekeyi kirletme (bozma) oranında kabul edilebilir bir seviyeye indirilmesi en pratik yoldur. Genelde tüketiciler, ürettikleri akım harmoniklerinin sınırlandırılmasından, elektrik şirketleri ise iletim ve dağıtım sistemlerindeki ortak kublaj noktasındaki gerilim harmoniklerinden sorumludurlar.

Bir filtrenin kullanılma nedenlerinin başında dalga şeklinin bozulması ve telefon girişimi nedeniyle meydana gelen bozulmaların yok edilmesi gelmektedir; fakat bunlardan daha önemli olan neden, teknik ve ekonomik bakımdan filtre kullanma gerekliliğidir. Ülkemizde birçok işletmede yaşanan harmonik etkilerinin oluşturduğu sorunlar teknik gerekliliği

ortaya koymaktadır. Mali bakımdan değerlendirme ise halen harmonik standartların ülkemizde henüz oluşturulmamış olması ve maliyet konusunda kayıp analizlerinin yapılmaması nedeniyle gözardı edilmektedir.

Burada sorun, harmonik akım ve gerilimler veya bunlardan biri cinsinden açıklanır. Mevcut devrede empedans değişimi sırasında gerilim değişiminin akım değişimine göre daha kararlı olması, filtre tasarımının harmonik gerilimleri üzerine kurulmasına neden olmuştur.

Tasarımda mali bakımdan değerlendirme yapılırken, tek ayarlı süzgeçlerde kullanılacak kapasitenin değerinin büyük olacağı göz önüne alınmalıdır. Harmonik değeri büyüdükçe, tek ayarlı filtre yerine bu harmoniklerin tümü üzerinde etkili olan bir filtre (aktif filtre) kullanılması ekonomik açıdan daha uygun olabilir. Küçük dereceli (3., 5., 7.) harmoniklerin daha etkin olması nedeniyle öncelikle bu harmoniklerin süzülmesi gereklidir.



Şekil 4.3 Harmonikli bir şebeke ve paralel bağlı filtre.

Şekil 4.3’de I_{nc} harmonik akımların efektif değeri, Z_{nf} filtrenin n. mertebedeki frekansı için empedansı ve $Z_{nş}$ şebeke empedansıdır. Filtre barasındaki harmonik gerilimi azaltmak için enerji sistemine paralel bağlanacak filtre admitansının artırılması gerekmektedir. Yukarıdaki devre çözülrse,

$$I_{nc} = I_{nş} \quad \text{Filtresiz durum}$$

(4.8)

$$I_{nş} = I_{nc} - I_{nf} \quad \text{Filtreli durum}$$

bulunur. Buradan da görüleceği gibi filtre kullanılmadığı takdirde harmonik akımları tamamen şebekeye geçer ve harmonik gerilimi büyür. Filtreli halde ise harmonikli akımın bir kısmı şebekeye geçer.

Filtrelerin tasarlanmasındaki temel yaklaşım şu şekilde özetlenebilir:

- Filtrelenecek harmonik akımlarının büyüklükleri saptanır.
- Temel frekansta reaktif güç gereksinimini ve harmonik akımlarının anma değerlerini esas alan bir kondansatör anma değeri saptanır. Bunun için varolan bir kondansatör ünitesinden de yararlanılabilir.
- İstenen ayarı sağlayacak endüktans değeri saptanır. Bu endüktansın anma değeri, hem temel akım bileşenini hem de filtredeki harmonik akımlarını esas almalıdır.
- Kondansatör ve endüktans değerlerindeki toleransların etkisini de içeren filtre cevabı kontrol edilir. Ayarlanabilme esnekliği, filtre büyüklüğünün artırılması veya seri direnç eklenmesiyle arttırılabilir.
- Sürekli halde temel ve harmonik frekanslarında, kondansatör üzerindeki gerilimin tepe değeri kontrol edilir.
- Sistem ile filtre arasındaki ters etkileşimler kontrol edilir.

Harmonik filtreleri her tesis için ayrı ayrı boyutlandırılmalıdır. Bu amaçla bir tasarımcının aşağıdaki bilgilere ihtiyacı vardır (İnan ve Attar, 1996):

- Sorun yaratan yükün meydana getirdiği harmonik akımların frekans ve genliği,
- Çevredeki yükler ile güç sisteminin eşdeğer devresinde göz önüne alınacak en etkili harmoniğe kadar devrenin empedans değişimi,
- Şebekenin çeşitli noktalarındaki ve işletmelerin besleme noktasında izin verilen harmonik distorsiyon derecesi,
- Tesiste bulunan ve planlanan reaktif güç kondansatörleri,
- Diğer kaynakların sebep olduğu harmonik distorsiyon derecesi,
- Tasarım yapılacak filtrenin çalışacağı gerilim, frekans ve sıcaklık,
- Filtrenin, harmonik oluşturan yüklere en yakın noktada konumlandırılması.

4.3. Filtre Çeşitleri

Filtreleri en genel olarak ac veya dc çalışma ortamları için pasif ve aktif filtreler olarak ikiye ayırabiliriz. HVDC (Yüksek Gerilimle Doğru Akım İletimi) sistemlerinde tristörlü dönüştürücülerin dc tarafındaki veya raylı ulaşım sistemlerinde PWM doğrultucu/evirici devresinin dc çıkışlarındaki akım ve gerilim harmoniklerini kompanze etmek için kullanılan dc filtreler konumuz dışındadır. Günümüzde çok yaygın olarak kullanılan pasif filtre, kaynak ile alıcı arasına konulan ve temel frekans dışındaki bileşenleri yok eden seri bağlı kondansatör (sığa, C) ve endüktans (bobin, L) bileşimidir. Bazı durumlarda direnç (R) de ilave edilebilir. Burada amaç, yokedilmek istenen harmonik bileşen ile rezonansa gelecek L ve C değerlerini belirlemektir. Her bir harmonik bileşen için onu rezonansa getirecek ayrı bir filtre kolu konulması gereklidir. Genelde en etkin harmonik bileşenler için tasarım yapılır. Etkisi az alan harmonik bileşenler için zayıflatılan bir filtre devresi düşünülebilir. Burada dikkat edilecek bir nokta filtre devrelerinde kullanılan kondansatörlerin normal güç kondansatörlerine göre daha yüksek gerilimlerde çalışabilmeleri gerekir. Bu tür bir tasarım dengeli sistemler için uygundur. Çünkü dengeli sistemlerde çift mertebeden harmonikler (2., 4., 6., 8., ...) gözükmez. Diğer taraftan Üçgen-Yıldız bağlı transformatörlerde 3 ve 3'ün katlarındaki harmonikler (3., 9., 12., 15.,...) ise üçgen sargıda dolaşacaklarından sisteme etkileri dikkate alınmaz. Bu bakımdan dengeli sistemlerde filtre tasarımı tek dereceli harmoniklere göre yapılır. Dengesizliğin olduğu üç fazlı sistemlerde (örneğin ark ocağının bulunduğu tesislerde hem tek hem de çift dereceleri harmonik bileşenlerin filtre edilmesi söz konusudur) filtre tasarımı ayrı bir konudur.

4.3.1. Tek ayarlı filtreler (bant geçiren filtreler)

Tek ayarlı filtreler, istenen özel bir frekanstaki harmonik akımı için bir kısa devre yolu oluşturarak bu akımın hattan saptırılmasını sağlar. Genellikle tek bir frekans değeri için etkilidirler. Tek ayarlı filtreler seri RLC devresinden meydana gelir (Şekil 4.4) ve filtre empedansı Z_f şu şekilde verilir:

$$Z_f = R + j \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) \quad (4.9)$$

Filtre empedansını Q ve δ cinsinden ifade etmek için X_0 rezonans anındaki reaktans olmak üzere aşağıdaki bağıntılardan yararlanılır.

$$\left. \begin{aligned} \omega &= \omega_n (1+\delta) \\ \omega_n &= \frac{1}{\sqrt{LC}} \\ C &= \frac{1}{\omega_n X_0} = \frac{1}{\omega_n RQ} \\ L &= \frac{X_0}{\omega_n} = \frac{RQ}{\omega_n} \end{aligned} \right\} \quad (4.10)$$

(4.9) ifadeleri (4.8)'de yerine konursa,

$$Z_f = R \left(1 + jQ\delta \left(\frac{2+\delta}{1+\delta} \right) \right) \quad (4.11)$$

δ değeri 1'in yanında çok küçük olduğundan

$$Z_f = R (1 + j2Q\delta) = X_0(Q^{-1} + j2\delta) \quad (4.12)$$

şeklinde yazılabilir (Arrillaga, 1985).

Bu filtreler aynı zamanda sistemin rezonans frekansını, zararlı bir harmonik frekansından uzağa taşımak için de kullanılabilirler. Bir yük tarafından üretilen harmonik akımlarını, bir harmonik frekansındaki rezonans durumu hariç taşıyabilen sistemler için bu çok yararlıdır. Böylece harmonik frekansındaki rezonans durumu önlenir.

Tek ayarlı filtrelerin başlıca üstünlükleri şunlardır:

- Eğer gerekli olduğu için eklenmiş bir direnç yoksa kayıplar çok azdır.

- Ayarlanan harmonik frekansı için harmonik akımına sıfıra yakın bir empedans gösterilir.
- Filtrelenecek birden fazla harmonik akımı için birden fazla filtre, paralel olarak kullanılabilir. Her kol kendi rezonans frekansında sahip olduğu harmonik akım için en kısa yolu oluşturacağından harmonikler devrelerini bu kollar üzerinden tamamlarlar ve dolayısıyla şebekeye geçmemiş olurlar.

Tek ayarlı filtrelerin tek olumsuz yanı ise, keskin ayarları nedeniyle eleman değerlerinin değişimine duyarlı olmalarıdır. Bu sorun da kondansatör büyüklüğünü arttırarak veya direnç eklenerek çözülebilir.

Filtre sistem etkileşimine şu örneği verebiliriz. Sadece bir tane kondansatör ünitesi bulunan bir endüstriyel güç tesisinde 7. harmonik yakınlarında frekans oluşuyor. Bunun üzerine kondansatör ünitesi 7. harmonik frekansına ayarlı bir tek ayarlı filtreye dönüştürülüyor. Ancak bunun sonucunda filtre ile sistem empedansı arasında 5. harmonik yakınında paralel rezonans oluşuyor. Yani problem 7. harmonikten 5. harmoniğe taşınarak büyütülmüş oluyor. Bu problemin en iyi çözümü, 5. harmonik frekansına ayarlı tek ayarlı filtre kullanmaktır. Böylece hem 7. harmonikteki rezonans önlenir hem de 5. harmonik akımı filtre edilir. Yani bu tür problemlerde filtre en düşük harmonik bileşenine göre seçilmelidir.

4.3.2. Otomatik ayarlı filtreler

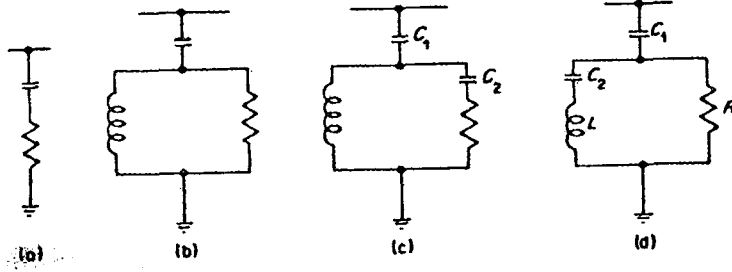
Ayarlı filtre tasarımında en büyük frekans sapmasını azaltmak avantajlıdır. Bu durum, kapasitesi otomatik olarak anahtarlanarak veya endüktansı değiştirilerek ayarlanan filtreler yapmak suretiyle sağlanabilir. $\pm$ % 5'lik bir sapma aralığı genellikle düşünülen yeterlidir. Filtredeki harmonik frekans reaktif gücü ölçen ve bu reaktif gücün işaret ve genliğine göre L ve C'yi kontrol eden bir sistem, yüksek gerilim d.a dönüştürücülerde kullanılmıştır (Kimbark, 1971).

Otomatik ayarlı filtreler şu avantajlara sahiptirler (Arrillaga, 1985):

- Kondansatör değeri düşüktür
- Yüksek Q değerinden dolayı güç kaybı daha azdır.

4.3.3. Yüksek geçiren sönümlü filtreler

Şekil 4.4’de yüksek geçiren sönümlü birinci, ikinci, üçüncü dereceden ve C tipi filtre devreleri verilmiştir.



Şekil 4.4 Yüksek geçiren sönümlü filtreler

- a) birinci derece b) ikinci derece
c) üçüncü derece d) C tipi

Bu filtrelerin başlıca üstünlükleri şu şekilde ifade edilebilir (Stanley vd., 1977):

- Kapasite kayıpları, çalışma ve yüklenme sırasında ısı değişiminden etkilenmediği gibi, frekans sapmaları da üretim toleransları üzerinde fazlaca etkili olmamaktadır.
- Artan anahtarlama ve bakım sorunları bakımından paralel kolların ek devrelere ayrılmasına gerek duyulmaksızın, geniş bir frekans aralığında düşük bir empedans sağlarlar.
- Yüksek geçiren filtreler çeşitli mertebeler için tasarlanırlar. Örneğin ikinci mertebeden yüksek geçiren bir filtre temelde endüktansına paralel bir direnç eklenmiş tek ayarlı bir filtredir. Farklı direnç değerleri için farklı filtre cevapları elde edilir.

İkinci mertebeden yüksek geçiren bir filtre, yüksek frekanstaki harmonikleri zayıflatmada tek ayarlı bir filtreden daha etkilidir. Ayrıca filtre, tek ayarlı filtre için ayarlanan frekans değerine duyarlı değildir. Endüktif ve kapasitif elemanların seçimi, tek ayarlı filtredeki gibi yapılır. Bunlara ek olarak anma etkin gücüne dayalı bir direnç değeri tanımlanır. Düşük mertebeli harmonikler için yüksek geçiren filtreler kullanmak ekonomik değildir. Ayrıca direnç değeri artacağından kayıplar artar.

4.4. Aktif Filtre

Pasif filtreye alternatif olarak sunulan aktif filtre düşüncesinin temelleri Bird vd. (1969) tarafından atılmıştır. Daha sonra Ametani (1972) tarafından geliştirilmiştir. Gelişen güç elektroniği teknolojisi ile birlikte 1980'li yılların başlarından itibaren kullanımı pratik bir değer kazanmış ve endüstriyel tesislerde kullanılmaya başlanmıştır.

Teknik olarak aktif filtrenin çalışma prensibi (Şekil 4.5), non-lineer yükün şebekeden çektiği harmonik içeriğin aktif filtre tarafından sağlanması ve bu şekilde şebeke akımının bozulmamasını sağlamaktır. Aktif filtre, bu şekilde yükü aşlamaktadır (bilindiği gibi aşı, aslında hücreleri uyarmak için verilen virüstür) denebilir. Güç elektroniği uygulamaları geliştikçe bu konu da ilerleme göstermiştir. Aslında en büyük harmonik kaynak olarak gösterilen güç elektroniği elemanları ve uygulamalarından kaynaklanan sorun yine aynı yöntemle giderilmeye çalışılmaktadır.



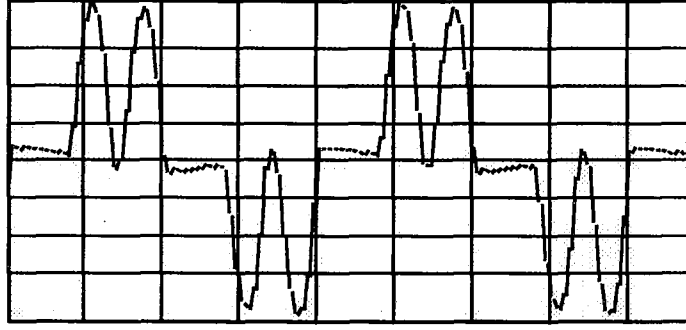
Şekil 4.5 Aktif harmonik filtresinin çalışma prensibi

Aktif filtrenin çeşitli non-lineer yüklere göre çalışma şeklinin örneği Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Şekil-4.6'da verilen dalga şekilleri 6-darbeli Graetz köprüsüne ait olup bu sisteme ait elektriksel değerler aşağıda verilmiştir.

Yük akımı ($I_{rms} = 82 \text{ A}$, $THD_i = \%41$)

Aktif Filtre akımı ($I_{rms} = 30 \text{ A}$)

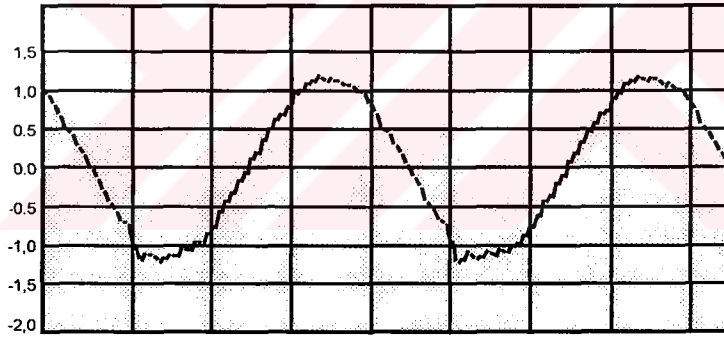
Şebeke akımı ($I_{rms} = 75 \text{ A}$, $THD_i = \%3,6$)



(a)



(b)



(c)

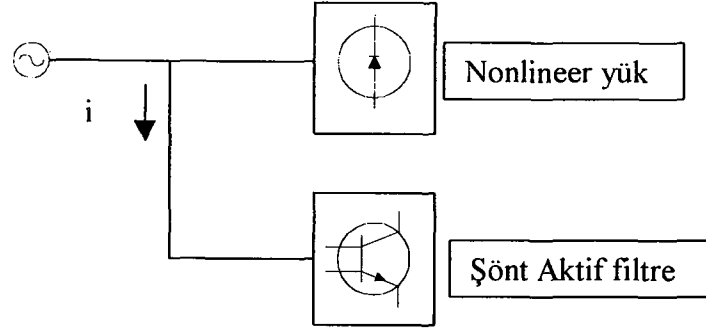
Şekil 4.6 6-darbeli Graetz köprüsünde aktif filtre kullanımı

(a) Yük akımı, (b) aktif filtre akımı, (c) şebeke akımı

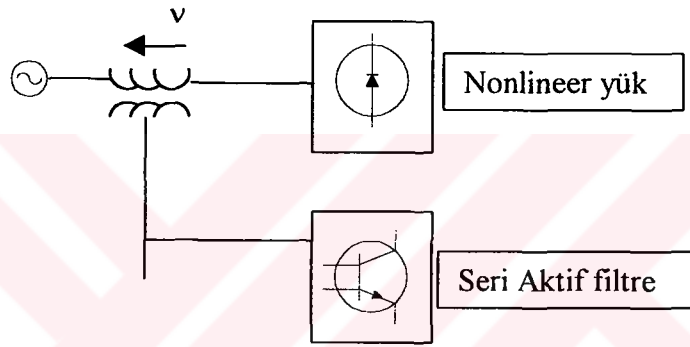
4.4.1. Aktif filtre konfigürasyonları

Aktif filtreleri genel olarak şönt (Şekil 4.7.a) ve seri (Şekil 4.7.b) olarak ikiye ayırabiliriz. Günümüzde ticari olarak kullanımı şönt tip üzerinde yoğunlaşmıştır. Çizelge 4.1'de her iki tipin karşılaştırılması, Çizelge 4.2'de ise şönt aktif filtrenin olası kullanım alanları verilmiştir. Şönt aktif filtre, tesiste var olan pasif filtre ile kombine olarak da

çalışabilmektedir. Ancak bu durumda frekans domeninde kompanzasyon paylaşımı konusunda problem çıkabilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 4.7 Şönt aktif filtre (a) ve seri aktif filtrenin şematik gösterimi

Çizelge 4.1 Seri ve şönt aktif filtrelerin karşılaştırılması

	Şönt aktif filtre	Seri aktif filtre
Sistem konfigürasyonu	Şekil 4.7.a	Şekil 4.7.b
Güç devresi	Akım çevrimli gerilim beslemeli PWM inverter	Akım çevrimsiz gerilim beslemeli PWM inverter
Davranışı	Akım kaynağı	Gerilim kaynağı
Yüke uygun harmonik üretimi	Endüktif yüklü diyod veya tristör doğrultucular ve cycle dönüştürücüler	Kapasitif yüklü büyük kapasiteli diyod doğrultucular
İlave işlevi	Reaktif güç kompanzasyonu	a.c. gerilim regülasyonu

Çizelge 4.2. Şönt aktif filtrenin olası kullanım alanları

Amaç	Anahtarlama elemanı	Uygulama alanı
Reaktif güç kompanzasyonlu veya kompanzasyonsuz harmonik kompanzasyon	IGBT	Sanayi için diyod veya tristör doğrultucular ve frekans dönüştürücüler
Flicker kompanzasyonu	GTO Tristör	Ark fırınları
Gerilim regülasyonu	GTO Tristör	Hızlı tek-raylı trenler

4.4.2 Aktif filtre ile pasif filtrenin karşılaştırılması

Aktif filtre ile pasif filtrenin çeşitli durumlardaki davranışları karşılaştırmalı olarak Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3 Aktif filtre ile pasif filtrenin karşılaştırılması

Konu	Pasif Filtre	Aktif Filtre
Harmonik akımların kontrolü	Her frekans için bir filtre ister (çok hacimlidir)	Aynı anda bir çok harmonik akımının kontrolü mümkündür
Frekans değişimi etkisi	Etkinliği azaltır	Etkisi yoktur
Empedans modifikasyonu etkisi	Rezonans riski vardır	Etkisi yoktur
Akım yükselmesi etkisi	Aşırı yük ve bozulma riski	Aşırı yüklenme riski yoktur
Yeni yük eklenmesi	Filtrenin değiştirilmesi gerekebilir	Herhangi bir probleme yol açmaz
Harmonik sırasının kontrolü	Oldukça zor	Ayar ile mümkün
Temel dalga frekans değişimi	Mümkün değil	Ayar ile mümkün
Genel boyutlar ve ağırlık	Harmonik derecesine göre çok değişken	Kompakt çözümler sunar

Yukarıda belirtilen genel karşılaştırmanın yanında aktif harmonik filtrenin diğer üstünlükleri şu şekilde sıralanabilir:

i) Adaptasyon (Uyumluluk)

- Her türlü yük (tek-faz veya üç-faz) için uyumlu
- Sisteme bağlantısı kolay (ister panoya ister duvara montaj)
- Güncelleştirilmesi (ilave modül ilavesi) kolay ve pratik
- Uzaktan bağlantılı kullanıcı arabirim desteği

ii) Performans ve Devamlılık ve Çeşitlilik

- Elektrik tesisatı için en doğru ve kesin projelendirme yapılabilir
- Tüm ya da seçilen harmoniklerin süzülmesi sağlanabilir
- Şebekeye paralel bağlanır ve aşır yüklerle karşı akım koruması ile devamlılık da sağlar
- Filtreleme kapasitesi artırımı için 4 adede kadar paralel bağlantı yapılabilir

4.5. Pasif Filtre Elemanlarının Özellikleri

Kondansatör, endüktans ve dirençlerin akım ve gerilim değerleri, aktif ve reaktif güçleri ve kayıpları, ilgili baralardaki temel ve harmonik gerilim içeriğine göre belirlenir.

Bu elemanların değerleri, zarar görmemeleri için varsayılan en ağır koşullara göre belirlenmelidir. Yani, en yüksek temel gerilim, en yüksek etkili frekans sapması, filtre ile alternatif akım devresi arasındaki olası rezonanslardan ve diğer kaynaklardan gelen gelen harmonik akımlar dikkate alınmalıdır.

4.5.1. Kondansatör

Kondansatörler, istenen toplam gerilim ve kVA değerinin elde edilmesi için seri ve/veya paralel bağlanan standart birimlerdir. Kondansatörlerin temel özellikleri aşağıdaki gibidir

- Sıcaklık katsayısı
- Birim ünite başına reaktif güç
- Güç kaybı
- Güvenilirlik
- Maliyet

Kondansatörün kendi ısısının veya çevre sıcaklığının etkisi sonucu oluşan kapasite değişiminin neden olduğu sapmaya engel olmak gerekir. Bu nedenle, ayarlı filtrelerde kapasitenin çok düşük sıcaklık katsayısı arzu edilir. Bu özellik, sönümlü filtreler veya güç kondansatörleri için önemli değildir.

Kondansatörler, çok yüksek gerilim zorlamalarında çalıştırılarak ve kayıpların düşük olması sağlanarak, birim ünite başına yüksek reaktif güç sağlarlar. Bu nedenle, dielektriğin ısı tahribine engel olmak için uzun süre kabul edilebilir aşırı gerilimde çalışmasından kaçınılmalıdır. Ayrıca, dielektriğin zararlı iyonizasyonunu önlemek için daha yüksek aşırı gerilimde çok kısa çalışmadan da kaçınmak gerekir. Kondansatörün gerekli reaktif güç değeri, temel ve harmonik frekansların herbirindeki reaktif güçlerin toplamıdır.

4.5.2. Endüktans

Tasarlanacak filtre devrelerinde gerekli olan endüktanslarda, yüksek frekansların yol açtığı deri etkisi ve histerezis kayıplarının dikkate alınması gerekir. Ayrıca, demir akı seviyesinin etkisi (manyetik lineersizliğin neden olduğu sapma) de dikkate alınmalıdır. Bu durum, normalde demir çekirdekler kullanıldığında düşük akı yoğunluklarının kullanılmasını gerekli kılar. Başka bir seçenek olarak, filtre endüktansları manyetik olmayan çekirdeklerle daha iyi tasarlanırlar.

En düşük maliyet için, etkin harmonik frekansındaki Q değeri (genellikle 50-150 arasındadır) seçilebilir. Bununla birlikte, normalde daha düşük Q değerleri gereklidir ve bu değerler seri direnç kullanarak elde edilir.

Endüktans değerleri, genelde en büyük etkin akıma ve anahtarlama dalgalanmalarına dayanabilecek gerekli yalıtım seviyesine bağlıdır.

BÖLÜM 5

HARMONİK KAYIPLARIN VE FİLTRELERİN MALİYET ANALİZİ

Mühendislik ekonomisinde yatırımların değerlendirilmesi için yapılan mühendislik ekonomisi analizlerinde yatırımlarla ilgili veriler incelenir ve sırayla şu konular tespit edilir ve hesaplanır.

- Yatırımların maliyetleri
- İşletme maliyetleri
- Yatırımların sağladığı gelirler ve karları
- Yatırımların sağladığı yarar

Bu tespit ve hesaplamalardan sonra yatırımların nakit akışları oluşturulur ve bu nakit akışları, birbirleri ile karşılaştırılabilecek duruma getirilir. Ekonomik analizlerde verilere uygun bir analiz yöntemi seçilmelidir. Belli başlı mühendislik ekonomisi analizleri şunlardır (Aybers ve Şahin, 1995):

- Şimdiki değer analizi, gelecek değer analizi, yıllık değer analizi
- Yıllık nakit akışı analizi
- Geri ödeme oranı analizi
- Yatırım farklarının analizi
- Kar / maliyet oranı analizi

Ekonomik analizleri anlayabilmek için bazı temel ekonomik terimleri bilmek önemlidir.

Maliyet: Bir üretime karşılık düşen ekonomik değerdir. Maliyetler kısa ve uzun dönem maliyetleri olarak ikiye ayrılır. Her iki maliyette de sabit ve değişken maliyetler söz konusudur.

Para: Fiyatı belirleyen bir ölçü birimidir ve bir tasarruf aletidir. Para denen kağıt parçasının hiçbir değeri yoktur onun gücü temsilidir.

Faiz: Ödünç olarak verilen veya bir bankaya yatırılan bir miktar paranın geliri ve miktarıdır

Amortisman: Sabit bir tesisin değerinden devre maliyetine eklenmek üzere indirilen miktara amortisman denir. Diğer bir deyişle bir tesisin iş göremez hale geldiğinde yerine yenisinin alınması için her yıl ayrılan paya verilen addır. N, ekonomik ömür (bir tesisin ekonomik olarak işletilebildiği süredir) olmak üzere amortisman hesabında kullanılan yöntemler çeşitlidir; bunlar arasında en çok kullanılanı düzgün (lineer) amortisman yöntemidir.

$$\text{Yıllık amortisman miktarı} = (\text{Satın alma değeri} - \text{Hurda değeri}) / N \quad (5.1)$$

Aşağıda mühendislik ekonomisinden (Blank ve Tarquin, 1983; White, 1989) bilinen “şimdiki değer yöntemi”, “yıllık değer yöntemi” ve “gelecek değer yöntemi” analizlerine ait bağıntılar verilmiştir. Bu bağıntılarda BM: Başlangıç maliyeti, DM: Değişken maliyet SM: Sabit maliyet yerine kullanılmak üzere kısaltılmıştır. Burada yıllık bakım-onarım ve faiz oranlarının sabit olduğu, amortismanın da lineer (sabit) olarak dikkate alındığı (ekonomik ömrü boyunca her yıl eşit miktarlarda pay ayrıldığı) kabul edilmiştir.

“Şimdiki değer yöntemi” ile güncelleştirilmiş maliyet,

$$M_{\text{şDY}} = \sum_{t=0}^N (\text{BM})_{\text{fonk. } \{t\}} \cdot (1+i)^{-t} \quad (5.2)$$

şeklinde yazılabilir. N tesisin ekonomik ömrü [yıl] ve i yıllık (düzgün) faiz oranıdır [%]. Fonk. {t} t zaman dilimine karşılık düşen değişimi göstermektedir.

Şimdiki değer yöntemi, mühendislik proje ve yatırımlarının karşılaştırılmasında en çok kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemle gelecek zaman içindeki tüm para akışları şimdiki değere getirilir ve alternatif yatırımların şimdiki değerleri karşılaştırılarak en ekonomik olanı tercih edilir.

“Yıllık değer yöntemi” yardımıyla maliyet,

$$M_{YDY} = (BM) \left[\frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \right] + DM / \text{yıl} \quad (5.3)$$

şeklinde yazılır.

Yıllık değer yöntemi, zaman içindeki tüm para akışları, eşdeğer ve uniform yıllık para akış serisine dönüştürülerek, alternatif yatırımlar yıllık bazında karşılaştırılır.

“Gelecek değer yöntemi” nin kullanılması halinde ise maliyet için,

$$M_{GDY} = (BM)(1+i)^N + (DM / \text{yıl}) \left[\frac{(1+i)^N - 1}{i} \right] \quad (5.4)$$

ifadeleri yazılabilecektir.

Gelecek değer yöntemi, yatırımın ömrü boyunca tüm para akışlarını gelecekteki bir referans tarihine indirger. Bu referans tarihi için genelde yatırımın planlanan ömrü alınır. Mühendislik analizlerinde pek sık kullanılmaz.

(5.2), (5.3) ve (5.4) bağıntıları yardımıyla alternatif modellerin değerlendirilmesi ve ekonomik anlamda durum kestirimi mümkün olabilecektir.

Yapılan analizde, filtrelerin ekonomik ömrü sonunda “hurda değeri” pratik olarak sıfır kabul edilmiştir. Diğer taraftan N süreci boyunca faizin aynı kalmadığı düşünülmüştür; faizin farklılık göstermesi halinde her yıl için ayrı hesap yapılması ve toplamın alınması gerekecektir. Faizin yanı sıra yatırımların ekonomik değerlendirilmesinde önemli olan enflasyonun da göz önüne alınması durumunda “yıllık enflasyon oranı e [%]” hesaplara yansıtılabilir (Jones, 1982). SM bileşeni içinde;

- Yıllık faiz oranı [%],
- Yıllık amortisman oranı [%],

- Yıllık bakım-onarım tutarı,
- Satınalma, kurma\montaj bedelinin içindeki (yıllık) bedel, yer almaktadır.

Akım harmonikleri iletim hatlarında ve (iç) dağıtım fiderlerinde “ek hat kayıplarına”na yol açarken, gerilim dalgasının sinüsten ayrılması sonucu oluşan gerilim harmonikleri de manyetik nüveye sahip (motorlar ve transformatörler gibi) cihazlarda “ek demir kayıpları”na sebep olur. Bu kayıpların sırasıyla P'_{hat} ve P'_{Fe} olarak gösterilmesiyle, bir yıl boyunca harmoniklerden kaynaklanan “ek kayıp enerji” (E') şöyle ifade edilebilir.

$$E' = \sum_{j=1}^T t_j \chi_j P'_h + \sum_{k=1}^M t_k P'_{Fe} \quad (5.5)$$

Burada hatların bir yıl boyunca birbirinden farklı yüklenme oranı χ_j ve ilgili işletme süresi t ile gösterilmiştir. T ve M sırasıyla yıl boyunca farklı işletme modlarının toplam sayısıdır. Hatlarda dengesiz yüklenme olduğunda ise ilk ifade her faz için ayrı ayrı yazılan üç bileşenden oluşacaktır.

Filtre kurulmasının getireceği maliyet (M) ile yıllık ek kayıpların maliyetindeki iyileşme ekonomik yönden karşılaştırmaya uygundur. Bu karşılaştırma yapılırken;

- Dönemlik (örneğin aylık) enerji tarifi
- Dönemlik (örneğin aylık veya yıllık) faiz oranı
- Dönemlik (örneğin aylık) enflasyon oranı

göz önünde bulundurulmalıdır (White, 1989).

Dönemlik enflasyon oranının e ve faiz oranının f olması durumunda P_t oranının t dönem sonundaki değeri ile paranın sıfır zamandaki P_0 değeri arasındaki ilişki şöyle tanımlanabilir:

$$P_0 = P_t [(1+f) (1+e)]^{-t} \quad (5.6)$$

Yukarıda belirtilen hesaplama yöntemleri kullanılarak yıllık ek kayıp enerji tutarı ile filtre sisteminin yıllık maliyetinin karşılaştırılması mümkün olacaktır. Filtre sisteminin yıllık maliyeti içinde, sabit maliyet bileşeninin dışında bakım-onarım, geliştirme, personel ve güncelleştirme maliyetlerini içeren değişken maliyet bileşeni de bulunduğu göz önünde bulundurulmalıdır.

5.1. Harmonik Ek Kayıpların Analizi

Elektrik enerjisinin üretim merkezlerinden tüketicilere ulaştırılması için kullanılan şebekede bir takım güç kayıpları meydana gelir. Enerjinin tüketicilere ulaştırılması esnasında meydana gelen elektriki kayıp enerjisi de tıpkı faydalı enerji gibi santrallarda üretilen ve tüketiciye verilen faydalı enerjiden daha fazla bir enerji şebekeye verilecektir.

İşletmecilik bakımından bunun aşağıdaki olumsuz etkileri vardır.

- 1- Kayıp enerjisinin üretilmesi için daha fazla yakıt tüketilir, bu da daha fazla masraf meydana getirir.
- 2- Enerji kaybına tekabül eden akımlar şebekeyi daha fazla yüklerler ve gerilim durumunu kötüleştirecek, hatların ve ara transformatör istasyonlarının enerji taşıma kapasitesini azaltacak şekilde etkirler.
- 3- Mevcut makine gücünün bir kısmı kayıp karşılamak amacıyla kullanılır ve böylece kullanılabilecek enerji üretimi azalır.

Bu nedenle bir şebeke işletmesinde kayıpların düşürülmesine ve mümkün mertebe alçak tutulmasına çalışılmalıdır. Bu kayıpların büyük bir kısmı enerji iletim sistemlerinde meydana gelmektedir. İletim sistemi kayıplarının tahmini için birçok yaklaşık metod önerilmiştir. Ancak yüksek doğruluk ve hız, bir kayıp değerlendirme metodolojisinde iki önemli gereksinimdir. Daha fazla doğruluk değerlendirmesi için daha fazla ayrıntılı modelleme gereklidir.

Akım, gerilim gibi sistem büyüklüklerinin sinüsoidal oldukları varsayılarak gerçekleştirilen kayıp analizi, bu büyüklüklerinin non-sinüsoidal olması durumunda bazı değişikliğe uğrar. Bu yüzden akım ve gerilimin fonksiyonlarına bağlı olan işletme

kayıpları, bu büyüklüklerin harmonikli değerlerine göre yeniden düzenlenmelidir. Bu düzenleme için sistemde harmonik akım dağılımları belirlenmeli, harmonik gerilim spektrumları elde edilmelidir. Bu değerler kullanılarak non-sinüzoidal duruma göre kayıplar hesaplanır. Enerji sistemlerinde harmonik etkinliklerinin her geçen gün artmasından dolayı sistemdeki güç kayıpları incelenirken harmonikli yüklerinde gözönüne alınarak incelenmesi güç kayıplarının daha doğru bir şekilde tesbit edilmesini 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.

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

$$\Delta P_n = 3 \cdot R_n \cdot I_n^2 \quad (5.7)$$

Toplam kayıplar ise

$$\sum \Delta P_n = \sum_{n=2}^{\infty} 3 \cdot R_n \cdot I_n^2 \quad (5.8)$$

şeklinde yazılabilir. Burada R_n ($n \neq 1$) deri etkisi dahil direnci göstermektedir.

Ark fırını gibi dengesiz non-sinüzoidal akım çeken yüklerde, dengeli durum için kullanılan “3” çarpanı geçerli değildir. Her fazın çektiği harmonik akımlar (I_{Rn} , I_{Sn} , I_{Tn}) dikkate alınıp, dengeli yüklemde çekilen gücün sabitliği koşulu altında dengesiz yüklemde bu kayıplar şu şekilde ifade edilebilir:

$$\Delta P'_n = \frac{\Delta P_n}{3} \left[\left(\frac{I_{Rn}}{I_{R1}} \right)^2 + \left(\frac{I_{Sn}}{I_{S1}} \right)^2 + \left(\frac{I_{Tn}}{I_{T1}} \right)^2 \right] \quad (5.9)$$

Burada ΔP_n nominal frekans altındaki ek (omik) hat kayıpları, I_{R1} , I_{S1} , I_{T1} her faz için temel frekanstaki akımlar ve I_{Rn} , I_{Sn} , I_{Tn} ise n. harmonik derecesi için faz akımlarıdır. $\Delta P'_n$ dengesiz non-sinüsoidal durum için ek hat kayıplarıdır.

İşletmenin faz akımları genlik bakımından birbirinden farklı olduğunda “dengesiz yüklenme” söz konusudur. Kayıp güç n. harmonik için diğer bir şekilde

$$\Delta P'_n = \frac{\Delta P_n}{3} \left[(1 + \alpha_{Rn})^2 + (1 + \alpha_{Sn})^2 + (1 + \alpha_{Tn})^2 \right] \quad (5.10)$$

yazılabildiğinden çekilen sabit güç altında, P'_n (dengesiz yüklenme halindeki kayıplar) ile P_n (dengeli yüklenme halindeki kayıplar) arasında doğrudan ilişki kurulabilir. Burada

$$\left. \begin{aligned} \alpha_{R,N} &= (I_R - I) / I \\ \alpha_{S,N} &= (I_S - I) / I \\ \alpha_{T,N} &= (I_T - I) / I \end{aligned} \right\} \quad (5.11)$$

şeklinde verilen ve n. harmonik için fazların asimetresini belirleyen reel katsayılarıdır; I dengeli yüklenme halindeki akımdır. Bu katsayılar pozitif, negatif veya sıfır değerini alabilirler ve n. harmonik için “fazların asimetrisi” oranları olarak adlandırılırlar.

Enerji sistemlerinde yer alan generatör, motor ve transformatörden non-sinüsoidal akımların geçmesi halinde (bakır sargılarda) ek bakır kayıpları oluşacaktır. Etiketinde sargı (bakır) kayıpları P_{cu} [kW] verilen bir transformatör için harmonik ek kayıpları,

$$P^*_{cu} = P_{cu} \left[1 + (I_2/I_1)^2 + (I_3/I_1)^2 + \dots + (I_N/I_1)^2 \right] \quad (5.12)$$

olacaktır.

Transformatörler ve motorlar gibi ferromanyetik malzemeden nüvesi olan elemanlarda nüve kayıpları da oluşmaktadır. Harmoniklerin oluşturduğu ek nüve kayıpları histeresis ve girdap akımı (fuko ya da eddy akımı) kayıplarının toplamıdır. Bu kayıpların hesaplanmasında bazı ampirik bağıntılar verilmekle birlikte tam bir analitik ifadenin olmaması nedeniyle ele alınmamıştır.

Sonuç olarak işletmelerde ortaya çıkan harmonikler, çeşitli bozucu etkilerin yanı sıra “ek kayıplar” oluşturmakta dolayısıyla ekonomik yönden de olumsuz katkı yapmaktadır. 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 harmonikli yükleri bulunduran bir enerji sistemi göz önüne alınmıştır. Harmonik analizde göz önüne alınan varsayımlar şunlardır:

- Besleme transformatörünün gerilimleri dengeli ve sinüsoidaldir.
- 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) gerilimlerindeki harmonik bileşenler dikkate alınmamıştır.

Harmonik (ek) işletme kayıplarının belirlenmesi için uygulanacak yol aşağıda özetlenmiştir:

1. Enerji sistemi üzerinde harmonik güç akışı (veya harmonik akım dağılımı) gerçekleştirilir.
2. Her baradaki harmonik gerilim spektrumu elde edilir.
3. Enerji sisteminde her baradan baraya geçen harmonik akım dağılımları belirlenir.
4. Yukarıda belirtilen 1., 2. ve 3. adımdaki işlemlerin daha açık görülmesi ve daha uygun kontrol stratejilerin belirlenmesi için tek hat şemaları çıkarılır.
5. Enerji sisteminin günlük (veya aylık) yüklenme eğrisi yardımıyla, analiz edilecek her işletme dilimi için “yüklenme oranları” belirlenir. Harmonikli yüklerin, günlük (veya aylık) yüklenme karakteristiği göz önüne alınarak yoğunluk grafiği çıkarılır.

6. Söz konusu yüklenme eğrisi yardımıyla ve diğer işletme özelliklerinden hangi zaman dilimlerinde
 - Lineer (sinüsoidal) yüklerin çekildiği
 - Non-lineer (non-sinüsoidal) yüklerin çekildiği
 - Lineer ve non-lineer yük bileşimlerinin çekildiği
 ayrı ayrı belirlenir. Tesisteki lineer (sinüsoidal) yükler ile non-lineer (non-sinüsoidal) yüklerin gün boyunca gerek sayı gerekse kurulu güç bakımından oranları belirlenir.
7. Fazlarda dengesiz (asimetrik) yüklenme olduğunda, asimetri oranlarının belirlenip hesaplara yansıtılır.
8. Tesisteki yüklerin karakteristiği gereği tek ve çift sayıdaki harmonikler belirlenir ve her iki durum için de maksimum harmonik mertebeleri ortaya konur.
9. Normal işletme periyotları dışında, ani yük değişimlerinin olup olmadığı, varsa süresi ve mertebesi belirlenir. Etkili bir analiz için THD değerlerinin anlık gösterimi de sağlanmalıdır.
10. Analizin yapılacağı zaman sürecinde elektrik enerji satış bedelleri, içine aldıkları zaman dilimleri için ayrı ayrı belirlenir.
11. İleriki yıllarda daha etkin bir çalışma yapmak için elde edilen tüm veriler kayda alınır ve raporlanır. Gelecekte tesisin gerek kurulu güç gerekse non-lineer yüklenme bakımından ne ölçüde genişleme göstereceğinin planlanması

5.2. Filtre Maliyeti

Etkili bir filtre, en az maliyetle harmonikleri bastırır ve bir miktar reaktif güç sağlar. Filtre bileşenlerinin maliyet analizinde genellikle şu varsayımlar yapılır (Arrillaga, 1985):

- i) Tipik bir tesiste kondansatör bankı, her biri önceden belirlenmiş çalışma geriliminde ve bir dış sigorta ile korunan nominal gerilimli kondansatör ünitelerinin matrisinden oluşur. Bir kondansatör bankının maliyeti, yaklaşık olarak tüm bankları içeren minimum matris boyutlarına kadar sabittir. Daha yüksek değerler için her bir seri gruba gerektiği ölçüde bir veya daha fazla ünite eklenir. 50, 100, 150 kVAr gibi farklı nominal değerli standart üniteler nedeniyle durum daha da karmaşıklaşır. Farklı kondansatör bank boyutları için artımsal maliyet değişir. Doğru olarak çıkarılmış maliyet denklemi ile bu faktörler dikkate

alınabilir; ancak hesapları kolaylaştırmak amacıyla kondansatör maliyetinin kondansatörün nominal değeriyle orantılı olduğu varsayılır.

ii) Süzgeç bobinlerinin maliyeti büyük oranda yapım (yağ yalıtımlı/soğutmalı üniteler, doğal hava soğutmalı reaktörler gibi) yöntemine bağlı olmasına rağmen, maliyetleri farklı değerlerdeki üniteler için büyük oranda değişmez.

iii) Her bir filtre kolundaki Q ayarı için gerekli direncin güç değeri, şüphesiz bir dereceye kadar süzgeç maliyetini etkiler. Ünitenin nominal direncini tahmin etmek zordur, bununla beraber bobinin tabii Q faktörüne bağlı olduğu da bilinen bir gerçektir. Bu nedenle ve bunun yanında hava soğutmalı direncin maliyetinin, diğer bileşenlerin maliyeti ile karşılaştırıldığında küçük olması nedeniyle analizde, direnç başına sabit bir maliyet alınabilir. Ancak yağ soğutmalı ünite kullanıldığında maliyet daha önemli bir durum kazanır.

iv) Son olarak bobinin direnci de bütün frekanslarda sabit olarak alınabilir.

5.2.1. Pasif filtrenin maliyet fonksiyonu

Pasif filtrelerin maliyet fonksiyonunun elde edilmesi bobin (reaktör) ve kondansatör elemanlarından oluşan ve harmonik frekansı için değerleri ayrı ayrı hesap edilerek şebekeye paralel bağlanan pasif filtrelerin iletmeye yansıyacak toplam başlangıç maliyeti değeri

$$M_{F,top} = \sum_{i=2}^n M_{Fi} \quad (5.13)$$

olarak yazılabilir. Burada n süzülmesi öngörülen maksimum harmonik mertebesidir. Uygulamada sıkça rastlanan tek harmonikler için (3, 5 ve 7) filtre bankları tesis edilmektedir.

Teorik olarak n. harmoniği süzmek üzere tasarlanan ve hesabı yapılan pasif filtrenin kondansatör bileşeninin reaktif gücü Q_{cn} (kVAr), bobin bileşeninin reaktif gücü de Q_{Ln} (kVAr) olmak üzere toplam maliyeti, bu iki bileşenin maliyetleri toplamına eşit olacaktır. Bir başka deyişle, birim kVAr için verilen birim fiyatlar (m_c ve m_L) dikkate alınacaktır. Söz konusu birim fiyatlar arasında firmalar arasında farklılıklar olmakla birlikte, ortalama olarak kondansatör için $m_c = 14$ DM/kVAr ve bobin için de $m_L = 17$ DM/kVAr alınabilir. O halde n. harmonik filtresinin (toplam) başlangıç maliyeti,

$$M_{Fn} = m_c.Q_{cn} + m_L.Q_{Ln} \quad (5.14)$$

olacaktır.

Filtrede kullanılacak kondansatörün ekonomik ömrü 80000 saat, bobinin ömrü ise uygun şartlarda süresiz olarak tanımlanmaktadır; bu tanımlama filtre yapımcısı firmaların açıklamasıdır. Bu durumda kondansatör için “ekonomik ömür” , bir yılın yaklaşık olarak 8000 saat alınmasıyla 10 yıl olarak bulunur.

Filtre için her yıl ayrılması gereken amortisman payı $(AP)_n$ ise

$$(AP)_n = m_c.Q_{cn}/10 \quad (\text{DM/yıl}) \quad (5.15)$$

yazılabilir. Bu ifade;

- Lineer amortisman yönteminin kullanılması
- Para birimi (DM) olduğundan, 10 yıl içindeki enflasyonist etkinin dikkate alınmadığı
- Kondansatör için 10. yıl sonu itibariyle hurda değerinin sıfır olduğu
- Bobinin sonsuz süre işletmede kalacağı
- 10 yıl içinde başlangıçta seçilen amortisman yönteminin (lineer amortisman) değiştirilemeyeceği (örneğin çift azalan bakiyeler yöntemi vb. amortisman yöntemine geçiş yapılmayacağı)

varsayımları altında çıkarılmıştır.

Filtrenin kayıpları, bobin ve kondansatörün kVAr güçleri cinsinden tanımlanmaktadır. Filtre yapımcısı firmalar bu kayıp güçleri kondansatör için (ortalama) $p_c = 0,5 \text{ W/kVAr}$ ve bobin için de (ortalama) $p_L = 3,5 \text{ W/kVAr}$ olarak vermektedir. Şebeke (uç) geriliminin yaklaşık sabit olduğu kabulüyle, filtrenin kayıp ifadesi

$$P_{Fn} = p_c \cdot Q_{cn} + p_L \cdot Q_{Ln} \quad (5.16)$$

olur. Filtrenin gün boyunca devrede kaldığı süre (filtrenin tesis edildiği işletmenin gün boyunca işletme süresi) t saat ise, günlük filtre kayıp enerjisi P_{Fn} ile t süresinin çarpımına eşit olacaktır. Ay bazında günlük işletme programının aynı ve uç geriliminin sabit olduğu düşünülürse $t \cdot 30$ çarpanı aylık kayıp enerji miktarını $(AKE)_n$ verir:

$$(AKE)_n = P_{Fn} \cdot t \cdot 30 \cdot 10^{-3} \text{ (kWh/ay)} \quad (5.17)$$

Elektrik enerji tarifiesi (TL/kWh) aylık belirli bir artışla (örneğin %5 gibi) yansıdığından, yıl bazında “aylık kayıp enerji tutarı” da artış gösterecektir; bu değer 12. ayın sonu itibariyle maksimuma ulaşmış olacaktır. j . Ayın Aylık Kayıp Enerji Maliyeti $(AKEM)_{n,j}$

$$(AKEM)_{n,j} = (AKE)_n \cdot f_j \text{ (TL)} \quad (5.18)$$

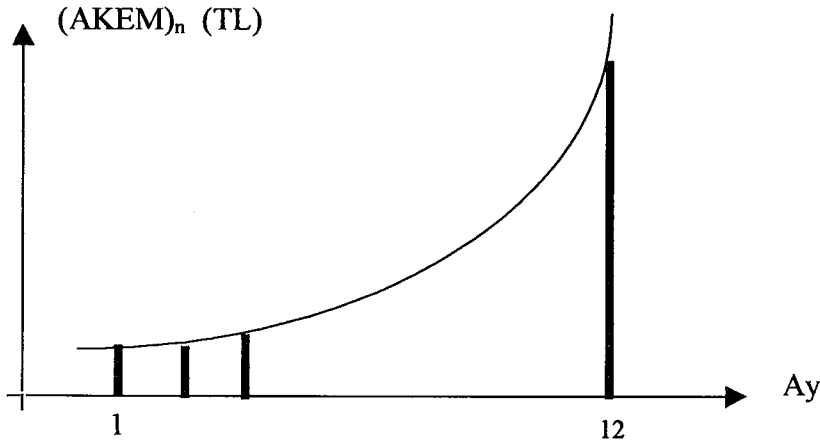
olup f_j , j . aydaki tarife değerini göstermektedir.

n . filtre katının 12 ay sonu itibariyle kayıp enerji tutarının değişimi Şekil 5.1’de gösterilmiştir.

Şekil 5.1’de her ay artış gösteren kayıp maliyetinin yıl sonuna indirgenen değeri;

$$\Sigma(AKEM)_{n,i} = (AKEM)_{n,1} (1+i)^{12} + (AKEM)_{n,2} (1+i)^{11} + \dots + (AKEM)_{n,12} (1+i) \quad (5.19)$$

olur. Burada i aylık (ortalama) geçerli faiz oranını göstermektedir.



Şekil 5.1 Enerji tarifesinin yıl boyunca aylık düzgün artışla değişmesi halinde kayıp enerji tutarı

Ödemelerdeki aylık artış miktarı k ile aylık enflasyon oranı i ile gösterilirse bir yıl sonu (12 ay) itibariyle kayıp enerji tutarının bugüne indirgenmiş tutarı yani şimdiki değeri eşdeğer bir gösterimle

$$\left. \begin{aligned} M_{\text{şDY}} &= \frac{A}{i - k} [1 - (1+k)^{12} (1+i)^{-12}] & i \neq k \\ M_{\text{şDY}} &= \frac{12A}{1+i} & i = k \end{aligned} \right\} \quad (5.20)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada A , ilk döneme (aya) ait parasal değerdir.

Filtrenin ekonomik ömrü $N_{Fn} \cong 10$ yıl olarak kabul edildiği için, işletme ekonomisinden bilinen maliyet analizleri de 10 yıllık süre için yapılabilir. Bunun için;

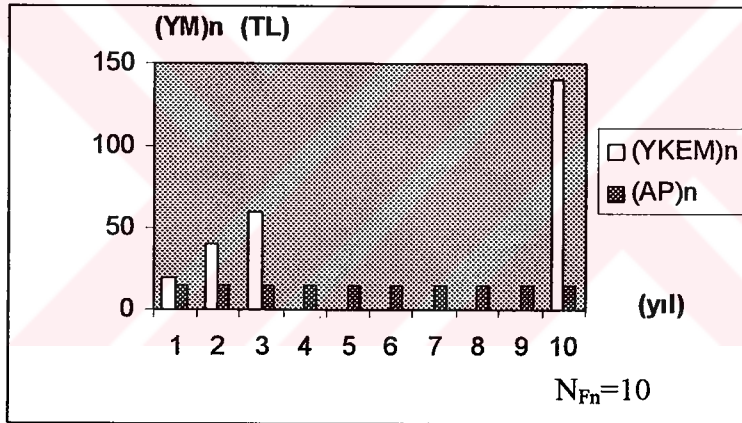
- 10 yıllık süre içindeki enerji tarifi için tahminde bulunmak ya da çeşitli senaryoları öngörmek
- Amortisman için DM esas alındığından, 10 yıllık süre içinde DM/TL paritesini kestirmek

- 10 yıllık süre içinde para piyasalarında geçerli aylık (ortalama) faiz oranları için çeşitli senaryoları öngörmek gerekir.

n. filtre için 10 yıllık süreçte Yıllık Maliyet (YM)_n, Yıllık Kayıp Enerji Maliyeti (YKEM)_n ile Yıllık Amortisman Payının (AP)_n toplamı şeklinde verilebilir (Şekil 5.2). Burada yıllık “periyodik bakım-kontrol maliyetinin” ihmal edilecek düzeyde olduğu kabul edilmiştir.

n. filtre katı için tanımlanan yukarıdaki bağıntılar tesiste bulunan tüm filtre katları için genelleştirilebilir. Toplamsallık teoremi gereği tüm filtrelerin maliyet toplamlarını almak mümkündür.

Mühendislik ekonomisinden bilinen Şimdiki Değer, Gelecek Değer ve Yıllık Değer yaklaşımları yardımıyla tesiste kurulu filtrelerin maliyet analizleri kolaylıkla yapılabilir.



Şekil 5.2 n. filtre katının yıllık maliyet değişimi

5.2.2. Aktif filtrenin maliyet fonksiyonu

Aktif filtre tüm harmonikleri süzdüğü için, her harmonik için bir maliyet fonksiyonu bulmaya gerek yoktur. Daha önce pasif filtreler için tanımlanan tüm bağıntılar aktif filtre için de geçerlidir. Ancak n adet pasif filtrenin maliyet toplamı yerine aktif filtre de tek maliyet gözükecektir. Aktif filtrenin başlangıç maliyeti şöyle bulunabilir:

$$M_F = I_L \times (\text{THD})_i \times k \quad (5.21)$$

Burada I_1 yük akımının temel bileşeni (A), THD); akım için toplam harmonik distorsiyonu ve k aktif filtrenin birim maliyeti (USD/amper) dir; günümüzde k için 160 USD/A alınabilir.

Aktif filtrenin kayıp değeri, yükün değerine bağlı olarak 1 kW ile 5,2 kW arasında değişen karakteristik değerler almaktadır. Bu kayıp, Aylık Kayıp Enerji Maliyetinin (AKEM) hesabında enerji tarifi ile birlikte kullanılabilir.

Aktif filtrenin ekonomik ömrü ortalama 200000 saat verildiğinden, ortalama ekonomik ömür 25 yıldır. O halde Amortisman Payı (AP)

$$(AP) = MF / 25 \quad (\text{USD/yıl}) \quad (5.22)$$

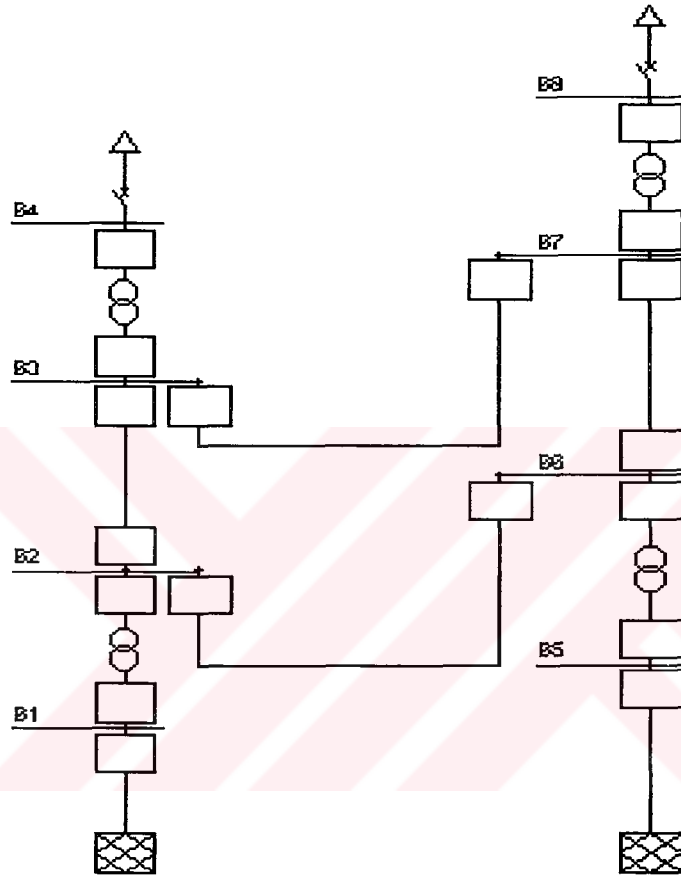
olacaktır.

Yıllık bakım onarım maliyeti ile hurda değerinin ihmal edilmesi durumunda, Yıllık Maliyet (YM) için, Bölüm başında tanımlanan ekonomik analizler kullanılabilir.

BÖLÜM 6

SAYISAL UYGULAMA

Sayısal uygulama için sinüsoidal olmayan yük akımlarını içeren Şekil 6.1'deki sekiz baralı bir elektrik enerji sistemi göz önüne alınmıştır.



Şekil 6.1 Sayısal uygulama için göz önüne alınan örnek enerji sisteminin tek hat şeması

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 Çizelge 6.1’de, hat parametreleri Çizelge 6.2’de, transformatör parametreleri Çizelge 6.3’de ve norm harmonik akımlar giriş formatı Çizelge 6.4’de, Örnek sisteme ilişkin şönt elemanların değerleri Çizelge 6.5’de verilmiştir.

Çizelge 6.1 Örnek sisteme ilişkin bara bilgileri

AC - Area - definition

```
*****
* area name  nom. freq.
*              [Hz]
* ::::::::::: -----*
* Areal      50.0
* ----- ac - system -----*
* bus name:  rt.V    Vo    M    PGO    QGo    M    PLo    QLo    Bs
*            [KV]    [KV]    -    [MW]    [MVA]    -    [MW]    [MVA]    tp
* ::::::::::: -----*
* ::
* B1      154.000  157.080  1    .6000    1.0000  0    .0000    .0000  SL
* B2      34.500   34.500  0    .0000    .0000  0    .0000    .0000  PQ
* B3      34.500   34.500  0    .0000    .0000  0    .0000    .0000  PQ
* B4       .400     .400  0    .0000    .0000  1    1.4810   .7173  PQ
* B5      154.000  157.080  1    .6000    1.0000  0    .0000    .0000  SL
* B6      34.500   34.500  0    .0000    .0000  0    .0000    .0000  PQ
* B7      34.500   34.500  0    .0000    .0000  0    .0000    .0000  PQ
* B8       .400     .400  0    .0000    .0000  1    .5540    .4160  PQ
```

Çizelge 6.2 Örnek sisteme ilişkin hat parametreleri

```
*----- positive sequence line - data -----*
* from bus    to bus    n    R    X    B    D    rtd.cur.
*   i         j         [Ohm/Km] [Ohm/Km] [mS/Km] [Km] [kA]
*
* #: ::::::::::# ::::::::::: ::::: -----*
*
* B2          B3          1    .1930 .3200 1200.000 22.000 .357
* B2          B6          1    .1930 .3200 1200.000 8.000 .357
* B3          B7          1    .1930 .3200 1200.000 12.000 .357
* B6          B7          1    .1930 .3200 1200.000 18.000 .357
```

Çizelge 6.3 Örnek sisteme ilişkin transformatör parametreleri

```
*----- transformer - data -----*
* from bus    to bus    rtd.    rtd.volt    imp.    Cu    mag.
*   i         j         pow.    i         j    volt.    loss    cur.
*           n         [MVA]    [KV]    [KV]    [%]    [KW]    [%]
* #: ::::::::::# ::::::::::: ::::: -----*
*
* B1          B2          1*    40.000 154.00 34.500 11.80 160.00 .40
* B3          B4          1*    1.600 34.50 .400 6.00 14.50 1.60
* B5          B6          1*    40.000 154.00 34.500 11.80 160.00 .40
* B7          B8          1*    .315 34.50 .400 5.80 3.900 2.00
```

Çizelge 6.4 Norm harmonik akımlar giriş formatı

```

*----- h a r m o n i c   c u r r e n t s -----*

* busname      rtd.cur (A)
* :::::::::::  -----
* B4            2375.00
*
* busname      rtd.cur (A)
* :::::::::::  -----
* B8            1000.00
*
* Frequ.      Frequ.      Frequ.      Frequ.      Frequ.      Frequ.      Frequ.      Frequ.
* -----      -----      -----      -----      -----      -----      -----      -----
* 250.         350.         550.         650.         850.         950.         1150.        1250.
* Current      Current      Current      Current      Current      Current      Current      Current
* [%]          [%]          [%]          [%]          [%]          [%]          [%]          [%]
* -----      -----      -----      -----      -----      -----      -----      -----
* .0           .0           .0           .0           .0           .0           .0           .0
* Angle        Angle        Angle        Angle        Angle        Angle        Angle        Angle
* [deg]         [deg]         [deg]         [deg]         [deg]         [deg]         [deg]         [deg]
* -----      -----      -----      -----      -----      -----      -----      -----
* 0.            0.            0.            0.            0.            0.            0.            0.

```

Çizelge 6.5 Örnek sisteme ilişkin şönt elemanların değerleri

```

*----- s h u n t   -   d a t a -----*

*           C a p a c i t o r       R e a c t o r
* bus  DY   rtd. Vo.   rtd.Q.       rtd.Q.
*      :    [kV]     [MVar]         [MVar]
* :::: ::   -----
* B4  Y     .400      .300          .375
* B8  Y     .400      .020          .000
*****

```

Örnek sistemin simülasyonu lisanslı DIGSilent Power System Analysis Version 10.31 programı kullanılarak yapılmıştır. Hesaplama sonucu iki ayrı durum (dengeli ve dengesiz yüklenme) için baralar üzerindeki harmonik bileşenlere ilişkin onbir ayrı harmonik spektrumu (eğitim seti) (en yüksek spektrum durumdan en düşük spektrum durumuna kadar) yapay sinir ağlarının eğitilmesinde kullanılmıştır. Örnek olmak üzere en yüksek dereceli spektrum durumu için program çıktıları EK 1.1 de ve harmonik spektrumları ise EK 1.2 de verilmiştir. Harmonik kayıpların hesabı ve karşılaştırmalı grafik gösterimleri Microsoft Excel-97 paket programı ile gerçekleştirilmiştir. YSA ile yapılan hesaplamalarda kullanılan geriye-yayılım algoritması için Borland C++ dilinde yazılmış olan programın

kodu EK 2 de verilmiştir. Bütün programlar, IBM uyumlu Pentium-233 MHz işlemcili, 32 RAM bellekli, 2,1 GB harddiske sahip bir bilgisayar ile çalıştırılmıştır.

Sayısal uygulamanın ikinci kısmında lineer olmayan yükleri içeren enerji sistemlerinde harmonikler nedeniyle ortaya çıkan maliyet analizi de yapılmıştır. Maliyet analizinde; simülasyon sonucunda baralarda oluşan ek kayıpların maliyeti ve harmoniklerin yok edilmesi için B8 barasında 5. ve 7. harmoniklerin yok edilmesi için öngörülen pasif filtre ve aktif filtrenin maliyeti ele alınmıştır.

YSA ile tasarım işlemi aşağıdaki adımları içerir:

- (i) Uygun eğitme verilerinin hazırlanması
- (ii) Uygun YSA yapısının seçilmesi
- (iii) YSA'nın eğitilmesi
- (iv) Eğitilmiş ağın değerlendirilmesi (test)

Tasarımcıyı tatmin etmeyen bir YSA yapısı seçilebilir. Bu durumda yapının değiştirilmesi gerekir ve YSA tekrar eğitilmelidir. Eğitilmiş bir YSA (yüzde sıfır hata da bile) bazen test verilerinde tatmin edici olmayabilir. Bu durumda ise ağ yapısı ve eğitme verileri değiştirilir ve ağ tekrar eğitilerek test edilmelidir (Sidhu, 1995).

Eğitme örnekleri problemi genelleştirmek için gerekli bilgiyi içermesi gerekir. Bir eğitme setini hazırlama üç aşamayı içerir. Birinci olarak sistem parametreleri seçilir ve yük akış çalışması için hazırlanır. İkinci olarak farklı harmonik spektrumları (en düşük ve en yüksek sınırlar arasında) 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. Diğer yandan YSA giriş değerleri de normalizasyona tabi tutulmuştur. 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 YSA'nın tüm veri bölgesini öğrenmesi sağlanmış olur. Aynı normalizasyon parametreleri eğitme verilerinde kullanıldığı gibi test etme verilerindeki işlemde de kullanılır. Ek.2'de verilen YSA

programı, giriş ve çıkış değerleri ile test etme seti değerlerini normalizasyon edilmiş şekilde kabul etmektedir.

Önerilen YSA ağ yapısının seçimi, katman sayılarının seçimini, transfer fonksiyonunun seçimini, giriş ve çıkış sayılarının seçimini ve her bir katmandaki düğüm sayısının seçimini içerir. Üç katmanlı ileri-beslemeli bir ağ, karmaşık fonksiyonları yeterli derecede modelleyebildiğinden bu uygulama için önerilir. Non-lineer sigmoid fonksiyonu transfer fonksiyonu olarak kullanılır. Gizli katmandaki düğüm (neuron) sayıları ise farklı ağ konfigürasyonlarını eğitime ve test etmeleri içeren deneyimlerle kararlaştırılmıştır.

Seçilmiş ağın eğitimi, eğitime örnekleri ve geriye-yayılım (back-propagation) algoritması kullanılarak yapılır. Gerçek çıkışlar ve istenen çıkışlar arasındaki ortalama karesel hatayı iyileştirme işlemi bittiği zaman eğitime işlemi tamamlanır. Bu işlemi yaparken öğrenme katsayısı (ϵ) ve momentum katsayısı (α)'dan yararlanılır. Bunların değişim aralığı Bölüm 2'de belirtildiği gibidir. Ancak bu noktada, tasarımcı YSA'nın eğitime ve performansından memnun değilse YSA'nın yapısı ve/veya eğitime verileri değiştirilir ve tasarım işlemi tekrarlanır.

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

Dengeli yük durumu için yukarıda tanımlanan prosedür dengesiz yük durumu için de aynı adımları içerir. Yalnız burada sadece birinci adım yani eğitime verilerinin elde edilmesi farklıdır. Çünkü akım asimetrisini sağlamak üzere har faz için ayrı ayrı harmonik spektrum değerleri girilmiştir.

Dengeli yük durumu için harmonik ek kayıpların, harmonik spektrumların temel bileşenin %si cinsinden verilmesi halinde, hesaplanması amacıyla YSA eğitime verileri DIGSilent harmonik akış programı ile elde edildikten sonra 11 ayrı eğitime veri kümesi ile eğitime 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) katsayılarından faydalanılır. Bunun için Bölüm 2'de belirtilen aralıklarda ε ve α katsayıları değiştirilerek YSA'nın öğrenme hatası minimuma getirilmeye çalışılır. Hatanın minimum olduğu andaki ε ve α katsayıları belirlenir. Bu örnek için $\varepsilon = 0.75$ ve $\alpha = 0.75$ olarak belirlenmiştir. Ayrıca bu aşamada gizli katmandaki düğüm sayısı da eğitim işleminde etkili olur. Buna göre eğitilen YSA, 16: 20: 1 ağ mimari yapısında seçilmiştir.

Simulasyondan elde edilen değerlerden hesaplanan ek kayıplar ve bara gerilimleri YSA'nın eğitilmesinden sonraki sonuçlarla karşılaştırılmıştır. YSA eğitim verileri Çizelge 6.6'de, test değerleri ise Çizelge 6.7'de verilmiştir. Bu test etme setindeki 4 farklı örnek için harmonikli yük akışından ve YSA'ndan elde edilen sistemin toplam güç kaybı sonuçları Çizelge 6.8'de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6.6 Örnek sistem için temel bileşenin %si cinsinden YSA eğitim değerleri

Harmonik Derecesi	Eğitim-1		Eğitim-2		Eğitim-3		Eğitim-4		Eğitim-5		Eğitim-6	
	B4	B8	B4	B8	B4	B8	B4	B8	B4	B8	B4	B8
5.	45	40	35	30	30	25	25	20	20	15	15	13
7.	25	20	22	18	19	16	16	14	13	12	9	10
11.	17	15	15	14	13	13	12	10	10	9	8,5	8
13.	9	8	8,5	7,5	8	7,3	7,5	7	7	6,5	6	6
17.	6	5,8	5,8	5,5	5,6	5,3	5,4	5,1	5,2	5	5	4,9
19.	5	5,1	4,8	4,8	4,5	4,6	4,3	4,2	4,1	4,1	4	4
23.	3,8	3,8	3,7	3,7	3,6	3,6	3,5	3,5	3,4	3,4	3,3	3,3
25.	3,5	3,5	3,4	3,4	3,2	3,2	3	3	2,8	2,8	2,5	2,5

Harmonik Derecesi	Eğitim-7		Eğitim-8		Eğitim-9		Eğitim-10		Eğitim-11	
	B4	B8	B4	B8	B4	B8	B4	B8	B4	B8
5.	38	37	33	27	27	23	23	18	17	14
7.	23	18,5	20	17	17	15	14	13	11	10,5
11.	15,5	14,5	14	13,5	12,5	12	11	9,5	9	8,5
13.	8,7	7,7	8,3	7,45	7,7	7,1	7,3	6,7	6,5	6,3
17.	5,9	5,7	5,7	5,4	5,5	5,2	5,3	5,05	5,1	4,95
19.	4,85	5	4,6	4,7	4,35	4,4	4,2	4,15	4,05	4,05
23.	3,75	3,75	3,65	3,65	3,55	3,55	3,45	3,45	3,35	3,35
25.	3,45	3,45	3,3	3,3	3,1	3,1	2,9	2,9	2,6	2,6

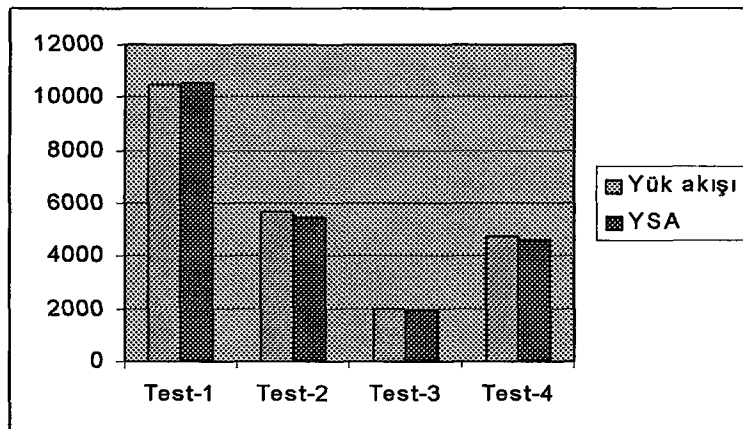
Çizelge 6.7 Örnek sistem için temel bileşenin %si cinsinden YSA test değerleri

Harmonik Derecesi	Test-1		Test -2		Test -3		Test -4	
	B4	B8	B4	B8	B4	B8	B4	B8
5.	38	35	27	24	16	15	26	21
7.	24	19	20	15	10	11	14,3	13,5
11.	17	16	16	12	9	8,5	11,1	9,7
13.	8,3	7,8	8	7,2	6,5	6,2	7,6	6,5
17.	5,9	5,7	5,5	5,2	5,3	5,1	5,7	5,2
19.	4,7	5	4	5	4,15	4,25	5,2	5
23.	3,75	3,8	3,5	3,4	3,35	3,38	4	3,8
25.	3,45	3,48	2,6	2,8	2,7	2,7	3,5	2,7

Çizelge 6.8 Harmonik spektrum yüzdelere göre ek kayıpların yük akışı değerleri ile YSA'nın karşılaştırılması

Örnekleme Testleri	Yük akış sonucu (W)	YSA (W)	Hata Oranı (%)
Test-1	10493,51	10531,32	-0,36
Test-2	5691,88	5444,85	-4,3
Test-3	1996,4	1941,53	-2,7
Test-4	4763,69	4614	-3,14

Çizelge 6.8'da YSA'ndan elde edilen sistemin toplam güç kayıplarının, harmonikli yük akış çalışmasıyla elde edilen sonuçlara çok az hata değerleriyle yaklaşıklık gösterdiği görülmektedir (Şekil 6.2). Elde edilen YSA çıkış değerlerinden ortalama %2.625 hata iyi sonuçlar vermiştir. Bu da başarı oranının % 97 olduğu sonucunu ortaya çıkarmaktadır.



Şekil 6.2 Dengeli durumda ek kayıpların, yük akışı ve YSA sonuçları

Dengeli yük durumu için harmonik ek kayıpların, distorsiyon faktörlerinin verilmesi halinde yine 11 ayrı veri kümesi için eğitime işlemine başlanmıştır. İterasyon sayısı 100.000 alınmıştır. Yapılan analizler sonucu $n_i=16$, $n_h=2;1010$, $n_o=1$ düğümlü dört (bir giriş, iki gizli (her katmanda 10 düğüm), bir çıkış katmanı) katmana sahip bir YSA modeli seçilmiştir. Bu hesaplama için $\varepsilon = 0.9$ ve $\alpha = 0.7$ olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 6.9’da gösterilmiştir.

Çizelge 6.9 Harmonik distorsiyon yüzdelerine göre ek kayıpların yük akışı değerleri ile YSA’nın karşılaştırılması

Örnekleme Testleri	Yük akış sonucu (W)	YSA (W)	Hata Oranı (%)
Test-1	10493,51	11475,12	+9,35
Test-2	5691,88	5932,41	+4,2
Test-3	1996,4	2327,3	+16
Test-4	4763,69	4649,4	+2,3

Dengeli yük durumu için yük baralarının (B4 ve B8) gerilim değerlerinin, harmonik spektrumların temel bileşenin %si cinsinden verilmesi halinde, hesaplanması amacıyla YSA eğitime verileri DIGSilent harmonik akış programı ile elde edildikten sonra 11 ayrı veri kümesi için eğitime işlemine başlanmıştır. İterasyon sayısı 100.000 alınmıştır. Yapılan analizler sonucu $n_i=16$, $n_h=18$, $n_o=1$ düğümlü üç katmana sahip bir YSA modeli seçilmiştir. Bu hesaplama için $\varepsilon = 0.7$ ve $\alpha = 0.7$ olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 6.10’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.10 Harmonik spektrum yüzdelerine göre yük baralarının (B4 ve B8) gerilim değerlerinin yük akışı değerleri ile YSA’nın karşılaştırılması

	B4 Bara Gerilimi (Volt)			B8 Bara Gerilimi (Volt)		
	Yük akışı	YSA	Hata Oranı (%)	Yük akışı	YSA	Hata Oranı (%)
Test-1	54,26	54,02	-0,4	101,77	99,62	2,1
Test-2	45,81	44,78	-2,24	81,66	81,51	0,18
Test-3	32,60	32,05	-1,67	65,58	64,11	2,24
Test-4	41,76	40,26	-3,5	75,23	76,46	+1,63

Diğer taraftan simülasyonda kullanılan ve sadece lineer ve dengeli sistemler için harmonik akış yapabilen programdan elde edilen sonuçların YSA'da eğitilmesiyle dengesiz durumdaki ek kayıpların hesabı da gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 6.11'de verilmiştir. Ayrıca yük akışı ve YSA sonuçlarını karşılaştırma amacıyla sütun grafiği de verilmiştir (Şekil 6.3).

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 kümesi sırasıyla I_R ; I_S ; $I_T/1,2;1;0,8$ şeklinde alınmıştır. Dengeli ve dengesiz işletme durumlarında oluşan ek kayıpların karşılaştırması Çizelge 6.12'de verilmiştir.

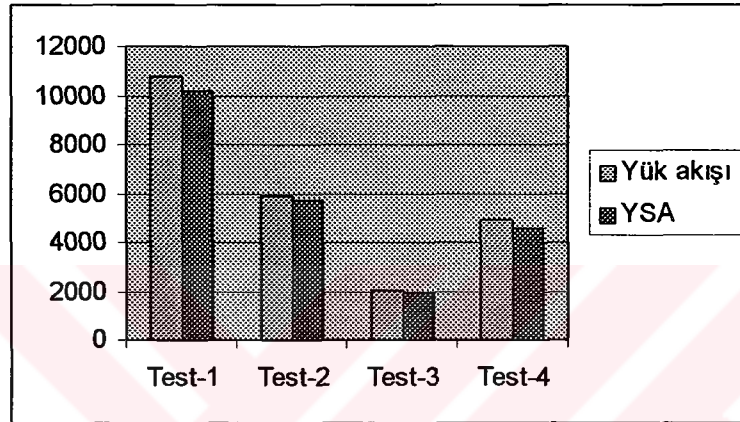
Dengesiz yüklenme hali için YSA eğitme verileri DIGSilent harmonik akış programı ile elde edildikten sonra 11 ayrı veri kümesi için, harmonik spektrumların temel bileşenin %si cinsinden verilmesi halinde, eğitme işlemine başlanmıştır. İterasyon sayısı 100.000 alınmıştır. Yapılan analizler sonucu $n_i=48$,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

Çizelge 6.11 Örnek sistem için dengeli ve dengesiz işletme durumlar için güç kayıpları

Eğitim Modu	Dengeli İşletme Durumunda Kayıp Değerleri (W)	Dengesiz İşletme Durumunda Kayıp Değerleri (W)
Eğitim-1	11.758,93	12.075,81
Eğitim-2	10.466,40	10.745,32
Eğitim-3	8.721,36	8.954,70
Eğitim-4	7.670,04	7.869,51
Eğitim-5	6.393,90	6.564,71
Eğitim-6	5.266,41	5.408,57
Eğitim-7	4.515,28	4.635,58
Eğitim-8	3.801,82	3.902,94
Eğitim-9	2.899,00	2.976,07
Eğitim-10	2.162,48	2.220,05
Eğitim-11	1.729,44	1.755,39

Çizelge 6.12 Dengesiz yük durumu için harmonik distorsiyon yüzdelere göre ek kayıpların yük akışı değerleri ile YSA'nın karşılaştırılması

Örnekleme Testleri	Yük akış sonucu (W)	YSA (W)	Hata Oranı (%)
Test-1	10797,16	10164,64	-5,86
Test-2	5838,62	5699,66	-2,38
Test-3	2049,62	1992,20	-2,85
Test-4	4891,21	4585,50	-6,25



Şekil 6.3 Dengesiz durumda ek kayıpların, yük akışı ve YSA sonuçları

Sayısal uygulamanın ikinci kısmında örnek sistemin B8 yük barasına konması düşünülen hem pasif filtre (sadece 5. ve 7. harmonikleri süzen) hem de aktif (25. harmoniğe kadar süzme yapabilen) filtrenin maliyet analizi yapılmıştır. B4 ve B8 yük baralarındaki harmonikli yüklerin temel bileşenin yüzdesi cinsinden verilen harmonik değerleri Çizelge 6.12'de verilmiştir.

Çizelge 6.12 Filtre maliyet analizi için seçilen harmonik değerleri

Harmonik Derecesi	Yük Baraları	
	B4	B8
5.	30	25
7.	12	9
11.	10	8
13.	8	6
17.	7	5
19.	5,5	4,1
23.	4	3,5
25.	3,2	3,4

Pasif filtrenin ve aktif filtrenin ilk kuruluş maliyeti (satın alma maliyeti ya da başlangıç maliyeti) Bölüm 5’de verilen bilgilere ve verilere dayanılarak hesap edilmiştir. Hesaplamalardan elde edilen sonuçlar, ülkemizdeki enflasyonist konjoktürü dikkate almamız nedeniyle Alman Markı (DM) cinsinde ifade edilmiştir.

Pasif filtre sadece 5. ve 7. harmonikleri süzmek üzere tasarlanmıştır. 5. harmonik için pasif filtre maliyeti 12971,33 DM, 7. harmonik için filtre maliyeti 10575 DM bulunmuştur; yani toplam olarak . Aynı sisteme bütün harmonikleri süzmek üzere konulan aktif filtrenin yatırım maliyeti ise 65176,47 DM bulunmuştur.

Bölüm 5’de verilen bilgilere ve verilere dayanılarak sisteme konulması düşünülen pasif filtrenin kayıp enerji tutarı, bir yıl (12 ay) sonrası üzerinden bugüne indirgenerek hesap edilmiştir. Bu profilde aylık elektrik enerji tarifesinin ortalama %5 şeklinde arttığı varsayılmıştır. Aylık faiz oranı ise ortalama olarak %7 alınmıştır. Filtre bulunan sistemin günde 12 saat devrede kaldığı düşünülmüştür. Yapılan hesaplar sonucunda pasif filtrenin toplam 32,444 kWh/gün değerinde, aktif filtrenin ise 124,8 kWh/gün değerinde bir kayıp enerji harcaması yaptığı bulunmuştur.

Sistemin ayda 30 gün çalıştığının varsayıldığı ve enerji birim fiyatının 19500 TL (Eylül 1998 itibariyle) olduğu durumda pasif filtrenin bir yıl üzerinden bugüne indirgenmiş toplam kayıp enerji tutarı 192.644.361 TL, aktif filtrenin ise 741.031.200 TL şeklinde bulunmuştur. Pasif filtre ve aktif filtrenin maliyet analizi sonuçları Çizelge 6.13’da verilmiştir.

Çizelge 6.13 Pasif filtre ile aktif filtrenin maliyet karşılaştırması

Kriter	Pasif Filtre*	Aktif Filtre
Ekonomik ömür	200.000 saat	200.000 saat
Yatırım maliyeti	23546,33 DM	65176,47 DM
Enerji harcaması	32,44 kWh/gün	124,8 kWh/gün
Bir yıl üzerinden bugüne indirgenmiş kayıp enerji tutarı	192.644.361 TL	741.031.200 TL

* Pasif filtrede verilen ömür kondansatör içindir ve filtre hesabı sadece 5. ve 7. harmonikler için yapılmıştır.

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Elektrik enerji sistemlerinde her geçen gün sayısı ve dolayısıyla da etkisi artan harmonik kaynakların yol açtığı ek kayıpların ve bara gerilimlerinde harmonik distorsiyonların bilinmesi büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla güç sistem çalışmalarında geniş bir uygulama sahası olan yapay sinir ağları (YSA) ile hem dengeli hem de dengesiz durumlar için ek kayıplar ve bara gerilimleri hesap edilmiştir. Ayrıca harmoniklerin yok edilmesi için artık kurulmaları bir gereklilik haline alan filtrelerin (hem pasif hem de aktif filtre) maliyet analizi yapılmıştır.

Enerji sistemlerinin genel analizi içinde harmonik etkinliklerinin ne derece etkili olduğunu ve güç sistem ekonomisi içinde filtre maliyetlerini ve ek kayıp enerji maliyetini araştırmaya yönelik bu çalışma, tanıtıcı Giriş bölümü dışında altı bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünde genel tanıtım dışında mevcut çalışmaları içeren Literatür araştırmasına da yer verilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde kullanılan YSA yöntemi ve tarihçesi hakkında ayrıntılı bir anlatım yapılmış ve günümüze kadar elektrik güç sistemleri üzerine yapılan YSA çalışmaları incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda çalışmaların yaklaşık % 70'nin çok katmanlı perceptron ağ algoritmasından yararlanılarak gerçekleştirildiği ortaya çıkmıştır. Çalışmada kullanılan geriye-yayılım algoritması adım adım incelenmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde harmoniklerin matematiksel tanımı verilmiş ve genel kavramlar üzerinde durulmuştur. Bugünkü ve gelecekte varsayılan harmonik kaynakları özetlenmiş ve harmonik kaynaklarının güç sistemleri üzerindeki etkinlikleri geniş bir perspektif altında açıklanmıştır.

Çalışmanın dördüncü bölümünde bir enerji sisteminde harmoniklerin süzülmesi için filtre devresi tasarımının genel ilkeleri konulmuştur. Hem aktif hem de pasif filtre için genel kavramlar üzerinde durulmuştur ve her iki tip filtre tasarımının karşılaştırması yapılmıştır.

Çalışmanın beşinci bölümünde harmonik kayıp analizi için bir prosedür verilmiş ve mühendislik ekonomisinden bilinen yöntemler, aktif filtre ve pasif filtre maliyet analizine uyarlanmıştır. Kayıp enerji maliyeti için formüller çıkarılmıştır.

Çalışmanın altıncı bölümünde 5. Bölümde ortaya konulan problem tasarımına ait 2. Bölüm'de anlatılan YSA yöntemi sayısal uygulama gerçekleştirilmiştir. Sayısal uygulamada toplam 8 baralı ve 154/0,4 kV luk indirici transformatör üzerinden beslenen non-lineer yükleri içeren bir enerji sistemi göz önüne alınmıştır. Bu bölümde güç iletim sistemindeki güç kayıplarının ve harmoniklerden dolayı bara gerilim değerlerinin çevrimdışı analizi için YSA tabanlı bir yaklaşımın tasarımını yapılmıştır. Güç iletim sistemlerindeki dengeli ve dengesiz durumlar için ek güç kaybı ve bara harmonik distorsiyonu değerlendirmesi yapılmıştır. Hatlardaki kayıpların ve bara gerilimlerinin YSA ile değerlendirilmesi harmonik spektrumu ve toplam harmonik distorsiyonu verilerine göre yapılmıştır. YSA, bir güç sistemindeki harmonik spektrumları ve sistem kayıpları arasında karmaşık planlama ilişkilerini ortaya koymak için eğitildi ve kullanıldı. Geleneksel harmonikli yük akış analizi ve YSA yolu ile elde edilen sistemin aktif güç kayıplarının grafiksel olarak karşılaştırması Şekil 6.2'de gösterilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi eğitilmiş YSA'nın hedef değerlere ulaşmadaki başarısı yaklaşık olarak % 97 oranındadır. 4. Bölüm'de temel esasları verilen pasif ve aktif filtre için örnek bir harmonik spektrumu için maliyet analizi yapılmıştır. Söz konusu hesaplamalara esas olan DIGSilent programının örnek çıktıları EK-1'de, YSA programının yazılımı ise EK-2'de verilmiştir.

Bu çalışma ile yapılan başlıca yenilikler ve elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir:

1. Sayısal uygulama bölümünde Çizelge 6.8, Çizelge 6.10 ve Çizelge 6.12'den görüldüğü gibi elde edilen sonuçlar sunulan YSA esaslı tekniğin, üzerinde çalışılan sistem için tatminkar biçimde bulgular elde ettiği ve diğer sistemlere uygulama için de bir potansiyele sahip olduğu gösterilmiştir.
2. Sadece dengeli sistemler için harmonikli yük akış analizi yapabilen bir yazılımdan elde edilen sonuçlar yardımıyla dengesiz sistemler içinde kısa sürede bir ek kayıp analizi ve

bara harmonik gerilimlerinin analizi gerçekleştirilebilmektedir. Elde sonuçlar Çizelge 6. 'dan görüleceği gibi oldukça uygundur.

3. C++ dilinde yazılmış olan YSA algoritması, ölçülmüş veya hesaplanmış değişkenlerin kullanımıyla güç kayıplarının çevrim-içi hesaplamaları için kullanılabilir. Bu, sistem tasarım ve planlamasının çevrim-dışı simülasyon çalışmaları için de kolaylık sağlar. (Çevrim-içi hesaplamalar sadece sistem kontrol merkezine iletilmesi gereken iletim ağından ölçülmüş verileri kullanarak eğitilmiş YSA'nın ileri uygulamasını içerir).
4. YSA tasarımı bir kez gerçekleştirildikten sonra, geleneksel yük akış analizindeki gibi sistemin tüm verilerine ihtiyaç duymadan (empedans değerleri, admitans değerleri gibi) güç kayıp analizi ve bara gerilimleri analizi yapma yeteneğine sahiptir. YSA genelleştirme ve paralel bilgi işleme yeteneğine sahip olduğundan dolayı hızlı ve doğru cevap verir. Çünkü eğitilmiş YSA'nın test etme fazından yararlanılarak çok kısa bir sürede -sadece YSA giriş değerleri bilgisayara verilene kadar geçen sürede- sistemin istenen verileri (bu çalışmada güç kayıpları ve bara gerilimleri) bulunabilmektedir.
5. YSA ile yapılan bu yaklaşım doğruluğu arttırmak için çok fazla giriş verisi ve iterasyon sayısı içermesine rağmen, diğer hesaplama ve yaklaşım yöntemlerine alternatif bir hesaplama yöntemi olarak sunulabilir.
6. YSA'nın bir konuda ve olaydaki verilerden hareketle önceki bilgileri bilme bile sonuç çıkarma yetenekleri de vardır. Çünkü YSA, klasik programlama mantığı ile çalışmaz. YSA'nın geliştirilmesi, bildiğimiz yazılım geliştirmeye benzemez. Zaten aralarındaki en büyük fark, ağların bir işi yapmaları için eğitime gereksinim duymalarıdır. YSA'da eğitme işlevleri, değişkenlerin tanımlanması, çevrimlerin oluşturulması, şartların tespiti ve bunların testi ile bir derleyici üzerinde çalıştırma veyahut ta yazılan kodun "debug" (hata analizi) edilmesi gibi işlemleri gerektirmezler. YSA'da bütün bunların yerini veri seçimi, eğitme prosedürleri ve analiz almıştır. Ortaya konulan çalışma bu özellikleri taşıyan simülasyon sonuçlarını vermektedir.

7. Çok sayıda kaynak taranarak oldukça geniş bir yelpazede YSA'nın güç sistemlerinde uygulama alanlarının anlatıldığı Bölüm 2.8.2, bu konuda araştırma yapmak isteyenler için bir referans/baz oluşturacak ve başka tür uygulamalar için esin kaynağı olacaktır.
8. Harmonik kayıpların mertebesi, harmonikli yüklerin sayısına, güç mertebelerine, harmonik mertebelerine (n) ve akımların dalga biçimlerine dolayısıyla I_n/I_1 oranlarına bağlıdır.
9. Faz akımlarının dengesiz olması, harmonik kayıplarını daha da artırmaktadır (Çizelge 6.11)
10. Harmonik kayıplara karşılık düşen kayıp enerjinin ekonomik değeri, işletmenin yıllık (dönemlik) yüklenme eğrisi ile enerji tarifi olan [TL/kWh] ile yakından ilgilidir.
11. Mevcut Teknik Şartname ve Yönetmeliklerde -metal ergitme tesisleri dışında- işletmelerin harmonikleri denetleme veya sınırlamalarına yönelik koşullar yer almadığı için, harmonik kayıplara karşılık düşen kayıp enerji ekonomik bir kayıp olarak gözükmemektedir.
12. Harmonik kayıpların analizinde bu kayıpların belirlenmesine ve etkili bir şekilde kontrolüne ilişkin uygulanacak adım-adım işlem sırasını içeren bir prosedür ortaya konmuştur (Bölüm 5.1).
13. Bir yıl boyunca harmoniklerden kaynaklanan iletim hatlarında ve fiderlerde oluşan ek harmonik kayıplar ile transformatördeki en önemli kayıp olan demir kayıplarından oluşan "ek kayıp enerji" (E') ifadesi genelleştirilmiştir (Denklemler 5.5). Harmoniklerin optimum olarak azaltılmasının veya yok edilmesinin ek kayıpları azaltacağı açıktır.
14. Harmoniklerin süzülmesi için ön görülen aktif filtre ve pasif filtrenin teknik yönden (Bölüm 4.4.2) ve ekonomik yönden (Çizelge 6.12) karşılaştırması yapılmıştır.

15.Harmoniklerin süzülmesi için ön görülen filtrelerin seçilmesi için uygulanacak işlem sırası ve dikkate alınacak konuları içeren bir prosedür sunulmuştur (Bölüm 4.2.3).

16.Harmoniklerin süzülmesi için ön görülen pasif filtre (Denklem 5.14) ve aktif filtre (Denklem 5.21) için maliyet fonksiyonları formüle edilmiştir. Ayrıca pasif filtrenin enerji kayıp ifadesi çıkartılmıştır (Denklem 5.16).

17.Pasif filtrenin “Aylık Kayıp Enerji Maliyeti (AKEM)” tanımlanmış (Denklem 5.18) ve bir yıl sonu itibariyle “şimdiki değer yöntemi”ne göre formüle edilmiştir (Denklem 5.20).

18.Ek harmonik kayıpların maliyeti özellikle enerji sisteminin büyüklüğüne (hat uzunluklarını artması, kublaj etkisinin ve deri etkisinin artması dolayısıyla), transformatör sayısına, güç talebine ve rezonans şartlarının oluşma olasılığına bağlıdır.

YSA destekli harmonik yük akış analizini ortaya koyan bu çalışma sonucunda, gelecekteki benzer çalışmalara yönelik olarak aşağıdaki önerilerden söz edilebilir:

1. Gelecekteki çalışmalarda daha büyük güç iletim sistemlerine uygulanmasında kullanılmak üzere sunulan kavramın giriş değişkenlerinin sayısını azaltma yolları aranmalıdır. Bunu başarmanın bir yolu da uygun giriş değerlerini kullanabilmektir. Herhangi bir analizi yapılırken tam bir yargıya ulaşmak için değişik yük durumları, farklı topolojiler ve çeşitli işletme kodları göz önüne alınmalıdır.
2. YSA çok sayıda verinin işlenmesini, böylelikle öğrenme fazındaki verilerin olabildiğince çok olmasını gerektiren bir çözümleme tekniğidir. Bu nedenle göz önüne alınacak enerji sistemiyle ilgili çok sayıda ölçüm veya kayıt bazında harmonik verisinin (spektrum bilgisi) olması, YSA analizinin tahmin yeteneğini son derece arttıracaktır.
3. YSA analizine esas olacak “harmonik yük akışı” yazılımının;
 - Maksimum bara sayısı

- Maksimum harmonik mertebesi
- Hem dengeli hem de dengesiz yük akışı yapabilme özelliği

bakımlarından sınırlayıcı özellikleri bulunmamalıdır. Böylece YSA analizi de sınırlayıcı faktörlere bağlı kalmaksızın her enerji sistemine kolaylıkla uyarlanabilir.

4. Gerek harmonik yük akışı gerekse YSA yazılımının sorunsuz kullanılabilmesi için eldeki bilgisayarın en az “Pentium-II 300 MHz” işlemcili ve hardiskte yaklaşık olarak 1 GB boş yer özelliklerine sahip olması gerekir; aksi halde özellikle veri işleme süresi uzun zaman alabilir.
5. YSA analizi çerçevesinde en uygun öğrenme algoritmasının “Geriye Yayılım Algoritması (Backpropagation Algorithm)” olduğu tespit edilmiştir. Bu algoritma ile harmonik verilerinin girişi ve sistem büyüklüklerinin (hat kayıpları ve bara gerilimleri) tahmini etkin olarak gerçekleştirilebilmektedir.
6. Göz önüne alınacak enerji sisteminde bara sayısı (n -bara) ile non-lineer yüklerin sayısı (n -yük) belirli bir değerin üstünde ise (n -yük >10 ve n -bara >10 ise) harmonik DATA’nın YSA’ya öğretilmesi çok fazla zaman alacağından ve hatalı veri girişine neden olacağından, veri girişlerinin planlı bir şekilde bir grup tarafından yapılması düşünülmelidir.
7. Harmonik analizi ve YSA bileşimi yaklaşımı orta ve yüksek gerilimli şebekelerde olduğu kadar alçak gerilim şebekelerinde de kullanılabilir; bu durumda alçak gerilim şebekelerinin genel varsayımlarını kabul eden (örneğin şönt kaçak kapasiteleri ihmal eden) harmonik analizi yazılımları kullanılmalıdır.
8. Bu çalışma ile ortaya konulan < Harmonik Yük Akışı Analizi → Çıkış Sonuçları → YSA Analizi → Tahmin Değerleri → Sonuçların Karşılaştırılması > yaklaşımı yalnızca nonlineer yükleri bulunduran elektrik şebekeleri için değil, diğer alanlar için de uygulanabilir. Bu alanlar içinde -gerekli yazılım ile ölçme/gözlem/test verileri mevcut olmak koşuluyla- aşağıdakiler sayılabilir:

- Yeraltı boru (petrol veya doğalgaz) hatlarında çevredeki elektrik şebekeleri tarafından endüklenecek akımların analizi
- Bir güzergahta trafik yoğunluğunun analizi
- Elektrik enerji sistemlerinin çevresel etkileri (termik santrallarda baca gazı emisyonu, enerji iletim hatlarının ozon yayımı ve manyetik alanların etkisi gibi vb.)

Gelecekte ülkemizde daha da önemli bir konu gelecek olan harmonikler ve etkinliklerini en aza indirmeye yönelik olarak da şu önerilere yer verilebilir:

1. Harmoniklerin yalnızca işletmelerin iç fiderlerinde ve besleme transformatörlerinde etkili olmayıp ulusal enerji (dağıtım) ağına da geçebilmesi dikkate değer bir inceleme konusudur. Enterkonnekte sistem üzerindeki nonlineer yükler, lineer baraları da etkilemekte ve bu tür baralar da harmonik bileşen içermek zorunda kalmaktadır. Bu ise tüketici haklarına yeni bir boyut getirmektedir. Harmonik çekmeyen tüketiciler sinüsoidal olmayan gerilim seviyeleriyle beslenmek durumunda kalacaklardır. Ayrıca şebeke üzerinde ek harmonik kayıplara karşılık düşen kayıp enerjinin maliyeti ulusal veya özel enerji kurumunca ödenecektir.
2. Gerek günümüzde gerekse ileriki yıllarda nonlineer yüklerin kullanımının artması nedeniyle ortaya çıkacak problemlerin (Bölüm 2) önüne geçmek için Ulusal veya Özel Elektrik Şebekesi Kurumları tarafından şu çalışmalar yürütülebilir:

- Harmonikli yük çekecek veya çekmekte olan tüketicilere diğer ülkelerde olduğu gibi tüketicilerin I_n/I_1 ($n=2,3,\dots$) oranlarına sınırlamalar getirilmelidir. Bu sınırlama, güç kompanzasyonuna benzer şekilde bir yaptırım şeklinde ilgili Yönetmeliğe veya projelendirme esaslarına alınabilir. Örneğin; işletmelerin yılda en az bir kere yapılacak ölçümlerle (izin verilen özel kuruluş ve birimlerce) harmonik oluşturup oluşturmadığı veya THD seviyesi belirlenebilir, belirlenen şartlara uygun olmayan işletmelere filtre koyma zorunluluğu getirilebilir.
- Harmonikli yükleri olan ve bu nedenle harmonikli akım çeken tüketicilerin söz konusu ek harmonik kayıp enerji maliyetinin karşılanması için işletmelerin onaylı ölçüm sonuçlarını (THD düzeyi) sayaç okuma memuruna göstermesi ve filtresi

olmayanlara normalde uygulanan tarife fiyatlarının (TL/kWh), THD düzeyinde arttırılması öngörülebilir. Bunun içinde örneğin bir “tarife düzeltme faktörü” tanımlanabilir.

- Filtre koyacak işletmeler için filtre standardizasyonu da getirilmelidir. Örneğin harmonik spektrum değerlerinin ve günlük veya aylık seyrine göre pasif filtre veya aktif filtre önerilebilir.
- Harmoniklere ve filtrelere yönelik standardizasyonun ülkemiz için güncel hale gelmesiyle, işletmelerin harmonik mertebeleri ölçüm yoluyla belirlenebilecek ve “bölgesel harmonik kaynaklar haritası” ortaya çıkabilecek ve daha etkin bir enerji yönetimi sağlanabilecektir.



KAYNAKLAR

Abbasy, N.H. ve Soliman, S.A., (1996), "Artificial Neural Network Application to Economic Operation of All Thermal Power Plants", Meleceon'96 8th Mediterranean Electrotechnical Conference, May 13-16, Bari, Italy.

Akagi, H., (1995), "New Trends in Active Filters," ENE-95 Sevilla.

Aggoune, M., El-Sharkawi, M.A., Park, D.C., Damborg, M.J. ve Marks, R.J., (1991), "Preliminary Results on Using Artificial Neural Network for Security Assessment ", IEEE Trans. Power Syst., Vol. 6: 890-896.

Aggoune, M.E., (1989), "Artificial Neural Networks for Static System Security Assessment", Proc. IEEE Int. Symp. Circuits and Systems (ISCAS), Portland, USA.

Ametani, A., (1972), "Generalized Method of Harmonic Reduction in a.c.- d.c. Converter by Harmonic Current Injection", Proc. IEE, 116: 1730,1734.

Arrillaga, J., Bradley, D.A. ve Bodger, P.S., (1985), Power System Harmonics, John Wiley&Sons, New York.

Auckland, D.W., Pickup, I.E.D., Shuttleworth, R. ve Zhou, C., (1995), "Artificial Neural Network-Based Method for Transient Response Prediction", IEE Proc. - Generation Transmission Distribution, Vol. 142, No. 3: 323-329.

Aybers, N ve Şahin, B., (1995), Enerji Maliyeti, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayını, Yayın No: 299, İstanbul.

Baggot, A.J., (1974), "The Effects of Waveshape Distorsion on the Measurement of Energy by Tariff Meters", Int. Conf. on Sources and Effects of Power Systems Disturbances, April 22-24, London.

Belmans, R.J.M., Hondt, L.D., Vandenput, A.V. ve Geysen, W., (1987), "Analysis of the Audible Noise of Three-phase Squirrel-Cage Induction Motor", IEEE Trans. on Industry Application, Vol. IA-23, No. 5: 842-847.

Bialasiewicz, J.P., Proano, J.C. ve Wall, E.T., (1989), "Implementation of Intelligent Controller Using Neural Network State Estimator", Proc. IEEE Int. Symp. Intelligent Control, USA.

Bird, B.M., Marsh, J.F. ve McLellan, P.R., (1969), "Harmonic Reduction in Multiplex Convertors by Triple-frequency Current Injection", Proc. IEE, 116: 1730-1734.

Blank, L.T. ve Tarquin, A.T., (1983), Engineering Economy, McGraw-Hill.

Blum, A., (1992), Neural Networks in C++, John Wiley & Sons, New York.

Bradley, D.A. ve Grindrod, S.J., (1982), "The Influence and Measurement of Harmonics on an Industrial System", IEE Conf., Publ., 210: 136-141.

Brown, P.J., (1990), Computerized Simulation and Measurement of Power system Harmonics, Ph.D. Thesis, Inst. of Science and Technology, ITU.

Burke, J.J., (1994), Power Distribution Engineering Fundamentals and Applications, Marcel Dekker Inc, NewYork.

Carpenter, G.A. ve Grossberg, S., (1991), Pattern Recognition by Self-Organizing Neural Networks, MIT Press, Cambridge, MA.

Chan, E.H., (1989), "Application of Neural Network Computing in Intelligent Alarm Processing", IEEE Proc. PICA Conf., Seattle WA, USA.

Chaudhry, S.R., Ahmed-Zaid, S. ve Demerdash, N.A., (1995), "An Artificial Neural Network Method for the Identification of Saturated Turbogenerator Parameters Based on a Coupled Finite-Element/State-Space Computational Algorithm", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 10, No. 4: 625-633.

Chen, C.R. ve Hsu, Y.Y., (1990), "Synchronous Machine Steady-State Stability Analysis Using an Artificial Neural Network", IEEE PES Summer Power Meeting, Paper No. 90 SM 430-9 EC.

Chen, C.R. ve Hsu, Y.Y., (1991), "Synchronous Machine Steady-State Stability Analysis Using an Artificial Neural Network", IEEE Trans. Energy Convers., No. 6: 12-20.

Chen, S.T., Yu, D.C. ve Moghaddamjo, A.R., (1991), "Weather Sensitive Short-Term Load Forecasting Using Non-Fully Connected Artificial Neural Network", IEEE PES Summer Power Meeting, Paper No. 91 SM 449-9 PWRs.

Chow, J.C., Fischl, R., Kam, M., Yan, H.H. ve Ricciardi, S., (1990), "An Improved Hopfield Model for Power System Contingency Classification", Proc. IEEE Int. Symp. Circuits and Systems (ISCAS), New Orleans, USA.

Chow, M.Y. ve Yee, S.O., (1990a), "Real-time Application of Artificial Neural Networks for Incipient Fault Detection of Induction Machines", Proc. Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems (IEA/AIE), Charleston, USA.

Chow, M.Y. ve Yee, S.O., (1990b), "Application of Neural Nets to Incipient Fault Detection in Induction Motors", J. Neural Net Comput., Vol. 2 (3): 115-121.

Chow, M.Y. ve Yee, S.O., (1991), "Methology for on-line Incipient Fault Detection in Single Phase Squirrel Cage Induction Motors Using Artificial Neural Networks", IEEE Trans. Energy Convers., No. 6: 536-545.

Chow, M.Y., Magnum, P. ve Thomas, R.J., (1988), "Incipient Fault Detection in DC Machines Using a Neural Network", Proc. 22nd Conf. Signals, Systems and Computers, Vol. 2: 706-709.

Chow, M.Y., Yee, S.O. ve Thomas, R.J., (1989), "Neural Networks Synchronous Machine Modeling", Proc. IEEE Int Symp. Circuits and Systems, Portland, USA.

Clinker, C.R., (1914), "Harmonic Voltage and Currents in Y and Delta Connected Transformers, Trans, AIEE, Vol. 33: 723-334.

Curtis, L., (1914), "The Effect of Delta and Star Connection upon Transformer Wave Forms" Trans, AIEE, Vol. 33: 1273-1282.

Dalstein, T., Friedrich, T., Kulicke, B. ve Sobajic, (1996), "Multi Neural Network Based Fault Area Estimation for High Speed Protective Relaying", Meleceon'96 8th Mediterranean Electrotechnical Conference, May 13-16, Bari, Italy.

Dash, P.K., Liew, A.C. ve Rahman, S., (1996), "An Adaptive Linear Combiner for On-Line Tracking of Power System Harmonics", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 11, No. 4: 1730-1735.

Dash, P.K., Liew, A.C. ve Ramakrishna, G., (1995), "Power-demand Forecasting Using a Neural Network with an Adaptive Learning Algorithm", IEE Proc. - Gener. Trans. Distrib., Vol. 142, No. 6: 560-568.

Defty, J.W. ve Maples, G.C., (1970), "Harmonic Measurement Facility for Power Systems", Proc. IEE, 117: 199.

Djukanovic, M., Novicevic, M., Dobrijevic, D.J., Babic, B., Sobajic, D.J. ve Pao, Y.H., (1995), "Neural-net Based Coordinated Stabilizing Control for the Exciter and Governor Loops of Low Head Hydropower Plants", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 10, No. 4: 760-767.

Dugan, R.C., McGranaghan, M.F. ve Beaty, H. W., (1996), Power Systems Quality, McGraw-Hill.

Dwyer, R., Khan, A.K., McCluskey, R.K. ve Sung, R., (1995), "Evaluation of Harmonics Impacts from Compact Fluorescent on Distribution Systems", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 10, No. 4: 1772-1780.

Ebron, S., (1988), "A Neural Network Processing Strategy for the Detection of High Impedance Faults", M.S. Thesis, Electr. and Comput. Eng. Dep., North Caroline State Univ., USA.

Ebron, S., Lubkeman, D.L. ve White, M., (1990), "A Neural Network Approach to the Detection of Incipient Faults on Power Distribution Feeders", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 5 (2): 905-914.

El-Sharkawi, M.A., Marks II, R.J., Aggoune, M., Park, D.C., Damborg, M.J. ve Atlas, L.E., (1989), "Dynamic Security Assessment of Power Systems Using Back Error Propagation Artificial Neural Network", Proc. of 2nd Sym. on Expert Systems Application to Power Systems, Seattle, USA.

Emanuel, A. E., (1990), "Powers in Nonsinusoidal Situations a Review of Definitions and Physical Meaning", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. PWRD-5, No. 3: 1377-2213.

Emanuel, A.E. ve Wang, X., (1985). "Estimation of Loss of Life of Power Transformers Supplying Nonlinear Loads", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-104, No.3: 628-636.

Emanuel, A.E. ve Yang, M., (1993), "On the Harmonic Compensation in Nonsinusoidal Systems", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. PWRD-8, No.1: 393-399.

Emanuel, A.E., Levitsky, F.J. ve Gulachenski, E.N., (1981), "Induction Watthour Meter Performance on Rectifier/Inverter Circuits", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, No.11: 4422-4427.

Emanuel, A.E., Yang, M. ve Pileggi, D.J., (1991), "The Engineering Economics of Power Systems Harmonics in Subdistribution Feeders: A Preliminary Study", IEEE Trans. on Power Systems, No. 6: 1092-1097.

Eryürek, E. ve Upadhyaya, B.R., (1990), "Sensor Validation for Power Plants Using Adaptive Back-propagation Neural Networks", IEEE Trans. Nucl. Sci., 37 (1): 1040-1047.

Eşiyok, E., Hocaoglu, A.T. ve Dumanlı, M., (1995), "Güç Sistemlerinde Yapay Sinir Ağları ile Yük Tahmin Analizi" Elektrik Müh. 6. Ulusal Kongresi, 11-17 Eylül, Bursa.

Feria, Y. J., McPherson, J.D. Bursa ve Rolling, D.J., (1991), "Cellular Neural Networks for Eddy Current Problems", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 6 (1): 187-191.

Feser, K., Braun, U., Engler, F. ve Maier, A., (1991), "Application of Neural Networks in Numerical Busbar Protection Systems", Proc. 1st Int. Forum an Applications of neural networks to Power Systems, Seattle, USA.

Fischl, R., Kam, M., Chow, J.C. ve Ricciardi, S., (1989), "Screening Power System Contingencies Using a Back-Propagation Trained Multiperceptron", Proc. IEEE Int. Symp. Circuits and Systems (ISCAS), Portland, USA.

Flaten, D.L., (1988), "Distribution System Losses Calculated by Percent Loading," IEEE PWRS, Vol. 3, No. 3, August.

Freeman, J. A. ve Skapura, D. M., (1991), "Neural Networks: Algorithms, Applications and Programming Techniques", Addison-Wesley, Reading, MA.

Freeman, P.J., (1968), Electric Power Transmission and Distribution, George G. Harrap&Co. LTD., London.

Fuchs, E.F., Roesler, D.J. ve Kovacs, K.P., (1986), "Aging of Electrical Appliances due to Harmonics of the Power System's Voltage", IEEE Trans. on Power Delivery Vol. PWRD-1, No.3: 301-307.

Gee, A.H., Aiyer S. V. B. ve Prager, R. W., 1991. "Neural Networks and Combinatorial Optimization Problems - The key to a Successful Mapping", Tech. Rep. No. CUED/F-INFENG/TR 77, Cambridge Univ. Engineering Dept., Cambridge, UK.

Ghosh, A.K. ve Lubkeman, D.L., (1995), "The Classification of Power System Disturbance Waveforms Using a Neural Network Approach", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 10, No. 1: 109-115.

Gonzales, D.A., (1987), "Design of Filters to Reduce Harmonic Distortion in Power Systems Harmonics", IEEE Trans. on Industry Application, Vol. IA-23, No.3: 504-511.

Grady, W.M. ve Heydt, G.T., (1985), "Prediction of Power System Harmonics due to Gaseous Discharge Lighting", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-104: 554-561.

Gruzs, T.M., (1990), "A Survey of Neutral Currents in Three-Phase Computer Power Systems", IEEE Trans. on Industry Application, Vol. IA-26, No. 4: 719-725.

Gustafson, M. M. ve Baylor, J. S., (1989), "Approximating the System Losses Equation," IEEE PWRS, Vol. 4, No. 3, August.

Gustafson, M. M., Baylor, J. S. ve Mulnix, S.S., (1988), "The Equivalent Hours Loss Factors Revisited," IEEE PWRS, Vol. 3, No. 4, November.

Gutierrez, Wang, J. ve Grandin, R.D., (1989), "Estimating Hidden Units for Two Layer Perceptrons", Proceeding of the 1st. International Conference on Artificial Neural Networks, London, U.K.

Hammerstrom, D., (1993), "Working with Neural Networks" IEEE Spectrum, July, 46-53.

Harashima, F., Demizu, Y., Kondo, S. ve Hashimoto, H., (1989), "Application of Neural Networks to Power Converter Control", Conf. Rec. 24th IEEE IAS Annu. Meeting, Part 1.

Hartana, R.K. ve Richards, G.G., (1990), "Harmonic Source Monitoring and Identification Using Neural Networks", IEEE Trans. Power System, No. 5: 1098-1104.

Hartana, R.K. ve Richards, G.G., (1993), "Constrained Neural Network-based Identification of Harmonic Sources", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 29, No.1: 202-208.

Hebb, O., (1949), The Organization of Behavior, John-Wiley, New York.

Hecht-Nielsen, R., (1989), Neurocomputing, Addison-Wesley, San Diego.

Heuman, K., (1986), Basic Principles of Power Electronics, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Heydt, G.T., Kish, D.J., Holcomb, F. ve Hill, Y., (1991), "A Methodology for Assessment of Harmonic Impact and Compliance with Standards for Distribution Systems", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. PWRD-6, No. 4: 1748-1754.

Heydt, G.T., Kish, D.J., Holcomb, F. ve Hill, Y., 1991. "A Methodology for Assessment of Harmonic Impact and Compliance with Standards for Distribution Systems, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. PWRD-6, No.4: 1748-1754.

Highley, D.D. ve Hilmes, T.J., (1993), "Load Forecasting by ANN", IEEE Computer Applications in Power, July.

Ho, K.L., Hsu, Y.Y. ve Yang, C.C., (1992), "Short-term Load Forecasting Using a Multilayer Neural Network with an Adaptive Learning Algorithm", IEEE Tran. on Power Systems, Vol. 7(1): 141-149.

Horton, W.F. ve Goldberg, S., (1985), "The Effect of Harmonics on the Operating Points of Electromechanical Relays", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-104, No. 5: 1178-1186.

Hassoun, M.H., (1995), Fundamentals of Artificial Neural Networks, The MIT Press, London, England.

Hsu, Y.Y. ve Chen, C.R., (1991), "Tuning of Power System Stabilizers Using an Artificial Neural Network", IEEE Trans. Energy Convers., No. 6: 612-619.

Hsu, Y.Y. ve Huang, H.M., (1995), "Distribution System Service Restoration Using the Artificial Neural Network Approach and Pattern Recognition Method", IEE Proc. - Gener. Trans. Distrib., Vol. 142, No.3: 251-256.

Hsu, Y.Y. ve Jeng, L.H., (1995), "Damping of Subsynchronous Oscillations Using Adaptive Controllers Tuned by Artificial Neural Networks", IEE Proc. Gener. Trans. Dist., Vol. 142, No. 4: 415-422.

Hsu, Y.Y. ve Yang, C.C., (1991a). "Design of Artificial Neural Network for Short - term Load Forecasting, Part I: Self-organizing Feature Maps for Day Type Identification", Proc. Inst. Electr. Eng., Part C, 138: 407-413.

Hsu, Y.Y. ve Yang, C.C., (1991b), "Design of Artificial Neural Network for sSort - term Load Forecasting, Part II: Multi-layer Feedforward Networks for Peak Load and Valley Load Forecasting", Proc. Inst. Electr. Eng., Part C, 138: 414-418.

Hwang, M.S., Grady, W.M. ve Sanders, H.W., (1987), "Distribution Transformer Winding Losses due to Nonsinusoidal Currents", IEEE Trans. on Power Delivery Vol. PWRD-2: 140-146.

IEC 1000-4-7, (1991), "Part 4: Testing and Measurement Techniques - General on Harmonics Measurement and Instrumentation for Power Supply Systems and Equipment", Section 7: 17-57.

IEEE Standard 519, (1992), "Recommended Practice for Harmonic Control and Reactive Compensation in Power Systems".

IEEE Working Group on Power System Harmonics, (1983), "Power Systems: An Overview", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-102, No. 8: 2455-2460.

IEEE Working Group on Power System Harmonics, (1985), "Power Line Harmonic Effects on Communication Line Interference", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-104, No. 9: 2578-2582.

Iwamoto, S., Kinoshita, M. ve Liu, C.C., (1993), "Artificial Neural Network Application to Voltage Stability Considering Power System Configuration", Proc. of 4th Sym. on Expert Systems Application to Power Systems, Melbourne, Australia.

Izumi, Y. ve Taoka, H., (1989), "Neural Network and Its Application to Power System", Electr. Eng. in Japan., 109-D: 230.

İnan, A ve Attar, F., (1997), "Gerilim Distorsiyonu Üzerinde Kompakt Fluoresan Işık Kaynaklarının ve Elektronik Balastların Etkileri ve Ekonomik Analizleri", Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 7. Ulusal Kongresi, 8-14 Eylül 1997, Ankara.

İnan, A ve Attar, F., (1997), "Güç Sistemlerinde Harmoniklerin Etkileri ve Bir Harmonik Kontrol Kart Modeli", Kaynak Elektrik, Nisan 1997, Sayı 98: 130-144.

İnan, A ve Attar, F., (1997), "Harmonik İçeren Devrelerde Kompanzasyon Hesabı", Bursa IV. Elektromekanik Sempozyumu-ELMEKSEM'97, 17-21 Aralık 1997, Bursa.

İnan, A ve Attar, F., (1998), "The Life Expectancy Analysis for an Electric Motor due to Harmonics", Melecon'98, 18-20 May 1998, Tel-Aviv-İsrail.

Jones, B.W., (1982), "Inflation in Engineering Economy Analysis", John Wiley and Sons.

Joseph, S, Subjack, J.R. ve McQuilkin, J.S., (1990), "Harmonics-Causes, Effects, Measurements and Analysis: An Update", IEEE Trans. on Industrial Application, Vol. IA 26, No. 6: 1034-1041.

Jost, F.A., Menzies, D.F. ve Sachdev, M.S., (1974), "Effect of System Harmonics on Power System Relays", Power System Committee Meeting, Canadian Electrical Association.

Kalra, P.K., Srivastava, S.C., Joshi, S.K., Kumar, N. ve Wagneo, R., (1993), "Artificial Neural Network Based Load Flow Models", Proc. of 4th Sym. on Expert Systems Application to Power Systems, Melbourne, Australia.

Kandil, N., Sood, V.K., Khorasani, K. ve Patel, R.V., (1992), "Fault Identification in an AC-DC Transmission System Using Neural Networks", *Trans. on Power Systems*, 7(2): 812-819.

Kanekar, A. ve Feliachi, A., (1990), "State Estimation Using Artificial Neural Networks", *Proc. 22nd Southeastern Symp. System Theory*, CS Press, CA.

Kanemitsu, T., Ohsawa, Y. ve Arai, K., (1993), "Application of Artificial Neural Network to Power System Stabilization by SMES", *Proc. of 4th Sym. on Expert Systems Application to Power Systems*, Melbourne, Australia.

Kanoh, H., Kaneta, M. ve Kanemaru, K., (1988), "Study on Fault Location System for Transmission Lines Using Neural Networks", *System Control Study Group, Inst. Electr. Eng. Japan.*, SC-88-22: 53.

Kanoh, H., Kaneta, M. ve Kanemaru, K., (1991), "Fault Location for Transmission Lines Using Inference Model Neural Networks", *Electr. Eng. Japan.*, 3 (7): 84-93.

Karunakaran, R. ve Karady, G., 1991. "Artificial Neural Network as a Dispatcher's Aid in Alarm Processing", *Proc. 1st Int. Forum on Applications of neural networks to Power Systems*, Seattle, USA.

Kawann, C. ve Emanuel, A.E., (1996), "Passive Shunt Harmonics for Low and Medium Voltage: A Cost Comparison Study", *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 11: 1825-1831.

Kermanshahi, B., Yokoyama, R. ve Takahashi, K., (1996), "Intelligent Forecasting of Distribution System Loads", *Meleceon'96 8th Mediterranean Electrotechnical Conference*, May 13-16, Bari, Italy.

Khanna, T., (1990), "Foundations of Neural Networks", Addison-Wesley, Reading, MA.

Khapearde, S.A., Kale, P.B. ve Agarwal, S.H., (1991), "Application of Artificial Neural Network in Protective Relaying of Transmission Lines", *Proc. 1st Int. Forum on Applications of Neural Networks to Power Systems*, Seattle, USA.

Kim, Y.S., Eom, J.K. ve Park, J.H., (1991), "Economic Power Dispatch for Piecewise Quadratic Cost Function Using Hopfield Neural Network", *IEE Int. Conf. Proc. No.348 on Advances in Power System Control, Operation and Management*, Hong Kong.

Klingshrin, E.A. ve Jordan, H.E., (1968), "Polyphase Induction Motor Performance and Losses on Non-Sinusoidal Voltage Sources", *IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-87: 624-631.

Kohonen, T., (1987a), *Content-Addressable Memories*, Springer, Berlin, 2nd edn.

Kohonen, T., (1987b), *Self-organization and Associative Memory*, Springer, Berlin, 2nd edn.

- Kou, F.F., (1966), *Network Analysis and Synthesis*, John Wiley.
- Kraft, T., (1991), "Hybrid Neural Net Rule Based System for Boiler Monitoring and Diagnosis", *Proc. Am. Power Conf.*, 53(2): 952-957.
- Kreysing, E., (1966), *Advanced Engineering Mathematics*, 2nd edn., John Wiley.
- Kusters N.L. ve Moore, W.J.M., (1980), "On the Definition of Reactive Power with Non-sinusoidal Conditions", *IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-99, No. 5: 1845-1854.
- Lakervie, E. ve Holmes, E.J., (1989), *Electricity Distribution Network Design*, Peter Peregrinus Ltd. London, UK.
- Lamedica, R., Mazzaro, M., Modesto, C. ve Prudenzi, A., (1996a), "Enhancing the Performances of a Basic Neural Network Tool for Short-term Forecasting of Italian Electric Load", *Meleceon'96 8th Mediterranean Electrotechnical Conference*, May 13-16, Bari, Ital.
- Lamedica, R., Prudenzi, A., Caciotta, M. ve Orsolini, V., (1996b), "The Influence of Meteorological Parameters on Italian Electric Hourly Load: the Selection of Variables of the ANN Training Set for Short Term Load Forecasting", *Meleceon'96 8th Mediterranean Electrotechnical Conference*, May 13-16, Bari, Italy.
- Lander, C.W., (1981), *Power Electronics*, McGraw Hill.
- Lee, K.Y., Cha, Y.T. ve Park, J.H., (1990), "Artificial Neural Network Methodology for Short-term Load Forecasting", *NSF Workshop ANN Methodology in Power System Engineering*, Clemson, SC, USA.
- Lee, K.Y., Cha, Y.T., Park, J.H., Kurzyn, M.S., Park. D.C. ve Mohammed, O.A., (1992), "Short- term Load Forecasting Using an Artificial Neural Network ", *IEEE Trans. Power Syst.*, Vol. 7 (1): 124-132.
- Lippman, R. P., (1987), "An Introduction to Computing with Neural Nets," *IEEE ASSP Magazine*, April, 4-22.
- Magnum, P., (1990), "A Neural Network Approach to Real-time Detection of Incipient Faults in Induction Motors", *M.S. Thesis*, North Caroline State Univ., USA.
- Maifeld, T. ve Sheble, G., 1994. "Short-term Load Forecasting by a Neural Network and a Refined Genetic Algorithm", *Elec. Power System Research* , No. 31: 147-152.
- Makram E.B., Haines R.B. ve Girgis A.A., (1992), "Effect of Harmonic Distortion in Reactive Power Measurement", *IEEE Trans. on Industrial Application*, Vol. 28, No. 4: 782-787.

Mammone, R. J. ve Zeevi, Y., (1991), *Neural Networks: Theory and Applications*, Academic Press, New York.

Marpaka, D.R., Bodruzzaman, M., Devgan, S.S., Aghili, S.M. ve Kari, S., (1994), "Neural Network Based Transient Stability Assessment of Electric Power Systems", *Electric Power Systems Research*, No. 30: 251-256.

Martzloff, F. ve Thomas, G., (1988), "Power Quality Site Surveys", *IEEE Trans. on Industrial Application*, Vol. 24, No. 6.

Mathur, A. ve Samad, T., 1990. "Neural Networks- a Tutorial for the Power Industry", *Proc. Am. Power Conf.*, 52: 239-244.

McClaren, P.G. ve Redfern, M.A., (1975), "Fourier Series Techniques Applied to Distance Protection", *Proc. IEE*, Vol. 122:1301-1305.

Meliopoulos, A.P. ve Martin, M.A. (1992), "Calculation of Secondary Cable Losses and Ampacity in the Presence of Harmonics", *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. PWRD-7, No. 2: 451-459.

Mirzai, A. R., (1990), *Artificial Intelligence: Concepts and Applications in Engineering*, MIT Press, Cambridge, MA.

Mohan, N., Undeland, T.M. ve Robbins, W.P., (1989), *Power Electronic*, John Wiley&Sons.

Mori, H., (1991), "Application of a Revised Boltzman Machine to Topological Observability Analysis", *Proc. 1st Int Forum on Applications of Neural Networks to Power Systems*, Seattle, USA.

Mori, H. ve Tsuzuki, S., (1989), "Power System Topological Observability Analysis Using a Neural Network Model", *Proc. 2nd Symp. Expert System Applications to Power Systems*, Seattle, WA, USA.

Mori, H., Tamaru, Y. ve Tsuzuki, S., (1992a), "An Artificial Neural-Net Technique for Power System Dynamic Stability with the Kohonen Model", *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 7 (2): 856-864.

Mori, H., Itou, K., Ucmatsu, H. ve Tsuzuki, S., (1992b). "An Artificial Neural-Net Based Method for Predicting Power System Voltage Harmonics", *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 7 (1): 402-409.

Mori, H., Kitani, N. ve Tsuzuki, S., (1991), "Optimal Power Flow Calculation Using the Hopfield Net", *Proc. 3rd Sym. on Expert Systems Application to Power Systems*, Japan.

Mori, H., Ucmatsu, H., Tsuzuki, S., Sakuraj, T., Kojima, Y., ve Suzuki, K., (1989), "Identification of Harmonic Loads in Power Systems Using an Artificial Neural Networks", Proc. of 2nd Sym. on Expert Systems Application to Power Systems, Seattle.

Murphy, J.M.D. ve Turnbull, F.G., (1988), Power Electronic Control of AC Motor, Pergamon Press.

Nadira, R., Wu, F. F., ve Maratukulam, D. J., (1993), "Bulk Transmission System Losses Analysis," IEEE PWRs, Vol. 8, No. 2.

Napoli, R. ve Piglion, F., (1996), "On-line Static Security Assessment of Power Systems by a Progressive Learning Neural Network", Meleceon'96 8th Mediterranean Electrotechnical Conference, May 13-16, Bari, Italy.

Neigur D. ve Germond, A.J., (1992), "Power System Static Security Assessment Using the Kohonen Neural Network Classifier". IEEE Trans. on Power System, Vol. 7(2): 865-872.

Neily, G., Barone, R., Josin, G. ve Charney, D., (1991), "Joint VAR Controller Implemented in an Artificial Neural Network Environment", Proc. 1st Int. Forum on Applications of Neural Networks to Power Systems. Seattle, USA.

Nguyen, T.T., (1995), "Neural Network Load Flow" IEE Proceedings Generation Trans. and Distr., Vol. 142 (1): 51-58.

Nishimura, K. ve Aral, M., (1990), "Power System State Evaluation by Structured Neural Networks", Proc. Int. Joint Conf. Neural Networks (IJCNN), San Diego, CA, USA.

Ogi, H., Tanaka, Y., Akimoto, Y. ve Izui, Y., (1991), "Fault Diagnosis System for GIS Using an Artificial Neural Networks", Proc. 1st Int. Forum on Applications of Neural Networks to Power Systems, Seattle, USA.

Ortmeyer, T.H., Chakravarthi, K.R. ve Mahmoud, A.A., (1985), "The Effects of Power Systems Harmonics on Power System Equipment and Loads", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-104, No. 9: 2555-2563.

Osowski, S., (1992), "Neural Network for Estimation of Harmonic Components in a Power System", IEE Proceeding - C Generation Transmission and Distribution, Vol. 139, Iss 2: 129-135.

Özmetler, E., (1989), "Yapay Nöral Ağları", Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Pao, Y. H., (1989), Adaptive Pattern Recognition and Neural Networks, Addison-Wesley, Reading, MA.

Pao, Y.H. ve Sobajic, D.J., (1992), "Combined Use of Unsupervised and Supervised Learning for Dynamic Security Assessment", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 7 (2): 878-884.

Pao, Y.H. ve Sobajic, D.J., (1988), "Autonomous Feature Discovery for Critical Clearing Time Assessment", Proc. 1st Symp. Expert Syst. Applications to Power Systems (ESAPS), Stockholm, Sweden, and Helsinki, Finland.

Park, D.C., El-Sharkawi, M.A., Marks, R.J., Atlas, L.E. ve Damborg, M.J., (1991), "Electric Load Forecasting Using an Artificial Neural Network", IEEE Trans. Power System, Vol. 6: 442-449.

Peng, T.M., Hubele, N.F. ve Karady, G.G., (1993), "An Adaptive Neural Network Approach to One-Week Ahead Load Forecasting" IEEE Transactions on Power Syst. Vol. 8, No.3: 1195-1203.

Pileggi, D.J., Chandra, N.H. ve Emanuel, A.E., (1981), "Prediction of Harmonic Voltages in Distribution Systems", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, No. 3: 1307-1315.

Ranaweera, D.K. ve Karady, G., (1993), "Power System Static Security Analysis Using Radial Basis Function Neural Network", Proc. of 4th Sym. on Expert Systems Application to Power Systems, Melbourne, Australia.

Ranaweera, D.K., Hubele, N.F. ve Palexopoulos, A.D., (1995), "Application of Radial Basis Function Neural Network Model for Short-term Load Forecasting", IEE Proceedings Generation Trans. and Distr., Vol. 142 (1): 45-50.

Rao, N.D. ve Vankayala, V. S., (1993), "An Intelligent Front end for Fact Maintenance and Electric Utility Planning", Proc. Can. Conf. Electrical and Computer Engineering, Quebec, Canada, Vol. II: 67.2.1-67.2.4.

Rao, S, (1996), EHV-AC and HVDC Transmission Engineering and Practice, Khanna Publishers, Delhi.

Read, J.C., (1945), "The Calculation of Rectifier and Inverter Performance Characteristic", IEE, Pt II, 92: 495.

Roh, M.S., Chean, S.W. ve Chang, S.H., (1991a), "Thermal Power Prediction of Nuclear Power Plants Using Neural Network and Parity Space Model" IEEE Trans. Nucl. Sci., 38 (2): 866-872.

Roh, M.S., Chean, S.W. ve Chang, S.H., (1991b), "Power Prediction in Nuclear Power Plants Using a Back-propagation Learning Neural Network", Nucl. Technol., Vol. 94 (2): 270-278.

Sagar, V., Vankayala, S. ve Rao, N.D., (1993), "Artificial Neural Network and Their Applications to Power Systems - A Bibliographical Survey", Electric Power Systems Research, No. 28: 67-79

Sanchez-Sinencio, E. ve Lau, L., (1992), Artificial Neural Networks, IEEE Press, Piscataway, NJ.

Santoso, N.I. ve Tan, O.T., (1990), "A Neural Network based Real-time Control of Capacitors Installed on Distribution Systems", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 5(1): 266-272.

Sasaki, H., Watanabe, M., Kubokawa, J., Yorino, N. ve Yokoyama, R., (1991), "A Solution Method of Unit Commitment by Artificial Neural Networks", IEEE PES Summer Power Meeting Paper No. SM 437-4 PWRS.

Schildt, Herbert., (1987), C++: The Complete Reference, McGraw-Hill, Berkeley-California.

Sequier, G., (1986), Power Electronics Converters (AC-DC Conversion), North Oxford Academic Publishers Ltd.

Shepherd, W. ve Zand P., (1979), Energy Flow and Power Factor in Nonsinusoidal Circuits, Cambridge University Press.

Shipp, D.D., (1979), "Harmonic Analysis and Suppression for Electrical Sytems Supplying Static Power Converters and Other Nonlinear Loads", IEEE Trans. on Industrial Application, Vol. IA-15, No. 5: 453-458.

Shuter, T.C., Vollkommer, H.T. ve Kirkpatrick, T.L., (1989), "Survey of Harmonic Level on the American Electric Power Distribution System", IEEE Trans. on Power Delivery Vol. PWRD-4, No. 4: 2204-2213.

Sidhu, T.S. (1995), "On-line Evaluation of Capacity and Energy Losses in Power Transmission Systems by Using Artificial Neural Networks", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 10, No. 4: 1913-1919.

Sobajic, D.J. ve Pao, Y.H., (1989), "Artificial Neural-net Based Dynamic Security Assessment for Electric Power Systems", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 4(1): 220-228.

Sobajic, D.J., (1988), "Artificial Neural Networks for Transient Stability Assessment of Electric Power Systems", Ph.D. Thesis, Case Western Univ., Cleveland, USA.

Song, Y.H., Johns, A.T. ve Xuan, Q.Y., (1996), "Radial Basic Function Neural Networks for Fault Diagnosis in Controllable Series", Meleceon'96 8th Mediterranean Electrotechnical Conference, May 13-16, Bari, Italy.

Srinivasan D., Liew, A.C. ve Chang, C.S., (1994), "A Neural Network Short-Term Load Forecaster", Elec. Power Syst. Research, Vol. 28(3): 227-234.

Sun, D. I. H., Abe, S., Shoults, R. R., Chen, M. S., Eichenberger, P. ve Farris, D., (1980), "Calculation of Energy Losses in a Distribution System," IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-99, No. 4.

Tai, H.M., Wang, J. ve Ashenayi, K., (1990), "DC Motor Speed Control Using Neural Networks", Proc. SPIE- Applications of Artificial Neural Networks, Orlando, FL. USA.

Tsai, H., Keyhani, A., Demcko, J.A. ve Selin, D. A., (1995), "Development of a Neural Network Based Saturation Model for Synchronous Generator Analysis", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 10, No. 4: 617-624.

Uhrig, R.E., 1991. "Potential Applications of Neural Networks to Nuclear Power Plants", Proc. Am. Power Conf., 3 (2): 946-951.

Van, W.J., (1993), Power Quality, Power Electronics and Control, The European Power Electronics Association.

Vankayala, V. S. S. ve Rao, N. D., (1993a), "Artificial Neural Networks and Their Applications to Power Systems- a Bibliographical Survey", Electric Power Systems research, No. 28: 67-79.

Vankayala, V. S. S. ve Rao, N. D., (1993b), "Fast Contingency Screening Through Optimizing Hopfield Neural Networks", Conf. Electrical and Computer Engineering, Vancouver, Canada.

Wagner, V.E. ve IEEE Task Force, (1993), "Effects of Harmonics on Equipment", IEEE Trans. on Power Delivery Vol. PWRD-8, No. 2: 672-680.

Wallance, A.K., Spree, R. ve Martin, L.G., (1990), "Current Harmonics and Acoustic Noise in AC Adjustable-Speed Drives", IEEE Trans. on Industry Application, Vol. IA-26, No.2: 267-273.

Wan, H.B., Song, Y.H. ve Johns, A.T., (1996), "Identification of Voltage Weak Buses/Areas Using Neural Network Based Classifier", Meleceon'96 8th Mediterranean Electrotechnical Conference, May 13-16, Bari, Italy.

Wang, C.Y., Ouyang, Z., Shahedipour, S.M. ve Deeb, N., (1990), "Unit Commitment by Neural Networks", Proc. Am. Power Conf., No. 52: 245-250.

Wasserman, P. D., (1989), "Neural Computing: Theory and Practice", Van Nostrand Reinhold, New York.

Watanabe, E.H., Stephan, R.M. ve Aredes, M., (1993), "New Concepts of Instantaneous Active and Reactive Powers in Electrical Systems with Generic Loads", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. PWRD-8, No. 2: 697-703.

Weerasooriya, S., ve El-Sharkawi, M.A., (1991), "Identification and Control of a DC Motor Using Back-propagation Neural Networks," IEEE Trans. Energy Convers., No. 6: 663-669.

Weerasooriya, S. ve El-sharkawi, M.A., (1992), "Towards Static-security Assessment of a Large-scale Power System Using Neural Networks", IEE Proceedings-C Generation Trans. and Distr., Vol. 139(1): 64-70.

Wehenkel, L. Ve Akella, V.B., (1993), "A Hybrid Decision Tree-Neural Network Approach for Power System Dynamic Security Assessment," Proc. of 4th Sym. on Expert Systems Application to Power Systems, Melbourne, Australia.

White, J.A., (1989), Principles Engineering Economic Analysis, John Wiley and Sons.

Wong, K.P., (1993), "Artificial Intelligence an Neural Applications in Power Systems", IEE 2nd Int. Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management, December, Hong Kong.

Wong, K.P. ve Lau, B.S., (1989), "Fault Distance Estimation in Transient Stability Assessment: an Artificial Neural Network Approach", Proc. of 4th Sym. on Expert Systems Application to Power Systems, Melbourne, Australia.

Wong, K.P., Lim, W., Ta, N.P. ve Attikuouzel, Y., (1991), "Neural Network Transient Stability Assessment of a Single Machine System under Asymmetrical Fault Conditions," IEE Int. Conf. Proc. on Advances in Power Systems Control, Operation and Management, Hong Kong.

Wong, K.P., Phuoc, T.N. ve Attikuouzel Y., (1990), "Transient Stability Assessment for Single-Machine Power Systems Using Neural Networks", IEEE Conf. Computer and Communication Systems, Hong Kong.

Wu, Q.H., Hogg, B.W. ve Irwin, G.W., (1992), "A Neural Network Regulator for Turbo Generators", IEEE Trans. Neural Networks, No. 3: 95-100.

Yan, H.H., Chow, J.C., Kam, M., Fischl, R. ve Sepich, C.R., (1991), "Hybrid Expert System/Neural Network Hierarchical Architecture for Classifying Power System Contingencies", Proc. 1st Int. Forum on Applications of Neural Networks to Power Systems, Seattle, USA.

Yang, H.T., Chang, W.Y. veHuang, C.L., (1994), "A New Neural Networks Approach to on-line Fault Section Estimation Using Information of Protective Relays and Circuit Breakers", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 9, No. 1: 220-229.

Yang, H.T., Chang, W.Y. ve Huang, C.L., (1995), "Power System Distributed on-line Fault Section Estimation Using Decision Tree Based Neural Nets Approach", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 10, No. 1: 540-546.

Zhang , Y., Malik, O.P. ve Chen, G.P., (1995), "Artificial Neural Network Power System Stabilizers in Multi-Machine Power System Environment", IEEE Trans.on Energy Conversion, Vol. 10, No. 1: 147-153.

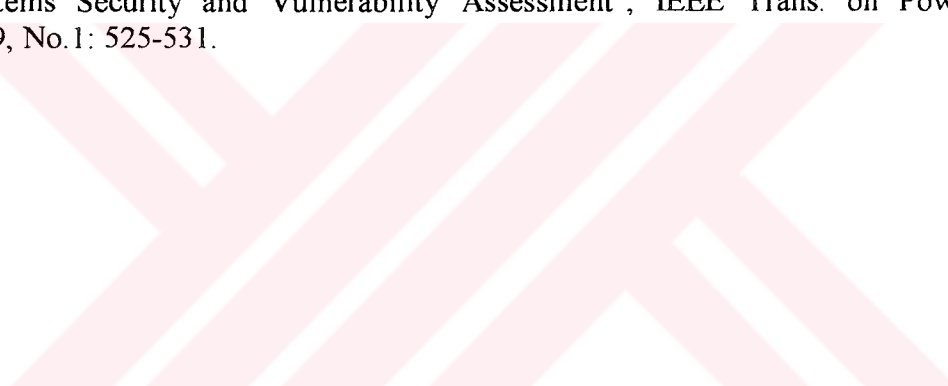
Zhang, Y., Chen, G.P., Malik, O.P. ve Hope, G.S., (1993a), "An Artificial Neural Network Based Adaptive Power System Stabilizer", IEEE Trans. on Energy Convers., Vol. 8, No.1: 71-77.

Zhang, Y., Chen, G.P., Malik, O.P. ve Hope, G.S., (1993b), "A Multi-Input Power System Stabilizer Based on Artificial Neural Networks", IEEE WESCANEX 93, Communications, Computers and Power in the Modern Environment Conf. Proceedings, New York, NY, USA.

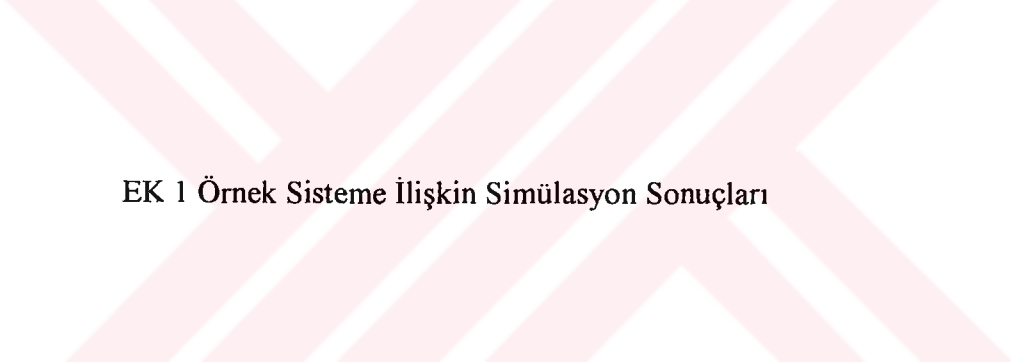
Zhang, Y., Malik, O.P. ve Hope, G.S., Chen, G.P., (1994), "Application of an Inverse Input-Output Mapped ANN as a Power System Stabilizer", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 9(3): 433-441.

Zhengxiang, H. ve Fushuan, W., (1991), "A kind of Generalized Hopfield Continuous Model and its Application to the Optimal Distribution of Reactive Power Sources in Power Systems", Proc. 3rd Sym. on Expert Systems Application to Power Systems, Japan.

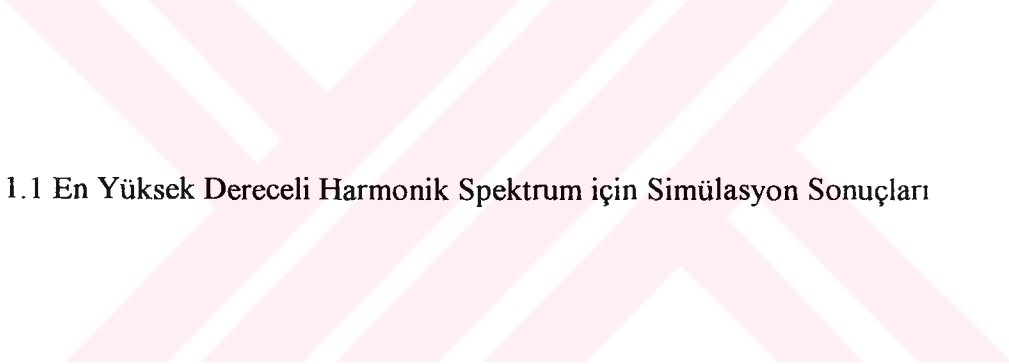
Zhou, Q, Davidson, J. ve Fouad, A.A., (1994), "Application of Artificial Neural Networks in Power Systems Security and Vulnerability Assessment", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 9, No.1: 525-531.



EKLER



EK 1 Örnek Sisteme İlişkin Simülasyon Sonuçları



EK 1.1 En Yüksek Dereceli Harmonik Spektrum için Simülasyon Sonuçları

DigSILENT					
Table A Harmonic load flow calculation Annex /1					
Area: Areal Frequency: 250. Hertz Bus-Data					
No	Bus	rtd. V [KV]	Harm - voltage [V]	voltage [grd]	Uk/rt. V [%]
1	B1	154.00	1807.73	-132.73	2.03
2	B2	34.50	404.98	-132.73	2.03
3	B3	34.50	411.66	41.33	2.07
4	B4	.40	35.14	82.56	15.22
5	B5	154.00	1960.98	-133.50	2.21
6	B6	34.50	439.31	-133.50	2.21
7	B7	34.50	223.00	33.62	1.12
8	B8	.40	59.18	85.48	25.62

Table A		Harmonic load flow calculation		Annex:	/	2
Area: Areal		Frequency: 250. Hertz		Line-Data		
No	from bus i	(No) to bus j	(No)	> sending end > [A]	< receiving end < [A]	[deg]
1	B2	/ 2 B3	/ 3	13.242	136.158	13.975
2	B2	/ 2 B6	/ 6	13.242	-43.842	-23.494
3	B3	/ 3 B7	/ 7	5.587	94.360	8.126
4	B6	/ 6 B7	/ 7	8.126	137.038	21.397
					24.938	135.918
						-36.648

Table A		Harmonic load flow calculation		Annex:	/	3
Area: Areal		Frequency: 250. Hertz		Transformer-Data		
No	from bus i	(No) to bus j	(No)	> sending end > [A]	< receiving end < [A]	[deg]
1	B2	/ 2 B1	/ 1	.000	.000	.000
2	B4	/ 4 B3	/ 3	1068.750	12.391	180.000
3	B6	/ 6 B5	/ 5	.000	.000	.000
4	B8	/ 8 B7	/ 7	400.000	4.638	180.000

DIgSILENT					
Table A Harmonic load flow calculation Annex: /1					
Area: Areal		Frequency: 350. Hertz			Bus-Data
No	Bus	rtd. V [KV]	Harm - voltage [V] [grd]		Uk/rt. V [%]
1	B1	154.00	220.66	97.84	.25
2	B2	34.50	49.43	97.84	.25
3	B3	34.50	55.97	-77.17	.28
4	B4	.40	24.03	88.37	10.40
5	B5	154.00	288.85	95.68	.32
6	B6	34.50	64.71	95.68	.32
7	B7	34.50	65.06	-86.68	.33
8	B8	.40	39.56	88.11	17.13

Table A Harmonic load flow calculation										Annex:	/	2
Area: Areal		Frequency: 350. Hertz		Line-Data								
No	from bus	(No)	to bus	j	(No)	> sending end >		< receiving end <				
	i					[A]	[deg]	[A]	[deg]			
1	B2	/	2	B3	/	3	2.905	5.565	2.616	-4.684		
2	B2	/	2	B6	/	6	2.905	-174.435	1.367	-172.945		
3	B3	/	3	B7	/	7	4.282	2.859	3.693	9.888		
4	B6	/	6	B7	/	7	1.367	7.055	1.464	-154.324		

Table A Harmonic load flow calculation										Annex:	/	3
Area: Areal		Frequency: 350. Hertz		Transformer-Data								
No	from bus	(No)	to bus	j	(No)	> sending end >		< receiving end <				
	i					[A]	[deg]	[A]	[deg]			
1	B2	/	2	B1	/	1	.000	.000	.000	.000		
2	B4	/	4	B3	/	3	593.750	.000	6.884	180.000		
3	B6	/	6	B5	/	5	.000	.000	.000	.000		
4	B8	/	8	B7	/	7	200.000	.000	2.319	180.000		

DigSILENT				
Table A		Harmonic load flow calculation		Annex: /1
Area: Areal		Frequency: 550. Hertz		Bus-Data
No	Bus	rtd. V [KV]	Harm - voltage [V] [grd]	Uk/rt. V [%]
1	B1	154.00	68.40 -17.29	.08
2	B2	34.50	15.32 -17.29	.08
3	B3	34.50	107.63 -48.07	.54
4	B4	.40	25.44 87.30	11.02
5	B5	154.00	454.54 -47.41	.51
6	B6	34.50	101.83 -47.41	.51
7	B7	34.50	56.12 140.54	.28
8	B8	.40	47.90 89.47	20.74

Table A Harmonic load flow calculation										Annex:	/	2
Area: Areal										Line-Data		
No	from bus	(No)	to bus	(No)	j		> sending end >	[A]	< receiving end <	[deg]		
i												
1 B2	/	2 B3	/	3			6.447	-135.947	1.453	-70.741		
2 B2	/	2 B6	/	6			6.447	44.053	1.798	49.528		
3 B3	/	3 B7	/	7			4.420	18.076	6.943	32.121		
4 B6	/	6 B7	/	7			1.798	-130.472	5.547	-138.283		

Table A Harmonic load flow calculation										Annex:	/	3
Area: Areal										Transformer-Data		
No	from bus	(No)	to bus	(No)	j		> sending end >	[A]	< receiving end <	[deg]		
i												
1 B2	/	2 B1	/	1			.000	.000	.000	.000		
2 B4	/	4 B3	/	3			403.750	.000	4.681	180.000		
3 B6	/	6 B5	/	5			.000	.000	.000	.000		
4 B8	/	8 B7	/	7			150.000	.000	1.739	180.000		

DigSILENT				
Table A	Harmonic load flow calculation			Annex: /1
Area: Areal	Frequency:	650. Hertz	Bus-Data	
No	Bus	rtd. V [KV]	Harm - voltage [V] [grd]	Uk/rt. V [%]
1	B1	154.00	23.63 79.78	.03
2	B2	34.50	5.29 79.78	.03
3	B3	34.50	4.32 -49.81	.02
4	B4	.40	16.44 89.21	7.12
5	B5	154.00	56.91 -88.99	.06
6	B6	34.50	12.75 -88.99	.06
7	B7	34.50	1.26 131.53	.01
8	B8	.40	29.95 89.06	12.97

Table A		Harmonic load flow calculation		Annex:		/		2	
Area: Areal		Frequency: 650. Hertz		Line-Data					
No	from bus i	(No)	to bus j	(No)	> sending end > [A]	< receiving end < [A]	< receiving end < [deg]		
1	B2	/	2 B3	/	3	.717	-175.279	.774	-.823
2	B2	/	2 B6	/	6	.717	4.721	.051	42.251
3	B3	/	3 B7	/	7	1.704	.374	1.707	.997
4	B6	/	6 B7	/	7	.051	-137.749	.780	-177.817

Table A		Harmonic load flow calculation		Annex:		/		3	
Area: Areal		Frequency: 650. Hertz		Transformer-Data					
No	from bus i	(No)	to bus j	(No)	> sending end > [A]	< receiving end < [A]	< receiving end < [deg]		
1	B2	/	2 B1	/	1	.000	.000	.000	.000
2	B4	/	4 B3	/	3	213.750	.000	2.478	180.000
3	B6	/	6 B5	/	5	.000	.000	.000	.000
4	B8	/	8 B7	/	7	80.000	.000	.928	180.000

DigSILENT				
Table A Harmonic load flow calculation Annex: /1				
Area: Areal Frequency: 850. Hertz Bus-Data				
No	Bus	rtd. V [KV]	Harm - voltage [V] [grd]	Uk/rt. V [%]
1	B1	154.00	84.11 -77.97	.09
2	B2	34.50	18.84 -77.97	.09
3	B3	34.50	11.26 -62.52	.06
4	B4	.40	14.25 89.24	6.17
5	B5	154.00	77.62 102.56	.09
6	B6	34.50	17.39 102.56	.09
7	B7	34.50	14.73 97.86	.07
8	B8	.40	28.55 89.31	12.36

Table A		Harmonic load flow calculation		Annex:		/		2	
Area: Areal		Frequency: 850. Hertz				Line-Data			
No	from bus	(No)	to bus	(No)	> sending end >	[A]	< receiving end <	[deg]	
i	j				[A]	[deg]			
1 B2	/	2 B3	/	3	.112	50.306	.977	6.019	
2 B2	/	2 B6	/	6	.112	-129.694	.449	11.772	
3 B3	/	3 B7	/	7	.688	-8.566	.253	-94.977	
4 B6	/	6 B7	/	7	.449	-168.228	.739	19.929	

Table A		Harmonic load flow calculation		Annex:		/		3	
Area: Areal		Frequency: 850. Hertz				Transformer-Data			
No	from bus	(No)	to bus	(No)	> sending end >	[A]	< receiving end <	[deg]	
i	j				[A]	[deg]			
1 B2	/	2 B1	/	1	.000	.000	.000	.000	
2 B4	/	4 B3	/	3	142.500	.000	1.652	180.000	
3 B6	/	6 B5	/	5	.000	.000	.000	.000	
4 B8	/	8 B7	/	7	58.000	.000	.672	180.000	

DigSILENT				
Table A		Harmonic load flow calculation		Annex: / 1
Area: Areal		Frequency: 950. Hertz		Bus-Data
No	Bus	rtd. V [KV]	Harm - voltage [V] [grd]	Uk/rt. V [%]
1	B1	154.00	47.81 -93.76	.05
2	B2	34.50	10.71 -93.76	.05
3	B3	34.50	6.66 71.97	.03
4	B4	.40	13.46 89.44	5.83
5	B5	154.00	44.97 85.42	.05
6	B6	34.50	10.07 85.42	.05
7	B7	34.50	11.18 85.47	.06
8	B8	.40	28.02 89.32	12.13

Table A		Harmonic load flow calculation		Annex:		/		2	
Area: Areal		Frequency: 950. Hertz		Line-Data					
No	from bus i	(No)	to bus j	(No)	[A]	> sending end > [deg]	[A]	< receiving end < [deg]	
1	B2	/	2 B3	/	3	.186	168.099	.569	3.273
2	B2	/	2 B6	/	6	.186	-11.901	.287	-2.791
3	B3	/	3 B7	/	7	.809	-2.302	.580	-7.495
4	B6	/	6 B7	/	7	.287	177.209	.077	77.994

Table A		Harmonic load flow calculation		Annex:		/		3	
Area: Areal		Frequency: 950. Hertz		Transformer-Data					
No	from bus i	(No)	to bus j	(No)	[A]	> sending end > [deg]	[A]	< receiving end < [deg]	
1	B2	/	2 B1	/	1	.000	.000	.000	
2	B4	/	4 B3	/	3	118.750	1.377	180.000	
3	B6	/	6 B5	/	5	.000	.000	.000	
4	B8	/	8 B7	/	7	51.000	.591	180.000	

DigSILENT				
Table A		Harmonic load flow calculation		Annex: / 1
Area: Areal		Frequency: 1150. Hertz		Bus-Data
No	Bus	rtd. V [KV]	Harm - voltage [V] [grd]	Uk/rt. V [%]
1	B1	154.00	45.26 96.97	.05
2	B2	34.50	10.14 96.97	.05
3	B3	34.50	5.25 -62.09	.03
4	B4	.40	12.26 89.48	5.31
5	B5	154.00	57.99 -84.72	.07
6	B6	34.50	12.99 -84.72	.07
7	B7	34.50	1.68 10.24	.01
8	B8	.40	25.16 89.41	10.89

Table A		Harmonic load flow calculation		Annex:		/ 2	
Area: Areal		Frequency: 1150. Hertz		Line-Data			
No	from bus i	(No) to bus j	(No)	> sending end > [A]	[deg]	< receiving end < [A]	[deg]
1	B2	/ 2 B3	/ 3	.538	4.394	.777	2.848
2	B2	/ 2 B6	/ 6	.538	-175.606	.203	-169.550
3	B3	/ 3 B7	/ 7	.273	-8.145	.392	-166.468
4	B6	/ 6 B7	/ 7	.203	10.450	.827	6.370

Table A		Harmonic load flow calculation				Annex:		/ 3	
Area: Areal		Frequency: 1150. Hertz				Transformer-Data			
No	from bus	(No)	to bus	(No)	> sending end >	[A]	< receiving end <	[A]	[deg]
	i		j						
1	B2	/	2 B1	/	1	.000		.000	.000
2	B4	/	4 B3	/	3	90.250		1.046	180.000
3	B6	/	6 B5	/	5	.000		.000	.000
4	B8	/	8 B7	/	7	38.000		.441	180.000

DigSILENT				
Table A	Harmonic load flow calculation			Annex: /1
Area: Area1	Frequency: 1250. Hertz			Bus-Data
No	Bus	rtd. V [KV]	Harm - voltage [V]	Uk/rt. V [%]
1	B1	154.00	35.45	84.59
2	B2	34.50	7.94	84.59
3	B3	34.50	8.24	71.79
4	B4	.40	12.42	89.51
5	B5	154.00	56.36	-97.46
6	B6	34.50	12.63	-97.46
7	B7	34.50	9.65	76.30
8	B8	.40	25.29	89.44

Table A	Harmonic load flow calculation				Annex:	/	2
Area: Areal	Frequency: 1250. Hertz				Line-Data		
No	from bus i	(No) to bus j	(No)	> sending end > [A]	< receiving end < [A]	[deg]	
1	B2	/ 2 B3	/ 3	.608	.618	.529	
2	B2	/ 2 B6	/ 6	.608	.094	-176.886	
3	B3	/ 3 B7	/ 7	.346	.120	-173.533	
4	B6	/ 6 B7	/ 7	.094	.525	1.477	

Table A	Harmonic load flow calculation				Annex:	/	3
Area: Areal	Frequency: 1250. Hertz				Transformer-Data		
No	from bus i	(No) to bus j	(No)	> sending end > [A]	< receiving end < [A]	[deg]	
1	B2	/ 2 B1	/ 1	.000	.000	.000	
2	B4	/ 4 B3	/ 3	83.125	.964	180.000	
3	B6	/ 6 B5	/ 5	.000	.000	.000	
4	B8	/ 8 B7	/ 7	35.000	.406	180.000	

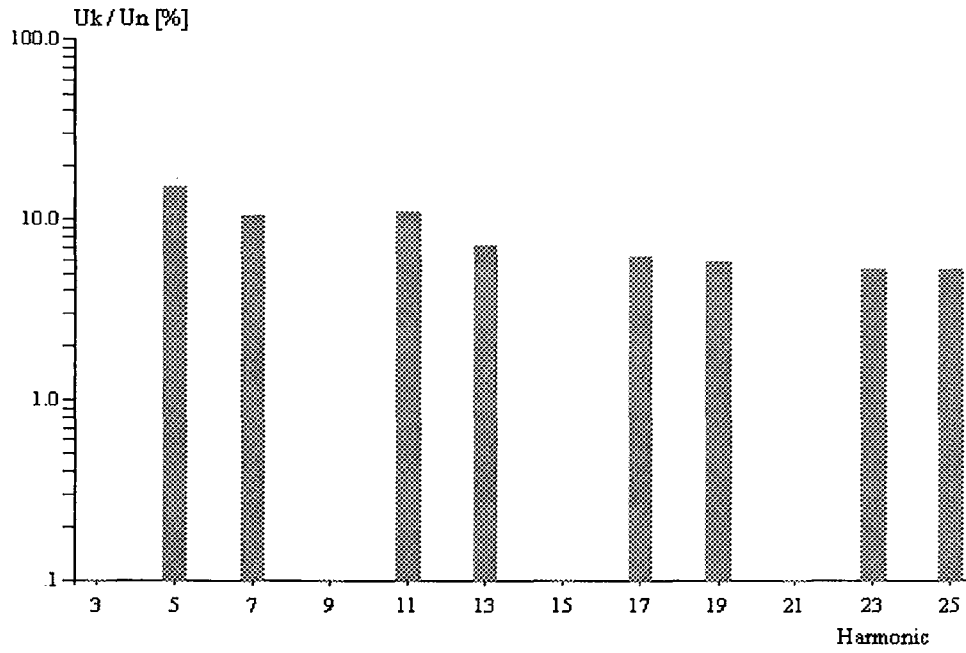
DigSILENT				
Table A		Harmonic load flow calculation		Annex: /1
Area: Areal		Frequency:	total	Bus-Data
No	Bus	rtd. V [KV]	Harm - voltage [V] [grd]	Uk/rt. V [%]
1	B1	154.00	1826.05 -135.46	2.05
2	B2	34.50	409.08 -135.46	2.05
3	B3	34.50	429.50 18.09	2.16
4	B4	.40	58.47 87.31	25.32
5	B5	154.00	2037.97 -125.53	2.29
6	B6	34.50	456.56 -125.53	2.29
7	B7	34.50	239.89 41.39	1.20
8	B8	.40	105.51 88.37	45.69

Table A		Harmonic load flow calculation				Annex:		/ 2	
Area: Areal		Frequency:		total		Line-Data			
No	from bus	(No)	to bus	(No)		> sending end >	< receiving end <		
i	j					[A]	[deg]	[A]	[deg]
1 B2	/	2 B3	/	3		15.053	.000	14.391	.000
2 B2	/	2 B6	/	6		15.053	.000	8.454	.000
3 B3	/	3 B7	/	7		8.563	.000	22.872	.000
4 B6	/	6 B7	/	7		8.454	.000	25.631	.000

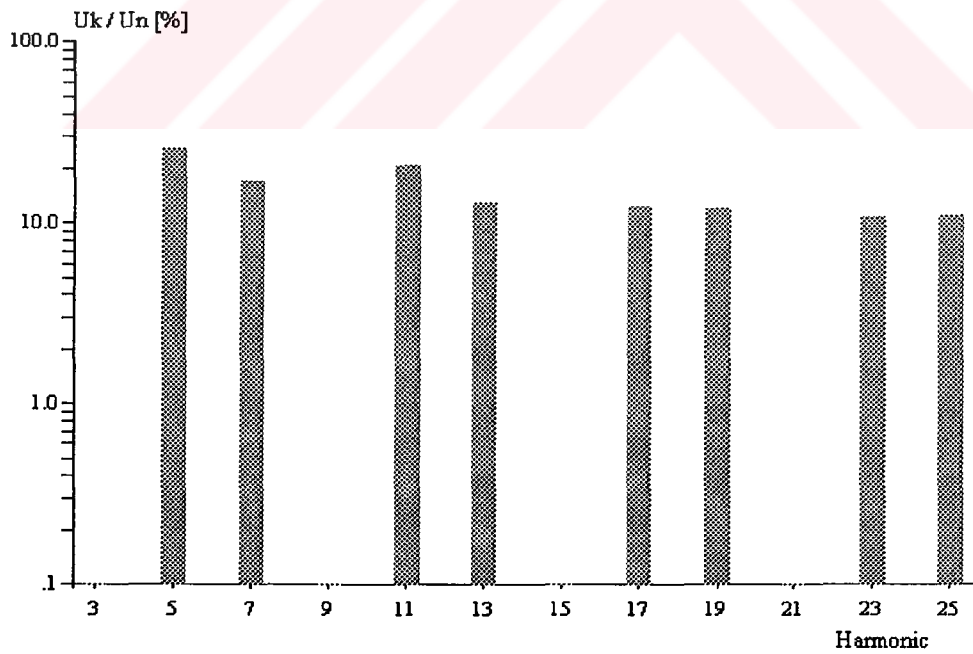
Table A		Harmonic load flow calculation				Annex:		/ 3	
Area: Areal		Frequency:		total		Transformer-Data			
No	from bus	(No)	to bus	(No)		> sending end >	< receiving end <		
i	j					[A]	[deg]	[A]	[deg]
1 B2	/	2 B1	/	1		.000	.000	.000	.000
2 B4	/	4 B3	/	3		1323.983	.000	15.351	.000
3 B6	/	6 B5	/	5		.000	.000	.000	.000
4 B8	/	8 B7	/	7		487.375	.000	5.651	.000



Ek 1.2 Yük Baralarına ait En Yüksek Dereceli Harmonik Spektrumları



Harmonic voltages B4



Harmonic voltages B8



EK 2 YSA Program Yazılımı

//NOT: Farcalloc ve huge komutlarıyla matris yapısı iptal edilip sınırsız data ve katman girilmesi mümkündür

/* Bu programda egitime seti .dat uzantili dosyadan okunur ve sonuclar girislerin en sonuna eklenir. Test fazinda da girisler yine başka bir .dat uzantili dosyadan okunup sonuclari başka bir .dat uzantili dosyaya kaydeder.

*.dat egitime dosyasi yani dosyanin ilk kısmi girisler ikinci kısmi o girisler icin dogru cikis verileridir.

*v.dat egitime ozelliklerinin oldugu dosyadir.

*w.dat agirliklarin depolandigi dosyadir

*.dat test (output) dosyasi (buradaki * test icin hazirlanan giris setlerinin oldugu dosya ismini belirtiyor

*ht.dat test dosyasindaki setler icin YSA nin buldugu sonuclarin depolandigi dosyadir. hata+iter# dosyasi ismi egitime dosyasinin ismi ile ayni uzantisi .err eger eski agirlikler üzerine devam ediliyorsa hata dosyasinin da üzerine devam ediyor silmiyor aksi takdirde siler.

*y.cns dosyasi da eğittiği dosya için ürettiği çıkışları kaydettiği dosyadir.

*/

```
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <math.h>
#include <conio.h>
#include <stdlib.h>
#include <process.h>
#include <alloc.h>
#include <ctype.h>
#ifndef VAX
#include <alloc.h>
#endif
#define NMXUNIT 10
#define NMXHLLR 5 /*max hidden layer */
#define NMXOATTR 32 /*max output number */
#define NMXINP 50 /*max input set number */
#define NMXIATTR 500 /*max input number*/
#define SEXIT 3
#define RESTRT 2
#define FEXIT 1
#define CONTNE 0
float eta, alpha, err_curr, maxe, maxep;
float far *wtptr[NMXHLLR+1];
float far *outptr[NMXHLLR+2];
float far *errptr[NMXHLLR+2];
float far *delw[NMXHLLR+1];
float far ep[NMXINP];
int long nunit[NMXHLLR+2],nhlayer,ninput,ninattr,noutattr,sd;
```

```

long i;
int long result,errorcode;
int long cnt_num,cnt,eski;
int long nsnew,nsold;
char task_name[20],dr;
FILE *fp1,*fp2,*fp3,*fopen(),*fpf,*foutf1,*foutf2;
int long fplot10;
long randseed=568731L;
char def[30],def1[20];
char *sec[4]
={"1- DOSYALARI OLUSTURMA","2-EGITIM VE DENEME ISLEMI ","3-CIKIS
GRAFIGI","4-CIKIS"};
void *p;
char atama1[10],atama2[10],atama3[10];
int long hih,hih1,hih2,hih3,fft,d1,d2;
float cn,cn1[10000],enbu=0.0,enku=100.0;
double fe,fe1,de,de1,de2,se,cnt1,fft1;
float huge *target;
float huge *input;
float huge *outpt;
void yer(void){

input=(float huge *)fcalloc(275000,sizeof(float));
/* float far target[NMXINP][NMXOATTR];*/
outpt=(float huge *)fcalloc(275000,sizeof(float));
/*float far input[NMXINP][NMXIATTR]; */
target=(float huge *)fcalloc(275000,sizeof(float));
/*float far outpt[NMXINP][NMXOATTR];*/
}

void gitlan(){ clrscr();printf("Yapilan Itarasyon=%ld",cnt);
printf("\nSu anki Error   =%f\n",err_curr);
printf("Cikmak istiyormusunuz? 'd(dur)-herhangibirtus'a basin");
i=getch();if(getch()=='d')cnt=cnt_num-1;clrscr();printf("\nPerforms iterations PLEASE
DON'T TOUCH!!!\nIf you want to use the computer:\n1) please press abutton then
wait\n2) appears a table that contains error term\n (it takes approximately 1 minute)\n3)
after that please press 'd' buton\n again please wait a minute\n4) then you see a message
that reads 'please press a buton' \n please press a button after that wait a minute. Thanks a
lot for doing these steps.");

}
int random()
{
randseed=15625L*randseed+22221L;
return((randseed>>16)&0x7FFF);
}
init()
{

```

```

int long len1,len2,i,k;
float huge *p1,huge *p2,huge *p3,huge *p4;
len1=len2=0;
nunit[nhlayer+2]=0;
for(i=0;i<(nhlayer+2);i++){
len1+=(nunit[i]+1)*nunit[i+1];
len2+=nunit[i]+1;
}
p1=(float huge *)farcalloc(400000,sizeof(float));
p2=(float huge *)farcalloc(len2+1,sizeof(float));
p3=(float huge *)farcalloc(len2+1,sizeof(float));
p4=(float huge *)farcalloc(400000,sizeof(float));
wtptr[0]=p1;
outptr[0]=p2;
errptr[0]=p3;
delw[0]=p4;
for (i=1;i<(nhlayer+1);i++){
wtptr[i]=wtptr[i-1]+nunit[i]*(nunit[i-1]+1);
delw[i]=delw[i-1]+nunit[i]*(nunit[i-1]+1);
}
for (i=1;i<(nhlayer+2);i++){
outptr[i]=outptr[i-1]+nunit[i-1]+1;
errptr[i]=errptr[i-1]+nunit[i-1]+1;
}
for (i=0;i<nhlayer+1;i++){
*(outptr[i]+nunit[i])=1.0;
}
return(0);
}

```

```

initwt()
{
int long i,j ;
for (j=0;j<nhlayer+1;j++)
for (i=0;i<(nunit[j]+1)*nunit[j+1];i++){
*(wtptr[j]+i)=random()/pow(2.0,15.0)-0.5;
*(delw[j]+i)=0.0;
}
return(0);
}

```

```

set_up()
{
int long i;
eta=0.9;
printf("\nMonentum rate eta (default=0.9)? : ");
scanf("%f",&eta);
alpha=0.7;
printf("\nLearning rate alfa (default=0.7)? : ");

```

```

scanf("%f",&alpha);
maxe=0.0000001;maxep=0.0000001;
printf("\nMax total error (default=0.00001)? : ");
// scanf("%f",&maxe);
printf("\nMax individual error(default=0.00001)? : ");
// scanf("%f",&maxep);
cnt_num=1000;
printf("\nMax number of iteration (default=1000)? : ");
scanf("%ld",&cnt_num);
printf("\nNumber of hidden layers?: ");
scanf("%ld",&nhlayer);
for(i=0;i<nhlayer;i++) {
printf("\n\tNumber of units for hidden layer %ld?:",
i+1);
scanf("%ld",&nunit[i+1]);
}
printf("\nCreate error file ? If so type 1, or type 0 : ");
scanf("%ld",&fplot10);clrscr();
printf("\nPerforms iterations PLEASE DON'T TOUCH!!!\nIf you want to use the
computer:\n1) please press a button then wait\n2) appears a table that contains error term\n
(it takes approximately 1 minute)\n3) after that please press 'd' button\n again please wait a
minute\n4) then you see a message that reads 'please press a button' \n please press a button
after that wait a minute. Thanks a lot for doing these steps.");
nunit[nhlayer+1]=noutattr;
nunit[0]=ninattr;
return(0);
}
dread(char *taskname)

{
int long i,j,c;
char var_file_name[20];
strcpy(var_file_name,taskname);
strcat(var_file_name,"_v.dat");
if ((fp1=fopen(var_file_name,"r"))==NULL)
{
perror("\n Cannot open data file ");
exit(0);
}

fscanf(fp1,"%lu%lu%lu%f%f%lu%lu\n",&ninput,&noutattr,&ninattr,&eta,&alpha,&nhlay
er,&cnt_num);
for(i=0; i<nhlayer+2; i++)
fscanf(fp1,"%ld",&nunit[i]);
if ((c=fclose(fp1))!=0)
printf("\nFile cannot be closedSSSS %ld ",c);
return(0);
}

```

```

wthead(char *taskname)
{
    int long i,j,c ;
    char wt_file_name[20];
    strcpy(wt_file_name,taskname);
    strcat(wt_file_name,"_w.dat");
    if ((fp2=fopen(wt_file_name,"r"))==NULL)
    {
        perror("\n Cannot open data file");
        exit(0);
    }
    for (i=0; i<nhlayer+1;i++){
        for (j=0; j<(nunit[i]+1)*nunit[i+1];j++) {
            fscanf (fp2,"%f",(wtptr[i]+j));
        }
    }
    if ((c=fopen(fp2))!=0)
        printf("\nFile cannot be closedSSS %ld",c);
    return(0);
}

dwrite(char *taskname)
{
    int long i,j,c;
    char var_file_name[20];
    strcpy(var_file_name,taskname);
    strcat(var_file_name,"_v.dat");
    if ((fp1=fopen(var_file_name,"w+"))==NULL)
    {
        perror("\n Cannot open data file");
        exit(0);
    }
    fprintf(fp1,"%lu %lu %lu %f%f%lu\n",ninput,noutattr,ninattr,eta,alpha,nhlayer,cnt_num);
    for (i=0; i<nhlayer+2;i++){
        fprintf(fp1,"%ld ",nunit[i]);
    }

    fprintf(fp1,"\n");
    for (i=0; i<ninput;i++){
        for (j=(i*noutattr); j<((i+1)*noutattr);j++)
            fprintf (fp1,"%f ",outpt[j]);
        fprintf (fp1,"\n");
    }
    if ((c=fopen(fp1))!=0)
        printf("\nFile cannot be closedw %ld",c);
    return(0);
}

wtwrite( char *taskname)

```

```

{
    int long i,j,c,k;
    char wt_file_name[20];
    strcpy(wt_file_name,taskname);
    strcat(wt_file_name,"_w.dat");
    if ((fp2=fopen(wt_file_name,"w+"))==NULL)
    {
        perror("\n Cannot open data file");
        exit(0);
    }
    k=0;
    for (i=0; i<nhlayer+1;i++)
        for (j=(i*((nunit[i]+1)*nunit[i+1])); j<((i+1)*((nunit[i]+1)*nunit[i+1]));j++){
            if(k==8) {
                k=0;
                fprintf (fp2,"\n");
            }
            fprintf (fp2,"%f ",*(wtptr[i]+j%((nunit[i]+1)*nunit[i+1])));
            k++;
        }
    if ((c=fclose(fp2))!=0)
        printf("\nFile cannot be closedSS %ld",c);
    return(0);
}

void forward(i)
{
    int long m,n,p,offset;
    float net;

    for (m=(i*ninattr);m<((i+1)*ninattr);m++)
        *(outptr[0]+(m%ninattr))=input[m];
        for (m=1; m<nhlayer+2;m++){
            for (n=0; n<nunit[m];n++){

                net=0.0;
                for (p=0; p<nunit[m-1]+1;p++){
                    offset=(nunit[m-1]+1)*n+p;
                    net += *(wtptr[m-1]+offset)
                        *(*(outptr[m-1]+p));
                }
                *(outptr[m]+n)= 1/(1+exp(-net));
            }
        }
    for(n=((i)*nunit[nhlayer+1]); n<((i+1)*nunit[nhlayer+1]);n++)
        outpt[n]=*(outptr[nhlayer+1]+(n%nunit[nhlayer+1]));
}

```

```

int long introspective (int long nfrom,int long nto)
{
    int long i,flag;
    if (cnt>=cnt_num) return(FEXIT);
    nsnew=0;
    flag=1;
    for (i=nfrom;(i<nto)&&(flag==1);i++){
        if (ep[i]<=maxep)nsnew++;
        else flag=0;
    }
    if (flag==1) return(SEXIT);
    if (err_curr<=maxe) return(SEXIT);
    return(CONTNE);
}

int long rumelhart(int long from_snum,int long to_snum)
{
    int long i,j,k,m,n,p,offset,index;
    float out;
    char err_file_name[20],sonuc[20];
    strcpy(err_file_name,task_name);
    strcat(err_file_name,".err");
    nsold=0;
    cnt=0;
    result=CONTNE;
    if ((fp3=fopen(err_file_name,"w"))==NULL)
    {
        perror("Cannot open error file");
        exit(0);
    }
    do {
        err_curr=0.0;
        for (i=from_snum;i<to_snum;i++){
            forward(i);
            for(m=(i*nunit[nhlayer+1]);m<((i+1)*nunit[nhlayer+1]);m++){
                out=*(outptr[nhlayer+1]+(m%nunit[nhlayer+1]));
                *(errptr[nhlayer+1]+(m%nunit[nhlayer+1]))=(target[m]-out)
                    *(1-out)*out;
            }
        }
        for (m=nhlayer+1;m>=1;m--){
            for (n=0; n<nunit[m-1]+1;n++){
                *(errptr[m-1]+n)=0.0;
                for (p=0; p<nunit[m];p++){
                    offset=(nunit[m-1]+1)*p+n;
                    *(delw[m-1]+offset)=eta*(*(errptr[m]+p))
                        *(*(outptr[m-1]+n))
                        +alpha*(*(delw[m-1]+offset));
                    *(errptr[m-1]+n)+=*(errptr[m]+p)
                        *(*(wtptr[m-1]+offset));
                }
            }
        }
    } while (err_curr>0.001);
}

```

```

}
*(errptr[m-1]+n)=*(errptr[m-1]+n)*
  (1-*(outptr[m-1]+n))*(*(outptr[m-1]+n));
}
}
for (m=1;m<nhlayer+2;m++){
  for(n=0;n<nunit[m];n++){
    for(p=0;p<nunit[m-1]+1;p++){

      offset=(nunit[m-1]+1)*n+p;
      *(wtptr[m-1]+offset)+=(delw[m-1]+offset);
    }
  }
}
ep[i]=0.0;
for(m=(i*nunit[nhlayer+1]);m<((i+1)*nunit[nhlayer+1]);m++){
  ep[i]+=fabs((target[m]-
    *(outptr[nhlayer+1]+(m%nunit[nhlayer+1]))));
}
err_curr+=ep[i]*ep[i];
}
err_curr=0.5*err_curr/ninput;

if(kbhit())gitlan();
fprintf(fp3,"%ld%f\n",cnt,err_curr);
cnt++;
result=introspective(from_snum,to_snum);
}
while (result==CONTNE);

for (i=from_snum; i<to_snum;i++) forward(i);
for(i=0; i<nhlayer+1;i++){
  index=0;
  for (j=0;j<nunit[i+1];j++)
  {
    // printf("\n\n Weights between unit %ld of layer %ld",
    // j,i+1);
    // printf("and units of layer %ld\n",i);
    // for (k=0; k<nunit[i];k++)
    // printf ("%f",*(wtptr[i]+index++));
    // printf ("\n Threshold of unit %ld of layer%ldis%f",
    // j,i+1,*(wtptr[i]+index++));
  }
}

strcpy(sonuc,task_name);
strcat(sonuc,"y.cns");
if ((fpf=fopen(sonuc,"w"))==NULL)

```



```

{
perror("Veri dosyasi açilamiyor");
exit(0);
}

for (i=0; i<ninput; i++){ /* \n sample %ld output %ld=target
%ld=%fi,j%noutattr,j%noutattr,target[j]*/
    for (j=(i*noutattr);j<((i+1)*noutattr);j++){ //yukarıda yazılan kısmı fprintften
çıkıştır.
//    printf("\n\n output %ld=%f outpt %ld=%f ",/*set sonuçlarını ekrana bastırma işi*/
//        j%noutattr,outpt[j],j%noutattr,*(outptr[nhlayer+1 ]+(j%noutattr)));

        fprintf(fpf,"%f\n",outpt[j]); } }
        printf("\n\n Total number of iteration is %ld",cnt);
printf("\n Normalized system error is %f\n\n",err_curr);
fclose(fpf);
printf("\n Please press a butonfor continue");
getch();
return(result);
}
user_session()
{ int long i,j,showdata; /* Burada ismi verilen bir */
char fnam[20],dtype[20]; /*dosyadan belirtilen sayidaki giriş */
FILE *fp;/* icin yine girilen sayidaki verileri okuyor*/
printf("\n Start of learning session");
printf("\n\t Enter the task name : ");
scanf("%s",task_name);
printf("\n How many features in input pattern?:");
scanf("%ld",&ninattr);
printf("\n How many output units?: ");
scanf("%ld",&noutattr);
printf("\n Total number of input samples?: ");
scanf("%ld",&ninput);
/* Burada input[i][j] tarzındaki veri yazmada i 0'dan
ninput-1(giris orneklerinin toplam sayisi)
'na kadar giris yapilacak*/
/*Burada input[i][j] tarzındaki veri yazmada j 0'dan
ninattr-1(her numune icin giris sayisi)
'na kadar giris yapilacak*/

strcpy(fnam,task_name);
strcat(fnam,".dat");
printf("\n Input File name is %s",fnam);
if ((fp=fopen(fnam,"r"))==NULL)
{
printf("\n File %s does not exists", fnam);
exit(0);
}
}

```

```

printf("\n Do you want to look at data just read?");
printf("\n Answer yes or no :");
scanf("%s",dtype);
showdata=((dtype[0]=='y')||(dtype[0]=='Y'));
for (i=0;i<ninput;i++){
    for (j=(i*ninattr);j<((i+1)*ninattr);j++) {
        fscanf(fp,"%f",&input[j]);
        if (showdata)printf("%ld %f\n ",j,input[j]);
    }

    for (i=0;i<ninput;i++){
        for (j=(i*noutattr);j<((i+1)*noutattr);j++) {
            fscanf(fp,"%f",&target[j]);
            if (showdata)printf(" %f ",target[j]);
        }
    }
    if ((i=fclose(fp))!=0)
    {
        printf("\n File56 cannot be closed %ld",i);
        exit(0);
    }

    return(0);
}
learning()
{
    int long result;
    user_session();
    set_up();
    init();
    do {
        initwt();
        result=rumelhart(0,ninput);
    } while (result==RESTR);
    if (result==FEXIT)
    {
        printf("\n Max number of iterations reaced,");
        printf("\n but failed to decrease system");
        printf("\n error sufficiently");
    }
    dwrite(task_name);
    wtwwrite(task_name);
    return(0);
}

```

/* asagidaki fonksiyon onceden belli bir iterasyonla egitilmis dosyanin

```

iterasyon sayisini arttirmek icin eklenen kisimdir */
learning1()
{
    eski=1;
    int long result;
    int long i,j,showdata;          /* Burada ismi verilen bir */
    char fnam[20],dtype[20]; /*dosyadan belirtilen sayidaki giris */
    FILE *fp; /* icin yine girilen sayidaki verileri okuyor*/
    printf("\n Start of learning1 session");
    printf("\n\t Enter the task name : ");
    scanf("%s",task_name);

                dread(task_name);
                init();
strcpy(fnam,task_name);
    strcat(fnam,".dat");
    printf("\n Input File name is %s",fnam);
    if ((fp=fopen(fnam,"r"))==NULL)
    {
        printf("\n File %s does not exists", fnam);
        exit(0);
    }

    printf("\n Do you want to look at data just read?");
    printf("\n Answer yes or no :");
    scanf("%s",dtype);
    showdata=((dtype[0]=='y')||(dtype[0]=='Y'));
    for (i=0;i<ninput;i++){
        for (j=(i*ninattr);j<((i+1)*ninattr);j++) {
            fscanf(fp,"%f",&input[j]);
            if (showdata)printf("%f ",input[j]);
        }

        for (i=0;i<ninput;i++){
            for (j=(i*noutattr);j<((i+1)*noutattr);j++) {
                fscanf(fp,"%f",&target[j]);
                if (showdata)printf(" %f\n",target[j]);
            }
        }
        if ((i=fclose(fp))!=0)
        {
            printf("\n File56 cannot be closed %ld",i);
            exit(0);
        }

    printf("\nMax number of iteration (default=1000)? : ");

```

```

scanf("%ld",&cnt_num);
    printf("\nCreate error file ? If so type 1, or type 0 : ");
    scanf("%ld",&fplot10);clrscr();
    printf("\nPerforms iterations PLEASE DON'T TOUCH!!!");
    nunit[nhlayer+1]=noutattr;
    nunit[0]=ninattr;
        do {

            wthead(task_name);
            result=rudelhart(0,ninput);
        } while (result==RESTRT);
        if (result==FEXIT)
        {
            printf("\n Max number of iterations reaced,");
            printf("\n but failed to decrease system");
            printf("\n error sufficiently");
        }
        dwrite(task_name);
        wtwrite(task_name);
        return(0);
    }

output_generation()
{
    int long i,m,nsample;
    char ans[10];
    char dfile[20];
    printf("\n Generation of outputs for a new pattern");
    printf("\n\t Present task name is %s", task_name);
    printf("\n\t Work on a different task?");
    printf("\n\t Answer yes or no :");
    scanf("%s",ans);
    if ((ans[0]=='y')||(ans[0]=='Y'))
    {
        printf("\n\t Type the task name :");
        scanf("%s",task_name);
        dread(task_name);
        init();
        wthead(task_name);
    }
    // printf("\n Enter file name for patterns to ");
    // printf(" be processed: ");
    // scanf("%s",dfile);
    // if ((fp1=fopen(dfile,"r"))==NULL)
    // {
    //     perror("Connat open dfile");
    //     exit(0);
    // }

```

```

/* printf("\nEnter number of patterns for processing :");
scanf("%ld",&nsample);
for (i=0;i<nsample;i++)
for (m=(i*ninattr); m<((i+1)*ninattr);m++)
{ printf("%ld veri=",((m%ninattr)+1));
scanf("%f",&input[m]); }
tek tek veri girme kısmı*/

/* *.dat veri dosyasından(dosya1) istenilen sayidaki set girisi okuyup
sonucu(yani YSA sonucunu) *ht.dat dosyasina kaydediyor
nsample=1 satirindan for (i=0; i<nsample;i++) satirina kadar devam ediyor.*/
nsample=1/*aslinda bu gerekmiyor da cunku bu test sayisi daha sonra isteniyor*/;
char dosya1[20],dosya2[20],cont[20];
float ss;
printf("veri dosyasının ismini giriniz:");
scanf ("%s",dosya1);
strcpy(dosya2,task_name);
strcat(dosya2,"ht .dat");
printf("%s\n",dosya2);
strcat(dosya1,".dat");
printf("%s\n",dosya1);

if((foutf1=fopen(dosya1,"r"))==NULL)
{
perror("Connat open dfile");
exit(0);
}
printf("\nEnter number of patterns for processing:\n(test dosyası set sayısı yani) ");
scanf("%ld",&nsample);
/*test datalarinin bulundugu dosyadaki set sayisi*/

for (i=0;i<nsample;i++){
for (m=(i*ninattr); m<((i+1)*ninattr);m++)
{
fscanf(foutf1,"%f",&input[m]);

}
}

fclose(foutf1);
if((foutf2=fopen(dosya2,"w+"))==NULL)
{
perror("Connat open dfile");
exit(0);
}

```

```

for (i=0; i<nsample;i++)
{
    forward(i);
    for(m=(i*noutattr);m<((i+1)*noutattr);m++){
        // printf("\n sample %ld output %ld=%f",
        // i,(m%noutattr),ss=*(outptr[nhlayer+1]+(m%noutattr)));
        // printf("\n");
        fprintf(foutf2,"%f\n", /*cıkıs hatasini hata.dat dosyasina kopyaliyor*/
        *(outptr[nhlayer+1]+(m%noutattr)) );
//    printf("%f\n",outpt[m], /*cıkıs hatasini hata.dat dosyasina kopyaliyor*/
//    *(outptr[nhlayer+1]+(m%noutattr)) );
    }
}
if ((i=fopen(foutf2))!=0)
printf("\nFile cannot be closedS %ld",i);
printf("\nOutput have been generated ");
return(0);
}

```

```

void der()
{
    FILE *f;
    if ((f=fopen("veri2.dat","r"))==NULL)
    {
        perror("Cannot open err_file");
        exit(0);
    }
    i=1;
    while(!(feof(f)))
    {
        fscanf(f, "%ld %f\n",&cnt1,&cn);
        i++;
    }
    fclose(f);
    fft=i;
    se=550.0;
    de=fft/se;
    de1=fft/2.0 ;
    de2=fft/4.0 ;
    hih2=floor(de1);
    hih1=floor(de2);

    hih=floor(de);
    if ((f=fopen("veri2.dat","r"))==NULL)
    {
        perror("Cannot open err_file");
        exit(0);
    }
}

```

```

sd=0;

for(i=1;i<fft;i++)
{
fscanf(f," %ld %f\n",&cnt1,&cn);
if(enbu<cn)enbu=cn;
if(enku>cn)enku=cn;
if(i/(hih+1.0)==floor(i/(hih+1.0))) { sd=sd+1;cn1[sd]=cn*10;}
}
itoa(hih1, atama1, 10);
itoa(hih2, atama2, 10);
itoa(fft, atama3, 10);

if ((i=fclose(f))!=0)
printf("\nFile cannot be closed13 %ld",i);
}

int long main1()
{ char select[20],cont[20];
strcpy(task_name,"*****");
do { printf("Be careful Sir! max input #=%d max output #=%d\n max set
#=%d",NMXIATTR,NMXOATTR,NMXINP);
printf("\n*Select L(earning) or O(utput generatoin)\n or 1(continue from old weights
file)*\n");
do {

scanf ("%s",select);
switch(select[0]){
case 'o':
case 'O':
output_generation();
break;
case 'l':
case 'L':
learning();

break;
case '1':
learning1();
break;
default:
printf("\n answer learning(l) or output generation(o)\n or 1(continue from old
weights file)");
break;
}
}
while ((select[0]!='o')&&(select[0]!='O')

```

```
&&(select[0]!='l')&&(select[0]!='L')&&(select[0]!='1'));  
printf("\nDo you want to continue?");  
scanf("%s",cont);  
}
```

```
while ((cont[0]=='y')||(cont[0]=='Y'));  
printf("\nIt is all finished. ");  
printf("\n Good bye");
```

```
return(0);
```

```
}  
int long main(void)  
{  
yer();  
main1();  
return 0;  
}
```



ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi : 01.07.1968

Doğum Yeri : Amasya

Lise : Siirt Lisesi

Lisans : 1985 - 1990 Yıldız Teknik Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans : 1990-1992 Yıldız Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı
Elektrik Mühendisliği Programı

Çalıştığı Kurum : 1991- Yıldız Teknik Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Fakültesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü
Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı
Araştırma Görevlisi

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**