

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDEKİ GEÇİCİ
OLAYLARIN DALGACIK ANALİZİ VE OLASILIKSAL
SİNİR AĞLARI YÖNTEMİYLE SINIFLANDIRILMASI**

Elektrik Müh. Tevfik Deniz OKTAY

**FBE Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik Tesisleri Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Aslan İNAN

İSTANBUL, 2007

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖNSÖZ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ	1
2. ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE BOZULMALAR VE GEÇİCİ OLAYLAR6	
2.1 Elektrik Güç Sistemleri – Genel Bir Bakış	6
2.2 Güç Kalitesi	7
2.3 Güç Kalitesi Problemlerinin Genel Olarak Sınıflandırılması	7
2.3.1 Geçici Olaylar	10
2.3.2 Uzun Süreli Gerilim Değişimleri	11
2.3.3 Kısa Süreli Gerilim Değişimleri	12
2.3.4 Gerilim Dengesizliği	15
2.3.5 Dalga Şekli Bozulması	16
2.3.6 Gerilim Dalgalanmaları	17
2.3.7 Güç Frekansı Değişimleri	18
2.4 Harmonikler	18
2.5 Güç Sistemlerinde Geçici Olaylar	19
2.6 Güç Sistemi Koruması için İşaret İşleme	21
3. DALGACIK (WAVELET) ANALİZİ	23
3.1 Dalgacık (Wavelet) Dönüşümü	23
3.2 Dalgacık Sıkıştırması	25
3.3 Ölçeklerin Ayrılması	27
3.4 Daha Genel Dalgacıklar	30
3.5 Fourier Analizi	32
3.6 Kısa-Zaman Fourier Analizi	32
3.7 Dalgacık Analizi	33
3.8 Wavelet (Dalgacık) Tanımı	34

3.9	Sürekli Wavelet Analizi.....	35
3.9.1	Ölçeklendirme	36
3.9.2	Öteleme.....	37
3.9.3	Sürekli Dalgacık Analizinin Adımları	37
3.9.4	Ölçek ve Frekans	39
3.10	Ayrık Dalgacık Dönüşümü	40
3.11	Tek Kademeli Filtreleme: Yaklaşımlar ve Detaylar	42
3.12	Çok Seviyeli Ayırıştırma (Dekompozisyon)	43
3.12.1	Seviye Sayısı.....	43
3.13	Dalgacık Rekonstrüksiyonu(yeniden inşası)	43
3.14	Yaklaşımlar ve Detayların Yeniden İnşası	44
4.	OLASILIKSAL SİNİR AĞI TABANLI SINIFLANDIRICI.....	46
4.1	Sınıflandırmanın İstatistiksel Temeli.....	46
4.2	Olasılıksal Sinir Ağları (PNN)	48
4.3	Parzen Metodu Kullanılarak bir Olasılıksal Yoğunluk Fonksiyonu Tahmini Yapılması.....	48
4.3.1	Olasılıksal Sinir Ağlarının Yapısı.....	51
4.4	Olasılıksal Sinir Ağlarının Eğitimi	53
5.	SİSTEM TASARIMI VE UYGULAMA	55
5.1	Giriş	55
5.2	Bir Güç Sisteminde Geçici Olayların Benzetimi.....	56
5.3	Dalgacık Analizi ve Özellik Çıkartımı	59
5.4	Dalgacık Analizi Verisinin Olasılıksal Sinir Ağları ile Sınıflandırılması	63
5.4.1	Sınıflandırıcı Eğitim ve Test Prosedürü	64
5.4.1.1	Veri Dosyalarının Etiketleri ve Etiketlenmesi.....	65
5.4.1.2	Yapay Sinir Ağı'nın Eğitilmesi	65
5.4.1.3	YSA Sınıflandırıcısının Test Edilmesi ve Performans Değerlendirmesi	66
6.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	68
	KAYNAKLAR.....	70
EK		73
Ek1	MATLAB’de kullanılan YSA kodları	73
	ÖZGEÇMİŞ.....	75

SİMGE LİSTESİ

CR	Kritik oran
$f_c(.)$	c niteliğine ilişkin kısmi yarar fonksiyonu
H_s	Zaman aralığının başlangıcı
L	Giden trenlerin seti
ΔH	Zaman aralığının uzunluğu
Ψ	Yeteri kadar büyük bir pozitif sayı
N_t	Eğitim örneklerinin sayısı
q_i	i 'ninci olasılıksal sinir ağı çıktısının normalize edilmiş payı
y_i	Olasılıksal sinir ağının i 'ninci çıktısı
σ	Varyans
ω	Açısal frekans
θ	Bir olasılık yoğunluk fonksiyonunun belirlenen parametresi
a	Ölçek sabiti
b	Kaydırma sabit
C	Sınıfların sayısı
cA	Dalgacık (Wavelet) Yaklaşım Katsayıları
cD	Dalgacık (Wavelet) Detay Katsayıları
$e(x_i)$	x_i girdisi için kısmi objektif fonksiyonu
F	Fourier dönüşümü katsayıları
$f(t)$	Dönüşümü yapılacak fonksiyon
$g(x \omega_i)$	verilen x örüntüsünde ω_i sınıfının olasılığı
$g(x)$	Rastgele x değişkeninin olasılık yoğunluk fonksiyonu
$h(n)$	Yüksek geçiren wavelet dekompozisyon filtresi
$h(n-k)$	Dalgacık dekompozisyonu sonlu darbe cevabı
k	Giriş sinyali örnek sayısı
$l(n)$	Alçak geçiren wavelet dekompozisyon filtresi
m	Kaydırılmış dalgacıkları oluşturan tam sayı
OF	Bir olasılıksal sinir ağının toplam objektif fonksiyonu
$P(\omega_i)$	ω_i sınıfının önceki olasılığı

$W(x)$	Parzen yöntemiyle olasılık yoğunluk fonksiyonu tahmin etmek için pencere fonksiyonu
ψ	Ana dalgacık fonksiyonu

KISALTMA LİSTESİ

DWT	Ayrık Dalgacık Dönüşümü (Discrete Wavelet Transform)
IDWT	Ters Ayrık Dalgacık Dönüşümü (Inverse Discrete Wavelet Transform)
PNN	Olasılıksal Sinir Ağları (Probabilistic Neural Networks)
YSA	Yapay Sinir Ağları

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Bir güç sisteminin şematik diyagramı..... 6
Şekil 2.2	Yıldırım darbesi akımı darbesel geçici olayı 10
Şekil 2.3	Ard arda kapasitör anahtarlanmasıyla oluşan titreşimli geçici olay akımı 11
Şekil 2.4	Bir arıza ve tekrar kapama işleminden dolayı anlık kesintinin oluşumu 13
Şekil 2.5	Tipik bir gerilim azalması-salınımı..... 14
Şekil 2.6	Bir tek faz toprak hatasından kaynaklanan ani gerilim artması..... 14
Şekil 2.7	Bir gerilim dengesizliği sisteminin simetrik bileşenleri 15
Şekil 2.8	Kaynak sistemi dengesizken üç-faz diyot doğrultucuların hat akım dalga biçimleri. 15
Şekil 2.9	Ark fırını çalışmasıyla oluşan bir gerilim titreşimi örneği..... 17
Şekil 2.10	Bozuk akım dalga şekli..... 19
Şekil 2.11	Güç sistemlerinde geçici olay örnekleri..... 20
Şekil 2.12	Simule edilen örnek geçici olaylar..... 21
Şekil 3.1	Sekiz sayıdan oluşan basit bir işaret (sinyal) ve bu işaretin grafiksel gösterimi23
Şekil 3.2	Komşu çiftlerin ortalamaları ve farklarını oluşturarak işlenen işaret 24
Şekil 3.3	Toplamlar ve farklardan oluşan iki yarımdan oluşan elemanları yeniden birleştirilerek oluşan rekonstrüksiyon (yeniden inşa) 24
Şekil 3.4	Tam Dalgacık Dönüşümü: Yinelemeli olarak sol tarafların ortalamasını ve farkını alarak dalgacık spektrumu elde edilir..... 25
Şekil 3.5	Dalgacık dönüşümü yapılmış işaretin yuvarlanması ve yeniden oluşturulması26
Şekil 3.6	Sıkıştırılmış işaretin orijinal işaret ile birlikte gösterimi 26
Şekil 3.7	(a) dc, (b) büyük ölçek, (c) orta-ölçek, ve (d) hassas ölçek bileşenleri tarafından işaretin yeniden oluşturulması 28
Şekil 3.8	Orijinal işaretin tek-ölçekli bileşenlerin toplamıyla elde edilmesi 29
Şekil 3.9	Hem küçük hem de büyük ölçekli bilgiyi içeren örnek işaret 29
Şekil 3.10	Orijinal işareten küçük-ölçekli bilginin elde edilip ayrı olarak temsil edilmesi30
Şekil 3.11	Fourier analizi 32
Şekil 3.12	Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü..... 32
Şekil 3.13	Wavelet (Dalgacık) dönüşümü 33
Şekil 3.14	Küçük süreksizliğe sahip bir sinüzoidal dalga..... 33

Şekil 3.15	Şekil 3.4'teki dalganın Fourier ve Wavelet katsayıları.....	34
Şekil 3.17	Ana Dalgacık Örnekleri	35
Şekil 3.18	Orijinal işaret ve onu oluşturan değişik frekanslardaki sinüs dalgaları	36
Şekil 3.19	Orijinal işaret ve onu oluşturan dalgacıklar	36
Şekil 3.20	Ölçek katsayısı	37
Şekil 3.21	İşaretin kaydırılması.....	37
Şekil 3.22	Sürekli Dalgacık Analizi.....	38
Şekil 3.23	Dalgacığın sağa ötelenmesi.....	38
Şekil 3.24	Dalgacığın ölçeklenmesi.....	38
Şekil 3.25	Dalgacık dönüşüm katsayıları grafiği	39
Şekil 3.26	Şekil 3.22'deki dalgacık dönüşüm katsayılarının yandan görünüşü.....	39
Şekil 3.27	Ölçeklendirme.....	40
Şekil 3.28	Ayrık Dalgacık Dönüşümünün Uygulaması.....	41
Şekil 3.29	Ayrık dalgacık analizinde temel filtreleme prensibi	42
Şekil 3.30	Normal örnekleme ve aşağı örnekleme.....	42
Şekil 3.31	Dalgacık ayrıştırma ağacı	43
Şekil 3.32	Yukarı örnekleme ve rekonstrüksiyon	44
Şekil 3.33	Birinci seviye yaklaşım vektörünün katsayılar vektöründen türetilmesi	44
Şekil 3.34	Birinci seviye detay vektörünün katsayılar vektöründen türetilmesi.....	45
Şekil 3.35	Orijinal işareti yeniden inşa etmenin farklı yöntemleri	45
Şekil 4.1	İki sınıflı bir problemde karar verme	47
Şekil 4.2	Parzen olasılıksal yoğunluk fonksiyonu tahmininde pencere genişliğinin etkisi.....	51
Şekil 4.3	Olasılıksal sinir ağlarının yapısı.....	52
Şekil 5.1	Arıza tanıma sistemini gösteren blok diyagram.....	55
Şekil 5.2	Dikkate alınan güç sisteminin tek hat şeması	57
Şekil 5.3	Simulasyonu yapılan devrenin Simulink'te kurulmuş olan modeli	58
Şekil 5.4	Simule edilen geçici olay örnekleri a) kondansatör anahtarlama b) tek faz toprak arızası c) (endüktif) yük anahtarlama.....	58
Şekil 5.5	Dalgacık dönüşümü yapılan dalganın ayrıştırma katsayıları grafiği	60
Şekil 5.6	Dalgacık ayrıştırması ağaç modeli.....	61
Şekil 5.7	Tek faz toprak kısa devresi dalga şeklinin Wavelet Toolbox ile dalgacık bileşenlerine ayrılması	62
Şekil 5.8	Yük anahtarlama dalga şeklinin Wavelet Toolbox ile dalgacık bileşenlerine	

	ayrılması.....	63
Şekil 5.9	Olasılıksal sinir ağlarının çalışma mantığı.....	64

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Güç sistemi elektromanyetik olay karakteristikleri ve kategorileri	8
Çizelge 5.1 Benzetimi yapılan arıza verilerinin dalgacık analizi sonrası YSA için giriş yapısının oluşturulması	62
Çizelge 5.2 YSA'nın eğitilmesi	66
Çizelge 5.3 Sınıflandırıcının performans değerlendirmesi	67

ÖNSÖZ

Bu tezde, elektrik güç sistemlerinde oluşan geçici durumların dalgacık (wavelet) analizi ile incelenmesi ve olasılıksal sinir ağları tabanlı bir yapay zeka sınıflandırıcısı ile tanınması ve sınıflandırılması uygulanmıştır. Yapılan simülasyonlar sonucunda, ülkemizdeki mevcut güç sistem korumasına destek olarak kurulabilecek bu yapay zeka tabanlı koruma sisteminin teorik altyapısı oluşturulmuştur.

Bu tezin hazırlanmasında emeği geçen danışmanım Yrd.Doç.Dr. Aslan İnan'a yardımlarını, bilgi ve tecrübelerini esirgemediği için teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca tez çalışmalarım boyunca bana destek olan ve sabır gösteren eşim Dila'ya ve tüm aileme minnettarım. Onlar olmasaydı bu çalışmayı gerçekleştiremezdim.

ÖZET

Güç sistem geçici olaylarının, ileri işaret işleme ve örüntü tanıma tekniği kullanarak karakterize edilmesi ve sınıflandırılmasını gerçekleştirecek bir araştırma yapılmıştır. Dalgacık (wavelet) analizi yardımıyla alınan bilgiler kullanılarak güç sistemi arıza tanıma otomasyonu yöntemi önerilmiştir. Güç sistemi operatörleri için bir yapay danışman olması amacıyla geliştirilen sistemde, güç sistemlerindeki geçici olayları karakterize etmek için dalgacık analizi uygulanmış ve bu analizden geçici olay dalga şekli ile ilgili özellikler çıkarılmıştır. İşareti yüksek frekans içeriğine sahip detay ve alçak frekans içeriğine sahip yaklaşım katsayılarına ayırmak için Daubechies dalgacık ailesi kullanılmıştır. Bu yöntemin geçici olayları ve kombinasyonlarını karakterize etmekte etkinliği değerlendirilmiştir. Sınıflandırma yöntemi olarak, olasılıksal sinir ağları kullanılmış ve bu yöntemle geçici olayın hangi arıza sınıfına ait olduğu tespit edilebilmiştir. Her geçici olay için dalgacık katsayı detayları karakteristik olduğundan dolayı, bu katsayılar olasılıksal sinir ağlarında dalga şekillerini ve bununla beraber geçici olayları birbirinden ayırmada kullanılmışlardır.

Sistemin performansı, Matlab/Simulink ortamında simule edilen geçici olaylar üzerinde değerlendirilmiştir. Simulasyonu yapılan veriler için olasılıksal sinir ağları, eğitim kümesinde %99.4 ve test kümesinde %96.7 doğruluk oranı vermiştir. Sonuçlar, hem sınıflandırmanın hassasiyeti ve kullanılan dalga şekli özellikleri açısından üstün bir performans olarak değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Güç sistem geçici olayları, dalgacık analizi, wavelet analizi, arıza sınıflandırma; olasılıksal sinir ağları, hata tanıma

ABSTRACT

An investigation into the characterization and classification of power system transients, using advanced signal processing and pattern classification techniques has been realized. Automation of power system fault identification using information conveyed by the wavelet analysis of power system transients is proposed. In the system developed, which is intended to act as an artificial consultant to power systems operators, the implementation of wavelet analysis was for characterizing transients in power systems and to extract features from them. The Daubechies wavelet family used in this thesis decomposes the signal into details and approximations, which contain the high and low frequency content of the signal, respectively. The usefulness of this method in characterizing the transients as well as their combination is evaluated. As a classification method, the probabilistic neural network (PNN) has been used to identify the corresponding class of a transient. Because the wavelet detail coefficient for each type of simple fault is characteristic in nature, these coefficients are used in PNN for distinguishing between the waveforms and hence the faults.

The performance of the system is evaluated on simulated transients in Matlab/Simulink Environment. For the simulated data, the PNN yielded an average accuracy of 99.4% with the training set and 96.7% with the testing set of data. The results show superior performance, both in the accuracy of the classification and selection of the waveform features used.

Key Words: Power system transients, wavelet analysis, fault classification, probabilistic neural networks, fault recognition

1. GİRİŞ

Elektrik enerji sistemleri modern toplumların temel yapıtaşlarıdır. Kullanım amaçları, enerji ihtiyacını güvenilir, emniyetli ve sürdürülebilir şekilde en yüksek kalite ile karşılamaktır. Enerji iletim ve dağıtım sistemleri, planlanmış manevralar veya arızalar ya da yıldırım darbeleri gibi öngörülemez olaylar nedeniyle sürekli bozulmalara maruz kalırlar. Elektromanyetik geçici olaylar olarak adlandırılan böyle bozulmalar, elektrik güç iletim kalitesini olumsuz yönde etkileyerek istenmeyen vakalar olarak nitelendirilirler. Elektrik güç tüketicileri ve güç sistemlerinde kullanılan cihazlar, geçici olayların mevcudiyetinden etkilenirler. Geçici olayların etkileri, enkandasen lambalardaki zor farkedilebilen fliker olayından milyonlarca tüketiciyi etkileyebilen kitlesel kesintilere kadar değişik bir yelpazeye ulaşabilir. Güç kalitesi olgusundaki son yıllarda oluşan hassasiyet; güç sistem endüstrisini, yeni kurulan altyapı ve mevcut altyapıyı işletirken geçici olayların olumsuz etkilerini en aza indirecek şekilde, “akıllı” yöntemler geliştirmeye mecbur bırakmıştır. Bu araştırmanın esas amacı, Türkiye şebekeleri için güç sistem operatörlerine hızlı ve doğru danışmanlık yapabilen yapay zekalı bir yardımcı sunmaktır. Böyle bir sistem geliştirirken kritik görev, geçici olayların altında yatan özellikleri incelemek ve bunları belirlemek için kullanılacak uygun işaret analizi tekniğinin seçilmesi ve sonrasında tanıma ve sınıflandırmanın gerçekleştirilmesidir. Böyle bir sistemi geliştirmek için gereken adımlar

- Çeşitli hata senaryo oluşturarak benzetim yöntemiyle dalga şekillerini elde etmek.
- Dalga şekillerinin altında yatan geçici olayları ortaya koyabilecek güvenilir ve kararlı bir yöntemin elde edilmesi ve uygulanması
- Geçici olayların hızlı bir biçimde sınıflandırılması, güç sistemleri operatörüne, ilgili geçici olayın ne sebeple olduğunun anlatılması için sınıflandırma metodunun tespit edilip uygulanması.

Bu önemli görevler hakkında bazı detaylar bu bölümde anlatılacak olsa da, konuların ayrıntılı incelemesi tezin daha sonraki bölümlerine bırakılmıştır.

Sınıflandırma algoritması geliştirmek için, güç sistemlerinde çeşitli durumlarına ortaya koyulması gerekmektedir. Bu tezde, bu geçici durumlar devrelerin simule edilmesiyle gerçekleştirilmiştir ve bu simulasyon Matlab / Simulink programı ile ortaya koyulmuştur. Simulasyonlarda tek fazlı arıza, kapasitör anahtarlama ve yük anahtarlama operasyonları kullanılmıştır.

Dalga şekli özellikleri, işaretlerin birbirlerinden ayırt edilmelerini sağlayan karakteristik değerleridir. İşaretleri (sinyalleri) özelliklerine göre belirlemek için mümkün olduğu kadar az

sayıda özellik kullanımı esastır. Bir diğ er önemli konu, çıkartılan özelliklerin oluşturduğu matris ya da vektör, işaretin temel özelliklerini kaybetmemelidir. Özellik  ıkartma ya da belirleme algoritması, analiz edilen işaretlerin doğasına bağlı olarak değişir.

G c sistemlerindeki geçici olaylar kısa-süreli, sabit olmayan ve normalde periyodik olmayan dalga şekilleridir. Geleneksel işaret analiz yöntemleri – Fourier Analizi gibi – farklı işaretlerin analizinde sayısız uygulamalara sahip olsa da, geçici olaylarda etkinlikleri kısıtlıdır. Bunun sebebi geçici olayların periyodik olmamasıdır. Çünkü Fourier yöntemleri temel olarak periyodik dalga şekillerini ele alır; g c sistem geçici olaylarının analizi, çoğunlukla hem zaman hem de frekans analizi içermektedir ve daha gelişmiş işaret işleme tekniklerinin uygulanmasını gerektirmektedir. Çünkü doğada olmadığı gibi g c sistemlerinde de , sadece tek frekanslı işaretler yoktur, frekansları zamanla değişebilen geçici durumlar vardır. Genellikle frekans, bir işaretin sıfırdan geçme periyodunun tüm zamanlar için aynı olması gerçeğine göre tanımlanır; ve frekans periyodla ilişkilendirilir. Ancak işaretleri tanımlarken bir de “anlık frekans” vardır ki bu değer zamanın veya işaret s rekliiliğinin bir fonksiyonu olarak ifade edilir. Buna, insan sesinin 20Hz ile 20kHz arasında anlık frekans üretmesi örnek gösterilebilir. İşte dalgacık, diğ er adıyla wavelet analizi böyle işaretleri (sinyalleri) analiz etmek için geliştirilmiştir.

Bu tezde ileri işaret işleme tekniği olarak bu nedenle dalgacık analizi kullanılmıştır. Bu yöntem sabit olmayan işaretlerin incelenmesi için faydalı yöntemler sunmaktadır ve hem zaman hem de frekans boyutu bilgilerini korumaktadır.

Sınıflandırma, geçici olay dalga şekillerinin uygun sınıflara göre atanmasını anlatmaktadır. Hangi sınıflandırma algoritmasının uygulanması gerektiği ile ilgili çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bu araştırma faaliyetlerinin çoğunda yapay sinir ağları kullanılmıştır. İncelenen araştırmalarda, yapay sinir ağları g c sistem geçici olaylarının sınıflandırmasında çok yüksek tanıma oranı doğruluğuna sahip olduğundan dolayı, diğ er alternatifler olan Bayes kuralı ve en yakın komşu sınıflandırıcı yöntemlerine göre YSA seçilmiştir. Öncelikle, daha önce yapılan çalışmaların çoğundan farklı olarak, sınıflandırma yaparken geçici olayın tipi (sönümlü olup olmadığı, süresi, frekansı) değil, neyin geçici olaya neden olduğu belirlenmeye ve sınıflandırılmaya çalışılmıştır. Bu, g c sistem operatörüne g c sisteminde oluşan geçici olaylar karşısında ne yapılması gerektiğine karar vermesini sağlayacak eşsiz bilgiler vermektedir.

Bahse değer önemli bir nokta, nonlinear çekirdekli transformatörler gibi elemanların

varlığının güç sistemlerini nonlinear yapmasıdır (doyma, histerezis ve etkileşen birçok alt sistem). Nonlinear sistemlerde çözümlerin tekilliği soru işaretidir. Bu tezde incelenen sistem kararlıdır ve yakınsaklık göstermiştir; bu nedenle, çözümün tekilliği ile ilgili kaygıları ortadan kaldırmıştır.

Bu tezin ana amacı dalgacık analizini kullanarak, güç sistem operatörünü geçici olayların güçlü ve güvenilir şekilde tespit, analiz ve sınıflandırılması ile destekleyecek bir yapay zeka danışmanının geliştirilmesi için kuvvetli bir temel oluşturmaktır. Bu amacı gerçekleştirmek için aşağıdaki iki maddeye özen gösterilmiştir:

- Geçici olayların doğasını en iyi anlatacak en az sayıda özelliği ortaya koymak için dalgacık analizinin kullanılması
- Hızlı bir şekilde uygulanabilecek ve doğru sonuçlar üretebilecek bir sınıflandırma metodolojisi olarak olasılıksal sinir ağlarının uygulanması

Daha önce yapılan, genellikle ya sadece özellik çıkartımı ya da sadece sınıflandırma üzerine yoğunlaşan çoğu çalışmanın aksine, bu çalışmada özellik çıkartımı ve sınıflandırmaya eşit ağırlık vermiştir. Ayrıca, sınıflandırıcının doğruluk oranını etkilemeden kullanılacak özellik sayısının en azda tutulması da tezde büyüteç altına alınan konular arasında olmuştur.

Matematiğin tarihinde, dalgacık analizinin derin kökleri vardır. İncelemelerin çoğu 1930’larda yapılmıştır. Bilimadamlarının birbirlerinden bağımsız yaptıkları bu çalışmalar, düzgün bir teori oluşturmamıştır. 1930’dan önce, dalgacıklara yönelen matematik 1807 yılında Joseph Fourier ve frekans analizi ile başlamıştır. Fourier’in attığı temellerin çok önemli ve etkili olduğu ispatlanmıştır. Farklı ölçeklerdeki dalgalanmaların ölçen bir yaklaşımın gürültü için daha az hassas olduğu ispatlanınca araştırmacıların dikkati yavaş yavaş frekans temelli analizden ölçek temelli analize kaymıştır.

Şimdi dalgacık adı verilen, bu konuyla ilgili ilk yayın Alfred haar tarafından 1909 yılındaki teziyle yayınlanmıştır. Bugünkü teorik biçimi ile dalgacık konsepti Jean Morlet ve Marseille Teorik Fizik Merkezi’nde Alex Grossman altında çalışan ekip tarafından önerilmiştir. Dalgacık analizinin yöntemleri genel olarak Y.Meyer (1989) ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir ve tartışmaya açılmıştır. Ana algoritmanın bulunması 1988 yılında Stephane Mallat’ın çalışmasına kadar gitmektedir. Ondan sonra, dalgacıklar üzerinde yapılan araştırmalar uluslararası alanda yapılmaya başlanmıştır. Bu tip araştırmalar özellikle A.B.D.’de aktif durumdadır, öncüleri ise Ingrid Daubechies (1991), Ronald Coifman (1991) ve Victor Wickerhauser (1991)’dir. Dalgacıkların araştırma sahası çok hızlı büyümektedir ve her ay yüzlerce matematiksel ve mühendislikteki uygulamalarını içeren yayın üretilmektedir.

Yapay sinir ağlarının tarihçesi beynin yapısı ve fonksiyonları konusuna insanların ilgi duyması ve elde ettikleri bilgileri bilgisayar bilimine uygulamaları ile başlamaktadır. Matematikçi Warren Mc Culloch'un ve de nörofizyolojist Walter Pitts'in 1943 yılında sinir hücreleri nasıl çalıştıkları hakkında hazırladıkları çalışma yapay sinir ağlarının araştırılması konusunda bir başlangıç olarak gösterilebilir. Bu tarihte McCulloch ve Pitts, ilk hücre modelini geliştirmişlerdir. 1949 yılında Donald Hebb, yapay hücrelerden oluşan bir yapay sinir ağının hücre bağlantılarını ayarlamak için ilk öğrenme kuralım önermiştir. "Hebbian öğrenme Kuralı" denilen bu kural günümüzde de birçok öğrenme kuralının temelini oluşturmaktadır. 1958 yılında Frank Rosenblatt tarafından geliştirilen algılayıcı model (perceptron) yapay sinir ağları tarihinde önemli bir gelişmeye öncülük etmiştir. Çünkü bu model, daha sonraları geliştirilecek ve yapay sinir ağlarında devrim niteliğinde olacak olan çok katmanlı algılayıcıların temelini oluşturmaktadır. 1959 yılında Bernard Widrow ve Marcian Hoff adlı bilim adamları ADALINE (ADaptive LInear NEuron) ağ modelini geliştirmişlerdir. Bu model Rosenblatt'ın algılayıcı modeli ile aynı niteliklere sahip bir model olup sadece öğrenme algoritması gelişmiş bir modeldir. 1969 yılında, Minsky ve Papert, algılayıcının kesin analizini yapmış ve algılayıcıların doğrusal (lineer) olmayan problemlere çözüm üretemediğini ispatlamıştır. 1974 yılında Werbos çok katmanlı algılayıcılar konusunda çalışmalar yapmış ve geriye yayılım algoritmasının temellerini atmıştır. 1986 yılında Rummehart ve arkadaşları paralel programlama konularındaki çalışmalarını yazdığı eserleriyle ortaya koymuş ve geriye yayılım algoritmasını geliştirerek XOR problemini çözebildiğini ispatlamıştır. Çok katmanlı algılayıcıların bulunması yapay sinir ağlarının tarihsel gelişimi açısından çok önemli bir adım olmuştur. Bu çalışmalardan sonra yapay sinir ağlarına olan ilgi yeniden ateşlenmiştir. Çünkü tek katmanlı algılayıcının çözemediği XOR problemi çok katmanlı algılayıcıların bulunması ile çözülmüştü. 1982 yılında Fukushima görsel şekil ve örüntü amaçlı geliştirdiği NEOCOGNITRON modelini tanıttı. Bu model önceleri öğretmensiz öğrenme yapan bir model olacak şekilde geliştirilmesine rağmen öğretmenli öğrenme yapacak hale getirilmiştir. 1988'de Broomhead ve Lowe Radyal tabanlı fonksiyonlar (Radial Basis Functions- RBF) modelini geliştirdiler. Çok katmanlı algılayıcılara alternatif olarak geliştirilen bu ağ, çok boyutlu uzayda eğri uydurma ve filtreleme problemlerinde oldukça başarılı sonuçlar türettiler. 1988 yılında Chua ve Yang hücresel sinir ağlarını geliştirdiler. Bu ağ, hücre adı verilen yapı taşlarının iki-boyutlu ızgara biçiminde bir bağlantı geometrisi ile dizilmesinden oluşmuştur. Ağın ana uygulama alanı görüntü işlemedir. Specht(1991) tarafından 1988 ve 1991 yılında Olasılıksal Sinir Ağları ve Genelleştirilmiş Regresyon Ağları RBF ağları temel alınarak geliştirilmiştir. Bu tarihten bu yana yapay sinir

ağlan ile ilgili sayısız uygulama çalışmaları yapılmıştır. (Erkmen, 2006)

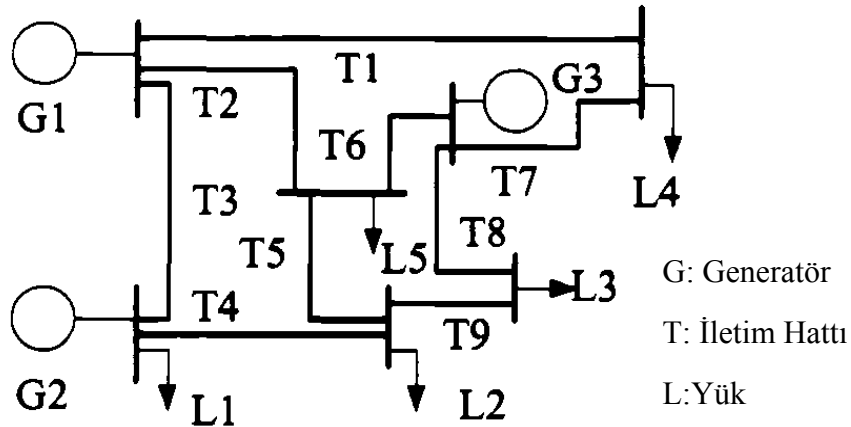
Hem dalgacık analizi, hem de bu analizle elde edilen dalgacık katsayılarının YSA'da kullanılması literatürde 2000'li yıllardan sonra tercih edilemeye başlanmıştır. Bunlara örnekler Brezilya'dan Silva ve Souza'nın (2006) Brezilya elektrik şebekesinden elde ettiği verilerle yaptığı hata tanıma analizi, Kanada'da yapılan tez çalışmaları (Fan Mo, 2002 ; Jin Chen, 2003); Hindistan'da yapılan araştırmalar (Kashyap, Shenoy, 2006) ve Tayland'lı bilimadamlarının çalışmaları örnek gösterilebilir (A. Ngaopitakkul, A. Kunakorn ve S. Bunjongjit, 2004). Tüm bu çalışmalarda veriler simule edilerek veya gerçek değerler kullanılarak elde edilen geçici olay dalga şekilleri %95'in üzerinde doğruluk oranı ile tespit edilmiş ve sınıflandırılmıştır.

2. ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE BOZULMALAR VE GEÇİCİ OLAYLAR

2.1 Elektrik Güç Sistemleri – Genel Bir Bakış

Elektrik güç sistemleri insanoğlu tarafından yaratılmış en büyük dinamik sistemler olarak bilinir ve elektrik enerjisinin üretimi, iletimi ve dağıtımı için kullanılırlar. Genellikle , elektrik tüketim merkezlerinin uzağında üretilir ve sanayi bölgeleri ve nüfus yoğunluğunun fazla olduğu bölgelere uzun yüksek gerilim hatları vasıtasıyla taşınır. Dağıtım sistemleri ise genellikle nüfusun yoğun olduğu yerlerde yoğunlaşmıştır ve esasen gerilim seviyesini tüketicilerin kullandığı seviyeye indirmek için kullanılırlar.

Güç sistemleri genellikle birbirleri ile daha büyük sistemler kuracak şekilde birleştirilirler. Bu, güç iletiminin güvenilirliği ve kararlılığını artırmak için yapılır. Böyle enterkonnekte güç sistemleri genellikle büyük coğrafi alanları kapsar; farklı (hidroelektrik, termik, nükleer vb.) kaynaklardan güç üreten çok çeşitli güç üretim santrallarını, çeşitli uzunluklarda çok sayıda iletim hatlarını, binlerce transformatörü içerebilir ve milyonlarca enerji tüketicisine güç sağlayabilir. Şekil 2.1 tipik bir güç sisteminin şematik diyagramını göstermektedir. Gerçek bir güç sisteminde yükler binlerce tüketici cihazının karmaşık bir kombinasyonudur; böyle karmaşık kombinasyonlar ve diğer sistem bileşenlerinin dinamik davranışları, güç sisteminin kontrol ve işletmesinde ileri kontrol ve koruma tekniklerinin uygulanmasını gerektirir.



Şekil 2.1 Bir güç sisteminin şematik diyagramı (Glover ve Sarma, 1987)

Elektrik enerjisinin çevre ve enerji kalitesi açısından güvenli bir şekilde temin edilmesini

sağlamak için çeşitli kontrol ve koruma katmanları uygulanmaktadır, bu uygulamalar şebekenin doğru işletilmesi, şebeke elemanlarının ve enerji tüketicilerinin düzgün şekilde korunmasını garanti etmektedir. Enterkonnekte güç sistemlerinin rolü, kullanıcılara güvenilir, emniyetli ve temiz bir enerji kaynağı sağlamaktır.

2.2 Güç Kalitesi

Vazgeçilmez bir enerji kaynağı olan elektrik enerjisini üreten, ileten ve dağıtan kuruluşların görevi; kesintisiz, ucuz ve kaliteli bir hizmet tüketicilerine sunmaktır. Güç kalitesi kavramında maksat, sabit şebeke frekansında; sabit ve sinüsoidal biçimli uç gerilimidir.

Ancak bu tür enerji pratikte bir takım zorluklarla sağlanabilir. Güç sistemine bağlanan bazı elemanlar ve bunların yol açtığı olaylar sebebiyle tam sinüsoidal değişimden sapmalar olabilmektedir. Tam sinüsoidal'den sapma, genellikle harmonik adı verilen bileşenlerin ortaya çıkması ile ifade edilir ve buna sebep olan etkenlerin başında ise manyetik ve elektrik devrelerindeki lineersizlikler (nonlineerlik) gelir.

Kaliteli Elektrik Enerjisi, şebekenin tanımlanan bir noktasında, gerilimin genlik ve frekansının anma değerlerini koruması ve gerilim dalga şeklinin sinüs biçiminde bulunmasıdır.

Bu tanımın tersi olarak, gerilimin genliğinin değişmesi, kesintiler, gerilim darbeleri, fliker, gerilimin doğru bileşen içermesi, dalga şeklinin sinüsten uzaklaşması, frekans değişimleri, üç faz dengesizlikleri enerji kalitesizliğidir.

Enerji kalitesi çoklukla yük tarafından bozulur. V-I karakteristiği lineer olmayan yükler şebekeden sinüs olmayan akımlar çeker ve bu akımlar şebekede sinüs olmayan gerilim düşümleri oluşturarak besleme noktasındaki gerilimin dalga şeklini bozar.

Gerilim ve/veya akım dalga şekli sinüs biçiminde değilse, bu dalgaya Fourier analizi uygulanarak harmonikler bulunur.

2.3 Güç Kalitesi Problemlerinin Genel Olarak Sınıflandırılması

Endüstriyel ekipman ve işlemlerin doğru çalışmasını engelleyen elektromagnetik karışıklıklar, iletilen ve yayılan karışıklıkla bağıntılı olarak çeşitli sınıflar içerisinde sıralanmıştır: i. Alçak frekans (< 9 kHz), ii. Yüksek frekans (≥ 9 kHz), iii. Elektrostatik deşarj. Güç kalitesi ölçümleri, genelde karakteristikleri alçak frekansla iletilen elektromagnetik karışıklıkları göstermektedir: Gerilim azalmaları ve kesintiler, harmonikler ve araharmonikler, süresiz güç

frekansı aşırı gerilimleri, gerilim artmaları, geçici aşırı gerilimler, gerilim salınımları, gerilim dengesizliği, güç frekansı değişimleri. Bu tip karışıklıklar dört kategoride yer alabilir: i. Genliği etkileyenler, ii. Dalgabiçimi, iii. Frekans, iv. Gerilim simetrisi (Ferracci, 2001).

Çizelge 2.1 IEEE Güç Mühendisleri Komitesi için elektromanyetik olayların sınıflandırılmasını göstermektedir. Çizelgede listelenmiş olaylar, daha başka bir biçimiyle kendine ait özelliklerin listelenmesiyle ifade edilmektedir. Sürekli hal olay yaklaşımları için, belirtilen nitelikler kullanılabilir: Genlik, frekans, spektrum, modülasyon, kaynak empedansı, çentik derinliği, çentik alanı. Sürekli olmayan olay yaklaşımları için, gereksinim duyulan nitelikler şunlar olabilir: Yükseliş oranı, genlik, süre, spektrum, frekans, modülasyon, tekrarlama oranı, enerji potansiyeli, kaynak empedansı.

Çizelge 2.1 Güç sistemi elektromanyetik olay karakteristikleri ve kategorileri (Dugan, McGranaghan ve Beaty, 1996).

Kategoriler	Spektral İçerik	Süre	Gerilim Genliği
1. Geçici Olaylar			
1.1 Darbeli			
• Nanosaniye	5-ns yükseliş	<50 ns	
• Mikrosaniye	1-µs yükseliş	50 ns-1 ms	
• Milisaniye	0.1-ms yükseliş	>1 ms	
1.2 Titreşimli			
• Alçak frekans	<5 kHz		
• Orta frekans	5-500 kHz	0.3-50 ms	0-4 pu
• Yüksek frekans	0.5-5 MHz	20 µs	0-8 pu
		5 µs	0-4 pu
2. Kısa süreli değişimler			
2.1 Ani			
• Kesinti (interruption)		0.5-30 çevrim	<0.1 pu

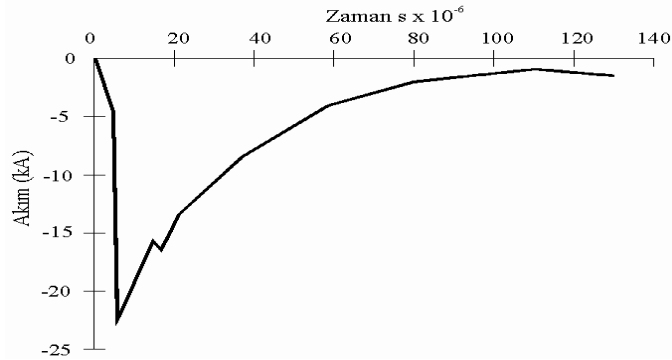
• Azalma (sag-dip) • Artma (swell)		0.5-30 çevrim	0.1-0.9 pu
2.2 Anlık		0.5-30 çevrim	1.1-1.8 pu
• Kesinti (interruption)		30 çevrim-3 s	<0.1 pu
• Azalma (sag-dip)		30 çevrim-3 s	0.1-0.9 pu
• Artma (swell)		30 çevrim-3 s	1.1-1.4 pu
2.3 Geçici			
• Kesinti (interruption)		3 s-1 dakika	<0.1 pu
• Azalma (sag-dip)		3 s-1 dakika	0.1-0.9 pu
• Artma (swell)		3 s-1 dakika	1.1-1.4 pu
3. Uzun süreli değişimler			
3.1 Kesinti		>1 dakika	0.0 pu 0.1-0.9 pu
3.2 Gerilim düşmesi		>1 dakika	1.1-1.2 pu
3.3 Gerilim artması		>1 dakika	
4. Gerilim dengesizliği		Sürekli hal	0.5-2 %
5. Dalga biçimi bozulmaları			
5.1 dc ofset		Sürekli hal	0.5-0.1 %
5.2 Harmonikler	0-100. harmonik	Sürekli hal	0.5-20 %
5.3 Araharmikler	0-6 kHz	Sürekli hal	0-20 %
5.4 Çentik			
5.5 Gürültü	Geniş bant	Sürekli hal	0-1 %
6. Gerilim dalgalanmaları	<25 Hz	Süreksiz	0.5-7 %
7. Güç frekansı değişimleri		<10 s	

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Koordinasyon Komitesi 22 (IEEE SCC22) Enstitüsü güç kalitesi standartlarının oluşturulması hususunda esas çalışmaların yapılması açısından liderlik yapmıştır. Bu çalışma, aslında IEEE'nin birkaç kurumu arasında paylaşılması gereken bir sorumluluk olup, prensip olarak Endüstri Uygulamaları Kurumu (IAS) ve Güç Mühendisliği Kurumu (PES) ortak sorumluluğu altındadır. Uluslararası çalışmaları, Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) ve Yüksek-Gerilim Geniş Alan Sistemlerinde Uluslararası Konferans (CIGRE) birleşmeleri şeklinde koordine eder.

2.3.1 Geçici Olaylar

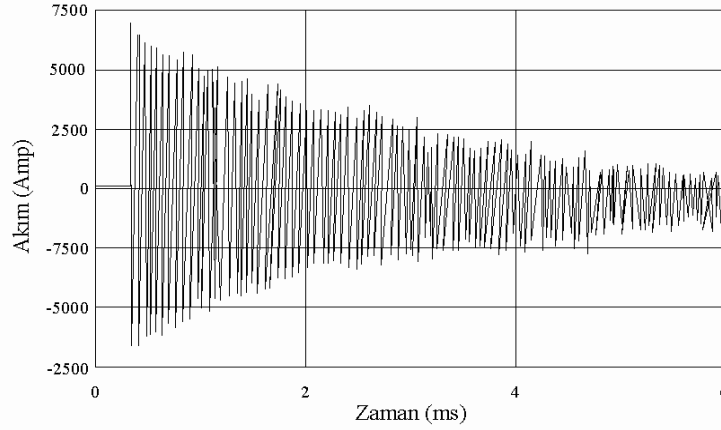
Bu terim bir geçici gerilim yükselmesi olarak bilindiği gibi, aynı zamanda güç veya bilgisayar data hattından birinde oluşan karışıklık olarak da çevrilebilir (Thiruvengadam, 2000). Güç sistemi değişimlerinin analizinde istenmeyen, gerçekte anlık bir olayı anlatmak amacıyla kullanılmaktadır. Geçici olaylar iki kategoride sınıflandırılabilir: i. Darbesel olanlar, ii. Titreşimli olanlar. Bu tanımlamalar, bir akım veya gerilim dalga şeklini yansıtmaktadır.

● **Darbesel Geçici Olay:** Darbesel geçici olay, polarite bakımından tek yönlü gerilim, akım veya bunların her ikisinin sürekli hal koşulunda güç frekansında olmayan ani bir değişimdir. Darbe şeklindeki geçici olaylar, artma ve azalma süreleri ile karakterize edilirler. Örnek olarak, bir $1.2 \times 50 \mu s$ 2000 V darbesel geçici olayı, nominalde sıfırdan, onun tepe değeri olan 2000 V değerine $1.2 \mu s$ süresinde ulaşır ve yarı tepe değerine $50 \mu s$ süresinde düşer. Bir darbesel geçici olayın en bilineni, yıldırım oluşumudur. Şekil 2.2 yıldırımla oluşan bir akım darbesel geçici olayını resimlemektedir.



Şekil 2.2 Yıldırım darbesi akımı darbesel geçici olayı (Dugan, McGranaghan ve Beaty, 1996).

• **Titreşimli Geçici Olay:** Titreşimli geçici olay, darbesel geçici olay gibi çabuk bozulmaya uğramaz. 0.5-3 çevrim aralığında devam etme eğilimindedir ve iki kez de nominal gerilim-akıma ulaşır. Titreşimli geçici olayın bir diğer nedeni, dağıtım sistemi üzerindeki güç hatlarının ve ekipmanın anahtarlanması olmaktadır (Kennedy, 2000). Ard arda kapasitör enerjilendirilmesinde, Şekil 2.3’de ifade edilen titreşimli geçici olay akımı onlu kilohertzler mertebesinde sonuçlanmaktadır.



Şekil 2.3 Ard arda kapasitör anahtarlanmasıyla oluşan titreşimli geçici olay akımı (Dugan, McGranaghan ve Beaty, 1996).

Kablo anahtarlama, aynı frekans dizisi içerisinde titreşimli geçici olayların oluşmasına neden olur. Orta frekans geçici olayları, aynı zamanda sistemin bir darbesel geçici olaya tepkisinin sonucudur.

2.3.2 Uzun Süreli Gerilim Değişimleri

Uzun-süreli değişimler, bir dakikadan daha uzun bir süreç için güç frekanslarında efektif değer değişimlerine göre ifade edilen değişimlerdir. ANSI C84.1 bir güç sisteminde beklenen sürekli durum gerilim tolerans değerlerinin belirlenmesi için ortaya konulmuş bir standarttır. Bir gerilim değişikliği, ANSI sınırlamaları 1 dakikadan daha büyük bir değer için aşıldığında, uzun süreli bir değişim olarak ifade edilir. Gerilim yükselmeleri veya gerilim azalmaları, genel olarak sistem hatalarının bir sonucu değildir, fakat sistemdeki anahtarlama işlemleri ve yük değişimleri tarafından oluşturulurlar.

• **Gerilim yükselmesi:** Birkaç saniye veya daha uzun bir süre için kaynak gerilim sınırının üzerindeki bir durumdur. Gerilim yükselmesi gerilim regülatörlerinin veya kapasitörlerin uygunsuz ayarlanmaları gibi nedenlerden kaynaklanır (Jose, 2000). Uzun süreli gerilim yükselmeleri, gerilim artmalarına bir yakınlık gösterir, fakat daha uzun sürede sonlanırlar.

Gerilim artmaları gibi, nominal gerilimin % 110'u aştığında oluşan rms gerilim değişimleridir (Kennedy, 2000). Gerilim yükselmesinin üçü tipi vardır: Geçici güç frekansı, anahtarlama ve yıldırım gerilim yükselmeleri (Ferracci, 2001).

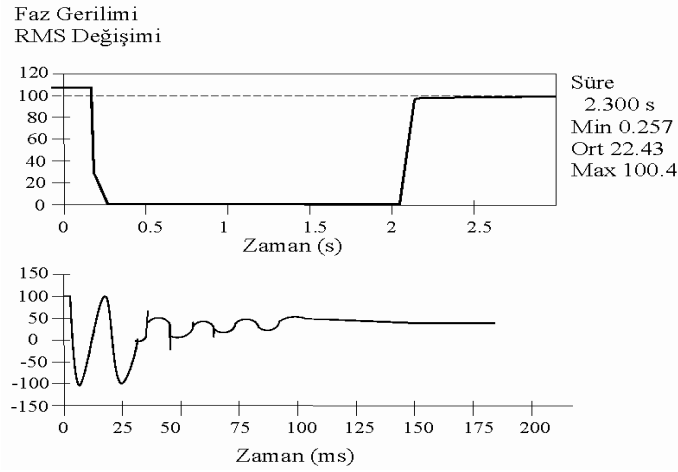
- Gerilim düşmesi: Birkaç saniye süresince servis geriliminin, nominal alçak gerilim işletme limitinin altına düştüğü durum, bir gerilim düşümüdür. Aşırı yüklerden dolayı bir gerilim düşümü veya şebeke sisteminde oluşam gerilim azalmaları birer örnektir (Jose, 2000). Son kullanıcılar tarafından ışıklar sönmeye başladığı ve motorlar yavaşlama eğilimine girdikleri zaman farkedilirler.

- Sürekli kesintiler: Bir kesinti tamamıyla gerilimin kaybolmasıdır, genel olarak sonlanması birkaç çevrimden birkaç saate kadar sürer. Eğer bir kesinti 0.5-150 çevrim dizisi içerisinde ise anlık bir kesinti olarak sınıflandırılabilir. 3 saniyeden 1 dakikaya kadar olan kesintiler kısa süreli kesintiler olarak ifade edilir

2.3.3 Kısa Süreli Gerilim Değişimleri

Bu kategori, gerilim azalmalarıyla ve kısa kesintilerle ilgili IEC kategorisini çevrelemektedir. Değişikler, Çizelge 2.1'de tanımlandığı gibi oluşum sürelerine bağlı olarak ani, anlık ve geçici olmaktadır. Kısa süreli gerilim değişimleri, hata şartlarının oluşmasından, yüksek başlangıç akımları gerektiren büyük yüklerin enerjilendirilmesinden veya güç iletiminde kesik kesik kayıpların oluşmasından kaynaklanan değişimlerdir. Hata yerine ve sistem şartlarına göre, gerilim yükselmelerinin oluşmasına veya gerilimin yok olmasına neden olabilirler.

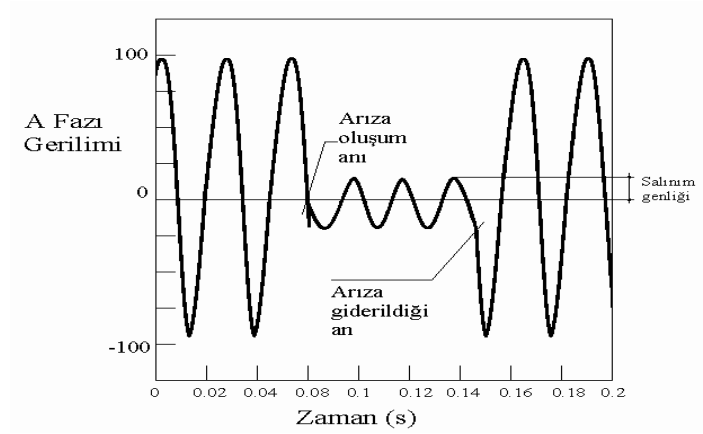
- Kesinti: Kesintiler nominal gerilimin % 10'unun altına bir düşüş olması gibi bir gerilim kaybının oluşması anlamına gelmektedir. IEEE Std. 1159-1995, üç tip kesinti tanımlaması yapar. Kesintilerin oluştuğu zaman periyotları ile kategorize edilmişlerdir: Anlık, geçici ve uzun süreli kesintiler (Kennedy, 2000). Şekil 2.4 üç çevrim civarında yüzde 20 olarak beliren gerilim salınımı gibi anlık bir kesintiyi göstermektedir.



Şekil 2.4 Bir arıza ve tekrar kapama işleminden dolayı anlık kesintinin oluşumu (Dugan, McGranaghan ve Beaty, 1996).

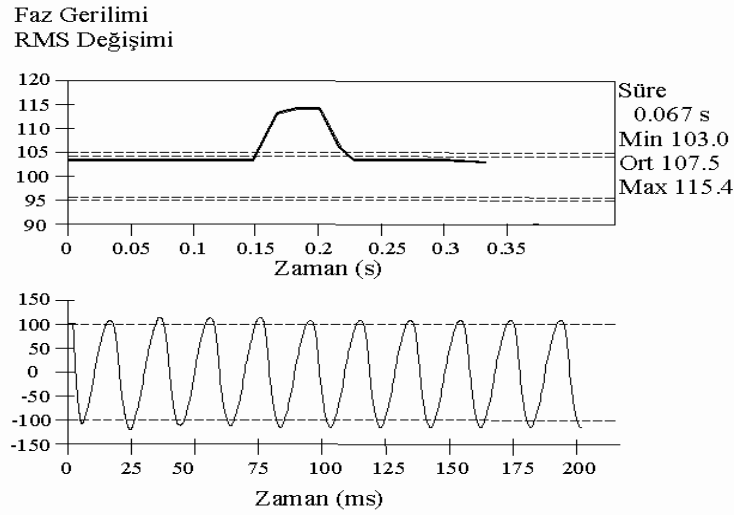
Tekrar enerjilendirme aygıtı kapama yapana kadar geçen 1.8 s içerisinde sıfıra düşer. Salınım dalga biçimi bir ark oluşumu hatasının benzeridir.

- Azalmalar-salınımlar: Bir azalma veya salınım olayı rms gerilimin 0.1 ve 0.9 pu değerler arasında veya güç frekansında 0.5 çevrimden 1 dakikaya varan sürelerde oluşan azalışıdır. Bir “yüzde 20 azalma” ifadesi gerilimin 0.8 pu veya 0.2 pu olarak sonuçlanması şeklinde ifade edilebilir (Dugan, McGranaghan ve Beaty, 1996). Bir arıza tüketicinin yerleşim noktasından uzağında oluşsa bile gerilim azalmaları meydana gelir. 4-5 çevrim içerisinde sonlansa da, çok hassas tüketici ekipmanlarının geniş bir kısmında açmaya neden olur (Thiruvengadan, 2000). Gerilim azalmaları genellikle sistem arızaları ile bütünleşiktir fakat, aynı zamanda büyük güçlü yüklerin veya büyük motorların çalışmaya başlamasıyla oluşabilir. Örneğin bir indüksiyon motoru kalkış anında tam yük akımının 6-10 katı bir değere ulaşır. Bu kalkış anında çekilen akım sistemdeki o noktada olağan arıza akımına yakın bir değerde olduğundan, oluşan gerilim azalması önemli derecede olabilir. Örnek gerilim azalması Şekil 2.5’de görülmektedir.



Şekil 2.5 Tipik bir gerilim azalması-salınımı (Dugan, McGranaghan ve Beaty, 1996).

- Gerilim veya akım artmaları: Nominal kaynak gerilimindeki kısa süreli artışın birkaç değişik biçimi vardır (% 106'dan büyük değerlerde). Gerilim artmaları, milisaniyeden saniye aralığında sonlanan bir artışı ifade eder (ESAA, 2002). Bir artma olayı efektif değer olarak akım veya gerilimde, güç frekansında 0.5 çevrimden 1 dakikaya kadar olan süreçler içerisinde 1.1 ve 1.8 pu aralığında bir artıştır (Dugan, McGranaghan ve Beaty, 1996). Şekil 2.6'de görüldüğü gibi bir tek faz-toprak arızası süresince hata görmemiş fazlar üzerinde geçici gerilim yükselmesi, gerilim artmasının bir nedenidir.

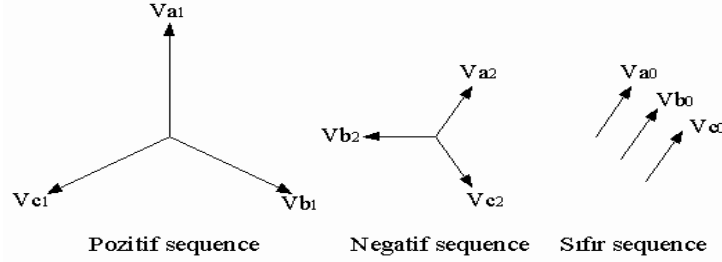


Şekil 2.6 Bir tek faz toprak hatasından kaynaklanan ani gerilim artması (Dugan, McGranaghan ve Beaty, 1996).

Gerilim artmaları, kaynak sisteminde oluşan ani yük artması ve dağıtım gerilim düzenleme ekipmanlarının yanlış ayarlanmasını içeren olayların çeşitliliğidir. Büyük bir kapasitör bankasının enerjilendirilmesi buna neden olabilir (Schinbein ve DeSteeze, 2002).

2.3.4 Gerilim Dengesizliği

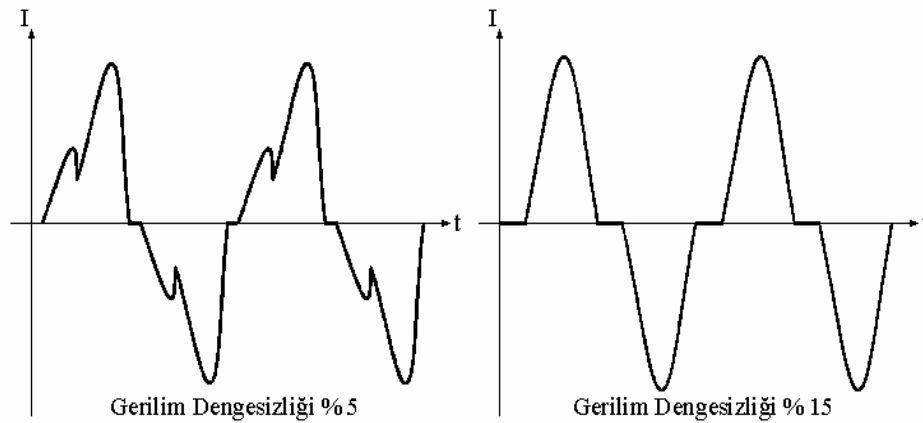
Gerilim dengesizliği olayının derecesini belirlemek için bir sistemin ifade edilebileceği yaygın olarak kullanılan bir tanım mevcuttur. Bu tanım, Avrupa standartlarında geniş olarak kullanılan matematiksel olarak bir dengesiz sistemin üç dengeli sisteme indirgendiği Simetrik Bileşenler teorisidir. Bu üçlü pozitif, negatif ve sıfır bileşendir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Bir gerilim dengesizliği sisteminin simetrik bileşenleri (Integral Energy, 2002).

Kusursuz dengeli bir sistemde, negatif ve sıfır bileşenler bulunmamaktadır (Integral energy, 2002). Gerilim dengesizliği her fazda, üç faz ortalama gerilim değerinden bir sapmanın olmasıdır. Ekipmanların çoğu, özellikle motorlar, gerilim dengesizliğinde % 2'lik bir değişime elverirler. % 2'den daha büyük bir gerilim dengesizliği motorlarda ve transformatörlerde aşırı ısınmaya neden olacaktır (Kennedy, 2000).

Şekil 2.7'de kaynak sistemi dengesizken üç faz diyot doğrultucuların hat akımı dalga biçimleri, gerilim dengesizliğinin % 5 ve % 15 olduğu durumlar için ayrı ayrı görülmektedir.



Şekil 2.8 Kaynak sistemi dengesizken üç-faz diyot doğrultucuların hat akım dalga biçimleri.

2.3.5 Dalga Şekli Bozulması

Dalga şekli bozulması, sapmanın spektral içeriği tarafından karakterize edilen güç frekansının ideal bir sinüs dalga biçiminden sürekli hal sapmasıdır. Dalga biçimi bozulmalarının beş esas biçimi mevcuttur: DC ofset, harmonikler, ara harmonikler, çentikler, gürültü.

- **DC ofset:** Bir AC güç sisteminin içerisinde bir DC akım veya gerilimin bulunması DC ofset olarak tanımlanmıştır. Bu durum geomagnetik bir karışıklığın sonucu veya yarım-dalga doğrultucuların etkisiyle ortaya çıkabilir. Alternatif akım şebekelerindeki doğru akım transformatör çekirdeklerinde zararlı bir etkiye sahip olabilir ve normal çalışmada saturasyona uğrarlar. Bu durum ilave ısınmaya ve transformatör ömrünün azalmasına neden olur.

- **Harmonikler:** Harmonikler bozulmuş bir güç frekansı dalga biçiminin esas frekansta olmayan bileşenleridir. Ana frekansın tam sayı katları şeklinde frekanslara sahiptirler. Harmonik bozulma bir sünüsoidal gerilim ve akımda oluşan bir bozulmadır (Jose, 2000). Harmoniklerin spektrumu yüklerin yapısına bağlıdır. Harmonik gerilimler aynı kaynaktan beslenen diğer tüketicilerin işletmesini de rahatsız edebilecek bozulmuş gerilimler olarak işletme empedansları vasıtasıyla oluşur. Bozulmuş dalga biçimleri, esas frekansın ve harmoniklerin bir toplamı şeklinde ayrıştırılabilir. Harmonik bozulma, güç sistemindeki aygıtların ve yüklerin doğrusal olmayan karakteristiklerinden kaynaklanmaktadır. Harmonik bozulma kademeleri, herbir harmonik elemanın faz açıları ve genlikleri ile harmonik spektrumları tarafından tanımlanmıştır.

- **Ara harmonikler:** Araharmonikler kaynak esas frekansının tamsayı katları olmayan spektral bileşenlerdir. Bir gerilim dalga biçimi araharmonikleri içerdiğinde, dalga biçiminin efektif ve tepe genlik değerlerinde yükselip alçalma gözlenir. Bunun nedeni araharmonik bileşen periyotlarının esas frekans çevrimiyle senkron olmamasıdır. Bu yükselen alçalan genlik gerilim titreşimi biçimidir (Tayjasanant, Wang, Chun Li ve Xu, 2004). Araharmoniklerin oluşmasında iki esas mekanizma söz konusudur. İlki kaynak gerilim frekansının kenarbandı içerisinde bileşenlerin üretilmesi ve genlikleri ile faz açılarındaki değişimlerin bir sonucu olarak harmoniklerin oluşmasıdır. İkinci mekanizma ise statik konverterlerdeki yarı iletken aygıtların oluşturduğu güç sistemindeki asenkron anahtarlama (Hanzelka ve Bien, 2004).

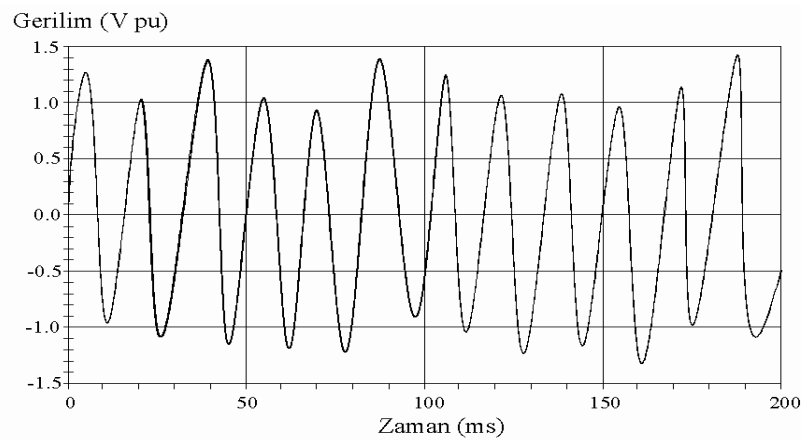
- **Çentikler:** Çentik, akım bir fazdan diğerine yönlendirildiğinde güç elektroniği aygıtlarının normal işletmesinin neden olduğu periyodik bir gerilim karışıklığıdır. Bu periyot esnasında, sistem empedansı tarafından gerilimin sifıra yakın bir yere çekildiği, iki faz arasında anlık bir kısa devre mevcuttur. Çünkü çentik sürekli olarak oluşan bir olaydır, etkilediği gerilimin

harmonik spektrumu ile karakterize edilir (Schinbein ve DeSteese, 2002).

- **Gürültü:** Gürültü, faz iletkenlerindeki güç sistemi akım veya geriliminin üzerine eklenen veya nötr iletkenlerinde bulunan, 200 kHz'den daha düşük geniş bantlı spektral içerikli, istenmeyen elektriksel işaretler olarak tanımlanmaktadır. Güç sistemindeki gürültü, güç elektroniği aygıtları, kontrol devreleri, katı-hal doğrultucular ve anahtarlamalı güç kaynakları ile oluşturulabilir. Gürültü problemleri, güç sisteminden gürültüyü uzaklaştırmada uygunsuz topraklamayla başarısız kalarak daha yoğun bir hal alır. Gürültü programlanabilir kontrol aygıtları ve mikrocomp gibi elektronik aygıtlarda karışıklık yaratır. Bu problem filtreler, izolasyon transformatörleri ve hat şartlandırıcıları kullanarak azaltılabilir.

2.3.6 Gerilim Dalgalanmaları

Gerilim dalgalanmaları, nominal gerilimin izin verilen 0.95-1.05 genlik değerleri içerisinde gerilimde oluşan hızlı değişimlerdir. Ark fırınları ve kaynak makinaları gibi yük akımında ani değişimler gerilim dalgalanmalarına neden olmaktadır (Kennedy, 2000). Gerilim değişimleri, frekans değişimi veya genlik ile karakterize edilen gerilim zarfı içerisinde çevrimsel veya gelişigüzel değişimleridir. Yavaş gerilim değişimleri, şebekeye bağlı yüklerdeki yavaş değişimlerden kaynaklanır (Ferracci, 2001). Yükler, daha çok titreşim olarak bahsedilen yük akımı genliğinde sürekli, hızlı değişimleri oluşturarak gerilim dalgalanmalarına neden olurlar. Titreşim terimi, insan gözü tarafından lambalardaki gerilim dalgalanmalarının etkisinin bir titreşim olarak algılanması şeklinde elde edilmiştir. Yaygın kullanılan terim olarak gerilim titreşimi terimini aynı zamanda gerilim dalgalanmalarını için de kullanmak mümkündür. Şekil 2.9'da titreşimin olduğu bir gerilim dalga şeklinin örneği görülmektedir.



Şekil 2.9 Ark fırını çalışmasıyla oluşan bir gerilim titreşimi örneği (Dugan, McGranaghan ve Beaty, 1996).

2.3.7 Güç Frekansı Değişimleri

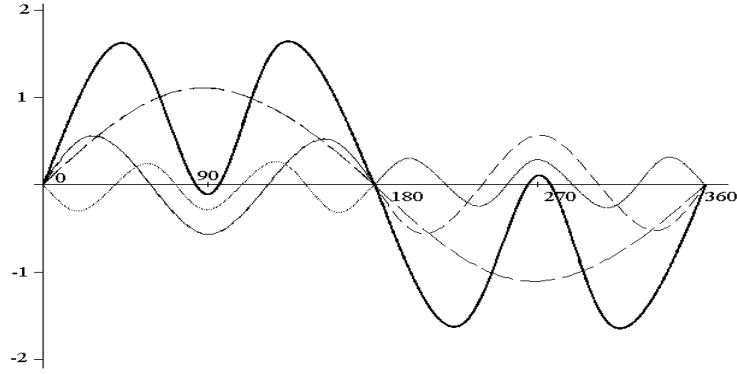
Frekans değişimleri güç sistemi esas frekansının, belirlenmiş nominal değerinden sapma olarak tanımlanır. Güç sistem frekansı, sistemi besleyen generatörlerin devir hızıyla doğrudan ilişkilidir. Üretim ve yük değişimleri arasında dinamik bir denge olarak frekansta yavaş değişimler mevcuttur. Frekans kaymasının genişliği ve süresi yük karakteristiklerine ve üretim kontrol sisteminin yük değişimlerine tepkisine bağlıdır. Güç sisteminde normal kararlı çalışma için frekans değişimlerinin limitlerin dışına çıkması, yüklü güç iletim sistemlerindeki hataların oluşmasından, büyük bir yük bloğunun ayrılmasından veya geniş bir üretim kaynağının sistem dışı kalmasından kaynaklanmaktadır (Schinbein ve DeSteeze, 2002).

2.4 Harmonikler

AC güç devrelerinde gerilim ve akım dalga biçimlerinin, sabit genlik ve frekansla birlikte sinüsoidal olması beklenir. Bütün güç tesisi elemanları, AC güç devrelerinde gerilim ve akım dalga biçimlerinin bir sinüsoidal sapmasına neden olan distorsiyonun, istenmeyen bir olay olarak etkisine girerler. Düzgün bir dalga biçimi bozulmasında, gerilimler ve akımlar, esas frekansın tam sayı katları olan frekans değerleriyle, genliği ve fazı çeşitlilik gösteren sinüsoidal dalga biçimlerinin bir kümesi biçiminde gösterilebilir.

Güç sistemi içerisinde, güç elektroniği aygıtlarının bir çeşitliliği ve geniş alanlı kullanımı, onların çeşitli ve çok sayıdaki fonksiyonlarından kaynaklanmaktadır: i. Kompanzasyon, ii. Koruma, iii. Generatörler için arayüzler. Karşılaşılan durumların çoğu için bu aygıtlar, rezonansa ve kararlılık problemlerine neden olabilecek akım harmonikleri üretirler.

Uygulamalarda karşılaşılan bozulmuş akım dalga şekilleri Şekil 2.10'da gösterilenden çok daha karmaşıktır ve daha çok sayıda harmonik ile daha karışık faz ilişkileri içerir. Açıkça görüldüğü gibi bu dalga şekli bir sinüs eğrisi değildir ve dolayısıyla etkin değer, kalibreli multimetreler gibi normal ölçü aletleri ile yapılan ve ortalama değeri gösteren ölçümler için yanlış olmaktadır. Her bir devirde iki yerine altı adet sıfır noktası bulunur, bu nedenle referans olarak sıfır noktasını alan cihazlarla yapılan ölçümler hatalı sonuç verecektir (West, 2002).



Şekil 2.10 Bozuk akım dalga şekli (Chapman, 2001).

2.5 Güç Sistemlerinde Geçici Olaylar

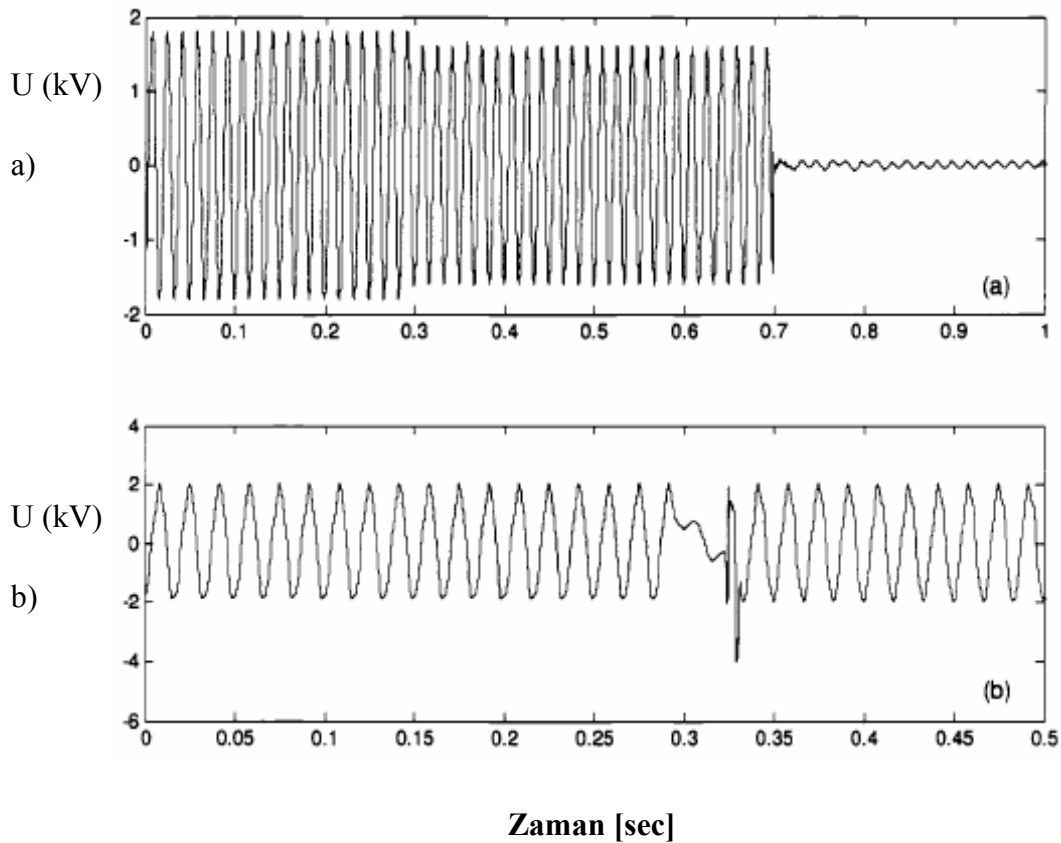
İdeal durumda, alternatif akım güç sistemleri belirli bir frekansta (50Hz), gerilim ve akımları ise güvenli işletme aralıklarında işletilmelidir. Ancak, bu nadiren gerçekleşen bir durumdur, çünkü frekans, gerilim ve akım dalga şekillerinin belirlenen değerlerinden sapmasını sağlayacak çok sayıda olay mevcuttur. Bu değişimlerin bazıları, elektrik güç kalitesi üzerinde o kadar az etkilidir ki bunlar dikkate alınmayabilir. Örneğin, bir şehrin dışındaki sanayi bölgesinde bulunan bir fabrikada orta büyüklükte bir motorun devreye girmesi geçici bir gerilim düşmesi yaratacaktır; ancak bu gerilim düşmesi şehirdeki enerji tüketicileri tarafından, elektrik güç sistemleri birbirine bağlı olmasına rağmen, neredeyse hissedilmez. Ancak, çoğu durumda, bu sapmalar daha önemlidir ve sistemin performansını etkilerler ve kabul edilebilir sınırların altına iterler. Bu küçük ama rahatsız edici geçici durumlardan birisi de ark fırınları gibi yüklerin neden olduğu ve enkindasen ampullerin parlaklığında dalgalanmalara denen olan fliker olayıdır. Ciddi durumlarda, böyle istenmeyen olaylar hattın enerjisiz kalmasına, şebekenin dengesizleşmesine ve büyük kesintilere yol açabilir ki bu durumlar da büyük sahaları, çok sayıda tüketiciyi etiler ve önemli ekonomik kayıp verilmesine neden olur.

Çoğu durumda, bu sapmalar kısa-sürelidir ve sistemi görece olarak kısa zaman süresi için etkiler, ve bu nedenle geçici hal olarak adlandırılır. Geçici durumlar çok sayıda neden sayesinde tetiklenir. Bunların arasında doğal ve planlanmamış olaylar (yıldırım düşmesi, fırtınalar, kuşlar vb.) veya planlanmış olaylar (büyük kapasitör bankalarının devreye girmesi, iletim hatlarının açılıp kapanması ve güç sistem kontrol ayarlarının değiştirilmesi vb.) sayılabilir.

Gerçek güç sistemi geçici olaylarından iki tane örnek Şekil 2.11'de gösterilmiştir. Bu kaydedilen dalga şekilleri, geçici olay öncesi sinüs dalgalarının geçici olayları varlığı

tarafından nasıl bozulduğunu göstermektedir. Şekil 2.11(a)'da geçici gerilim dalga şeklinin üzerindeki geçici olay etkisi görece olarak çok sayıda periyot boyunca sürmüştür ve sonunda dalga şeklinde bir kesintiye yol açmıştır. Diğer dalga şekli geçici durum boyunca önemli ölçüde bozulmakla beraber geçici olay kaldırıldıktan sonra gerilim dalga şekli tekrar eski haline dönüş yapmıştır.

Güç sistemlerinin fiziksel olarak geniş sahalara yayıldığı dikkate alınacak olursa, geçici durumların, en azından doğal nedenler tarafından tetiklenenlerin, gerçekleşme ihtimalinin fazla olduğu kolayca anlaşılır. Örneğin, en iyi tasarlanmış iletim sistemleri bile yıldırım darbelerine maruz kalabilir. Geçici durumların istenmeyen etkilerini azaltmak mümkün olmasına rağmen, geçici olay riskini taşımayan sistemler tasarımı pratikte mümkün değildir. Geçici olayların varlığı, işletme frekansını ve tüketicilere sağlanan gerilim ve akımları bozarak elektrik güç iletiminin kalitesini azaltır. Geçici durumların istenmeyen etkisi, bilgisayarlar ve diğer dijital cihazlar gibi hassas yükler sayısı arttıkça daha sık telaffuz edilmeye başlanmıştır.

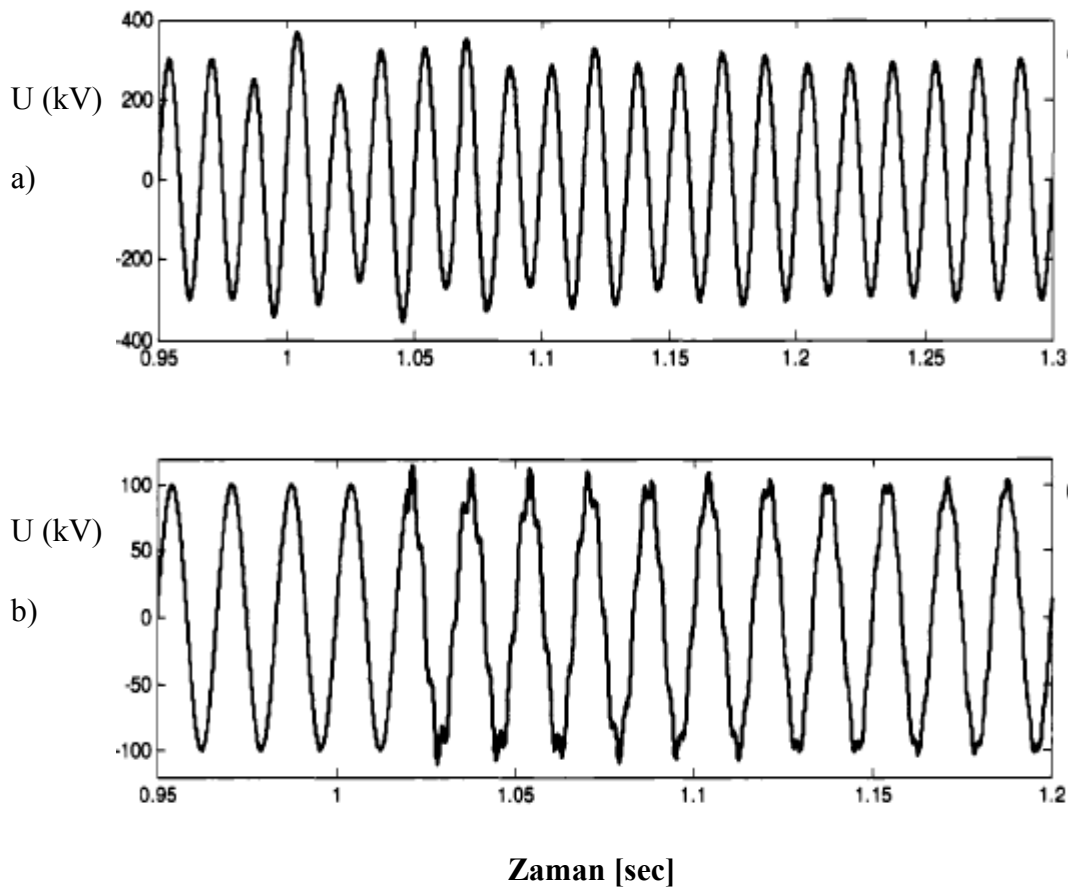


Şekil 2.11 Güç sistemlerinde geçici olay örnekleri (Peng, 2005)

(a) Bir kuşun neden olduğu geçici olay; (b) Yıldırımın neden olduğu geçici olay

Bir güç sisteminin geçici durum dalga şeklini bir bilgisayar programı kullanarak simule etmek mümkündür. Bu tezde simulasyon için Matlab ve Simulink SimPowerSystems yazılımı kullanılmıştır. Yazılım kullanmak geçici olayları incelemek için çok güvenli bir yaklaşımdır çünkü bu sayede gerçek güç sistemini etkilememiş olunur ve masraflı, tehlikeli ve zararlı olabilecek hatalar da önlenmiş olur. Bu programla simule edilmiş geçici olaylar bu tezde özellik çıkartımı ve sınıflandırma için kullanılmışlardır.

Şekil 2.12, iki adet simulasyon dalga şeklini ; üç fazlı arıza ve kondansatör anahtarlama için göstermektedir.



Şekil 2.12 Simule edilen örnek geçici olaylar (Peng, 2005)

(a) Üç fazlı arıza; (b) Kondansatör açma kapaması

2.6 Güç Sistemi Koruması için İşaret İşleme

Güç sistemi koruma sistemleri, geçici olayın nedenine reaksiyon göstererek şebekenin arızalı kısmını geçici veya sürekli olarak devre dışı bırakacak şekilde tasarlanmıştır. Genellikle, bir güç sisteminde uygun yerlerde tesis edilmiş olan röleler sürekli olarak ilgili koruma alanlarında gerilim, akım, empedans, faz açısı, rotor açısı, gerçek ve reaktif güç gibi çeşitli

büyüklikleri izlerler. Bir geçici olay ölçülen büyüklükleri belirtilmiş güvenli sınırların dışına çıkardığı zaman, röleler arızalı kısmı açarak devre dışı bırakacak anahtarlara komut sinyallerini üretirler. Önemli bir görev de geçici olayın gerçek nedenini doğru tespit edebilmektir, bu sayede düzeltici bir önlem alınabilir. Örneğin, bir koruma sistemi bir kondansatör anahtarlama geçici olayını önemsemeyebilir ama bir yıldırım düşmesine mağruz kalan bir hattın tamir edilene kadar hattan ayrılması gerekebilir. Geçici olayın doğru nedeni hakkında yanlış hüküm yanlış koruma reaksiyonuna neden olabilir, örneğin kritik yüklerin enerjisinin kesilmesi gibi daha fazla hasara yol açabilir. (Santoso v.d., 2000)

Eski jenerasyon koruma röleleri, geçici olayların tespit edilebilmesi için elektromekanik sistemleri kullanıyordu. Sonraki jenerasyonlar rölelerde başarıyla dijital sistemleri uyguladılar, böylece rölelerin daha hassas ve uzun ömürlü olması sağlandı. Dijital röleler elektromekanik öncülerine göre üstün performans göstermiş olmalarına karşın, geçici olayların tespit edilmesi açısından hala genel olarak geleneksel metodlara bağlı kalmaktadırlar. Sürekli olarak gerilim ve/veya akım dalga şekillerini izleyen akıllı bir sinyal işleme ünitesinin geçici olayları doğru şekilde tespit etmesi, dalga şekillerini analiz etmesi, geçici olayların sebebini belirleyebilmesi güç sistem operatörleri için çok değerli bir öneme sahiptir ve genel güç sistemi koruma felsefesinin de önemli bir kısmını teşkil eder.

Böyle bir sistemin çıktısı koruma sistemine veya operatöre çok önemli ölçüde yardım edecektir; bu sayede gerekli acil önlem alınabilir ve yanlış kararlar vererek sistemin işleyişi daha kötü ve kararsız bir duruma getirilmemiş olur. Arıza kaydedicilerinin yüksek performansı, yüksek enerji kalitesinin birincil öneme sahip olduğu modern güç sistemlerinin öncelikli bileşenleri haline gelmektedirler. Bir yapay zeka danışmanı, yukarıda anlatıldığı gibi, modern geçici olay kaydedicileri ve ileri koruma algoritmaları ile birlikte güç sistemlerinin güvenilirliğini önemli ölçüde geliştirebilir. Böyle bir sistemin geliştirilmesi geri kalan bölümlerin konusudur.

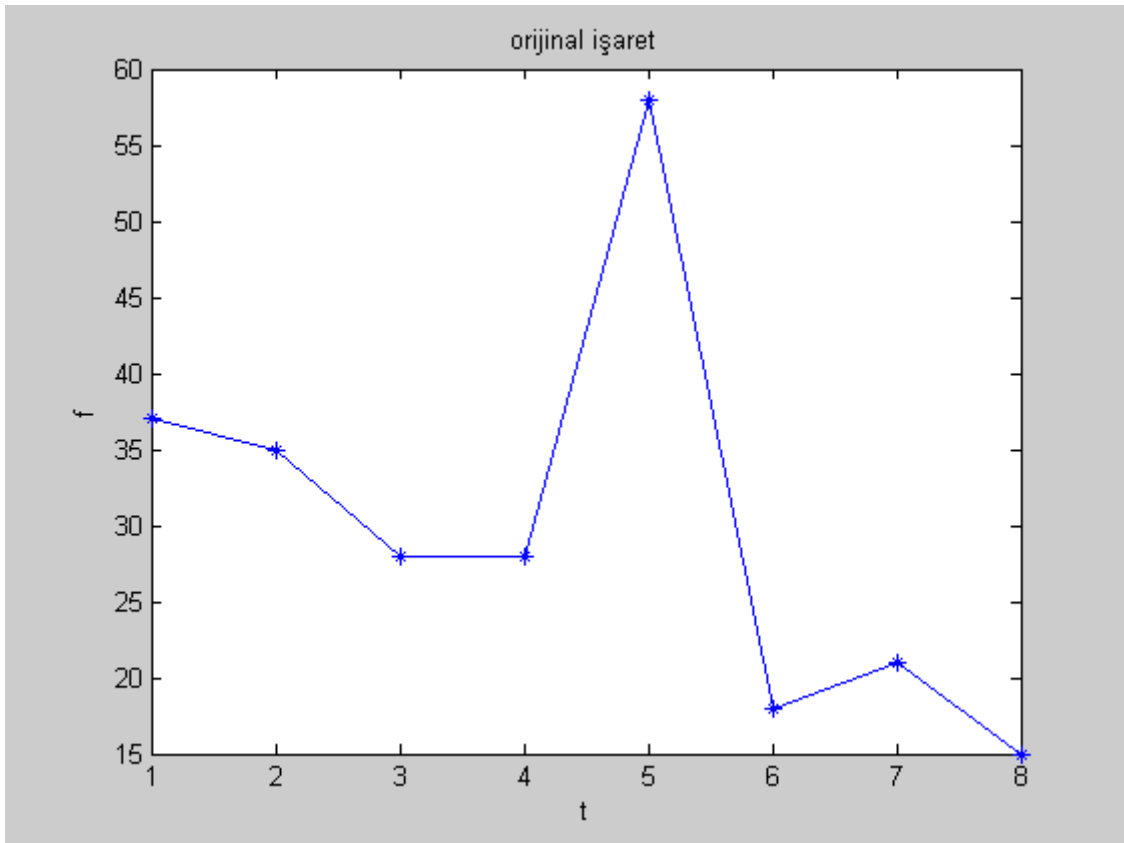
3. DALGACIK (WAVELET) ANALİZİ

3.1 Dalgacık (Wavelet) Dönüşümü

Şekil 1'de görüldüğü gibi 8 sayıdan oluşan bir işaret ele alınsın. Amaç bu işareti, değişik olarak düzenlenebilen ve orijinal işaretten elde edilemeyen verilerin elde edilmesine yol açan başka bir işarete dönüştürmektir. Dönüştürülen işaret dalgacık spektrumu (açılımı) olarak adlandırılır.

$t=[1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 \ 7 \ 8];$

$f=[37 \ 35 \ 28 \ 28 \ 58 \ 18 \ 21 \ 15];$



Şekil 3.1 Sekiz sayıdan oluşan basit bir işaret (sinyal) ve bu işaretin grafiksel gösterimi

Burada kullanılan yöntem Haar dalgacık dönüşümüdür. Bu dalgacık dönüşümü belki en basit olan dönüşümdür; fakat, daha genel ve güçlü dalgacık dönüşümlerinde var olan tüm önemli

öğeleri yansıtmaktadır. (Galli ve Nielsen, 1999)

Haar dalgacık dönüşümü Şekil 3.2'de gösterildiği gibi, orijinal işarete komşu çiftlerin kendi aralarında ortalamalarını ve farklarının yarısını alarak bulunur. Ortalamalar ortaya çıkan vektörün sol tarafına, farklar ise sağ yarısına yerleştirilir. Böylece dönüşüm; işareti, her biri orijinal işaretin yarısı boyutunda bir alçak geçirgen ve bir yüksek geçirgen işarete ayırmış olur. Şekil 3.3'te gösterildiği gibi, bu süreç toplamlar ve farklardan oluşan iki yarımın yeniden kombine edilmesiyle geriye dönüştürülebilir (rekonstrüksiyon).

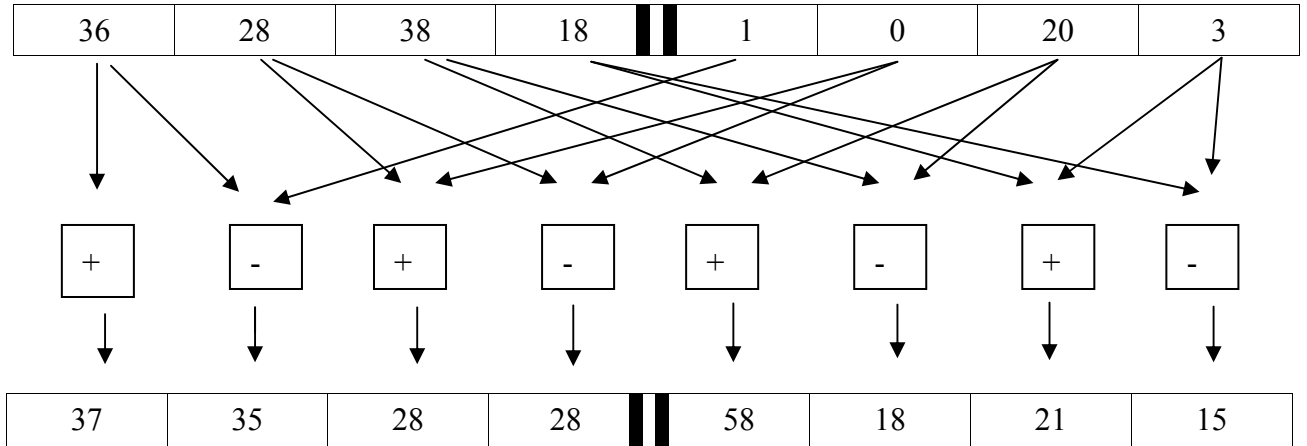
Ortalama: $(x+y)/2$

Ortalama: $(x-y)/2$

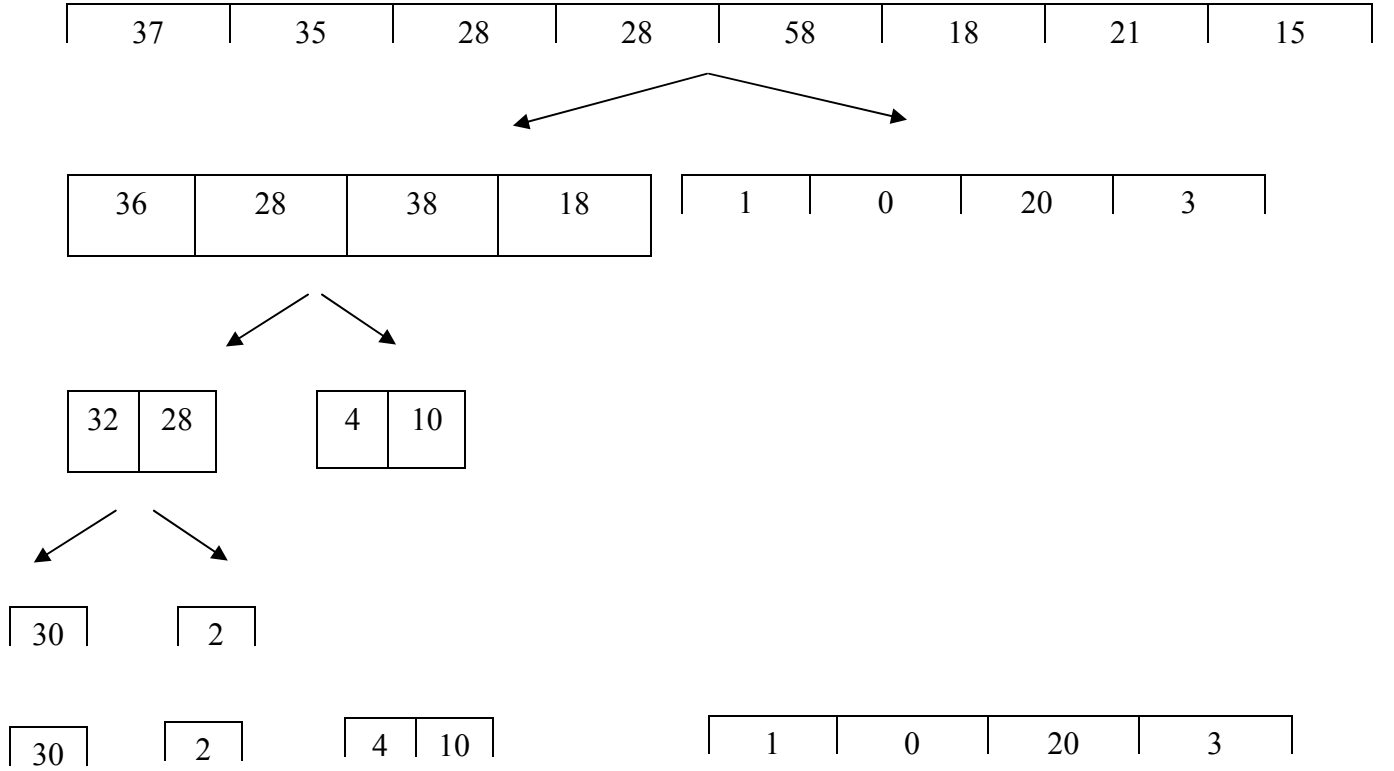
37	35	28	28	58	18	21	15	37	35	28	28	58	18	21	15
36	28	38	18	1	0	20	3								

Şekil 3.2 Komşu çiftlerin ortalamaları ve farklarını oluşturarak işlenen işaret

Bir işareti ortalamalar ve farklara ayırmanın sağladığı kazanç şöyle özetlenebilir: Dönüştürülen vektörün sağ yarısındaki sayıların çoğu oldukça küçük değerlidir. Bu da, orijinal sayılara göre daha az kayıt alanı işgal ederek temsil edilebilmeleri anlamına gelir; ve sıfır sayısı, özellikle tamamen yoksayılabılır. Buna karşın, sol yarıdaki sayılar orijinal sayılarla aynı büyüklük derecesinde olduklarından orijinal işaretin kaba bir yaklaşımını temsil etmektedirler. Ancak bu sol yarıya da dalgacık dönüşümü uygulanması ve fark oluşturma süreci ile daha küçük sayılar elde etmek mümkündür. Bu, sol taraf daha fazla ayrıştırılamayınca kadar devam eder (Şekil 3.4). Bu tekrarlamalı işlemin sonucu olan dalgacık spektrumu, orijinal işareten çok daha küçük sayılar ihtiva etmektedir.



Şekil 3.3 Toplamlar ve farklardan oluşan iki yarımdan oluşan elemanları yeniden birleştirerek oluşan rekonstrüksiyon (yeniden inşa)



Şekil 3.4 Tam Dalgacık Dönüşümü: Yinelemeli olarak sol tarafların ortalamasını ve farkını alarak dalgacık spektrumu elde edilir

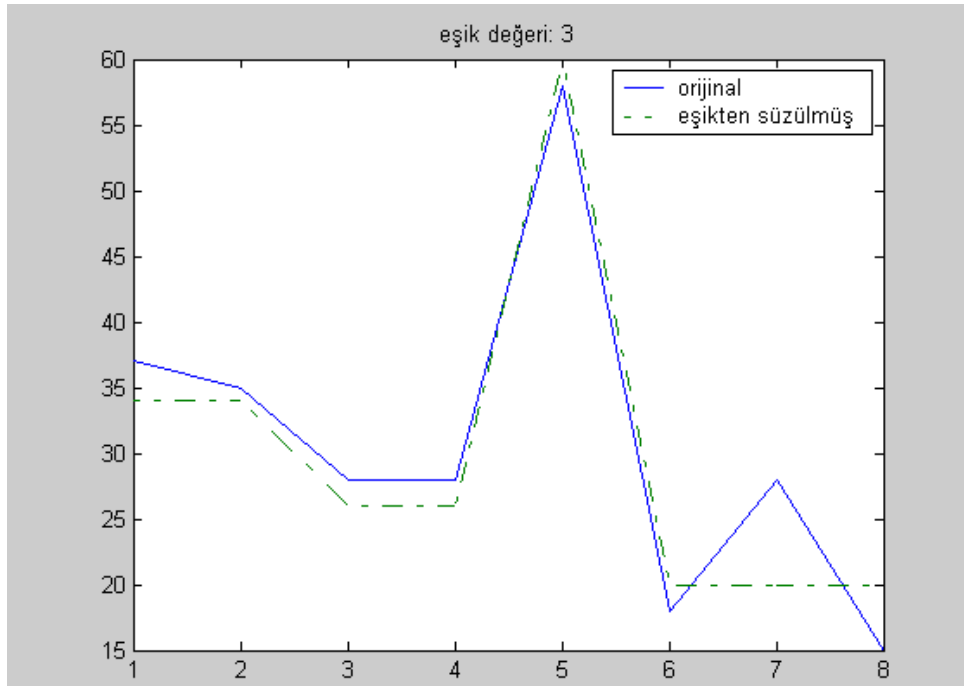
3.2 Dalgacık Sıkıştırması

Önceki örnek ele alınarak, belirli bir eşik değeri belirlensin (örneğin 4); ve bu eşikten daha küçük olan sayılar yoksayılsın. Yuvarlanmış dalgacık spektrumu o zaman sadece 4 adet sıfırdan farklı sayı ihtiva eder ve kaydedildiğinde veya ağ üzerinden iletildiğinde orijinal işareten daha az bilgisayar kaynağı tüketir. Ters dönüşümü yuvarlanmış dalgacık spektrumuna uygularsak, orijinal işarete benzer yaklaşık bir işaret elde etmiş oluruz. Bu bazen sıkıştırılmış işaret olarak algılanır. Şekil 3.5 bu süreci gösterir, ve şekil 3.6 sıkıştırılmış işareti orijinal işaret ile birlikte aynı düzlemde görüntülemektedir. Orijinal işaretin önemli özellikleri büyük ölçüde sıkıştırılmış işarete saklanabilmiştir. (Jensen ve Harbo, 2001)

30	2	4	10	1	0	20	3
Yuvarlama							
30	0	4	10	0	0	20	0
↓							
30	30	4	10	0	0	20	0
↓							
34	26	40	20	0	0	20	0
↓							
34	34	26	26	60	20	20	20

Şekil 3.5 Dalgacık dönüşümü yapılmış işaretin yuvarlanması ve yeniden oluşturulması

Dalgacık spektrumunda bir sıfır, ya orijinal işarete ya da ara biçimlerinden birinde sabit bir parçaya tekabül eder. Örneğin sabit bir işaret, sıfırdan farklı sadece bir sayı ihtiva eder, bu da işaretin genel ortalamasıdır. Bu, Fourier dönüşümünden bilinen DC terim ile aynıdır. Diğer yandan, dalgacık spektrumundaki sıfırdan farklı öğeler belirli bir bölgenin sabitlikten ne kadar saptığının göstergesidir.



Şekil 3.6 Sıkıştırılmış işaretin orijinal işaret ile birlikte gösterimi

3.3 Ölçeklerin Ayrılması

Dalgacık spektrumu, işaretin küçük-ölçek davranışını büyük ölçek davranışından ayırmaya yarar. Bu, tüm farklı ölçeklerin bir işaret üzerine bindiği zaman görülemeyen bir yapının alınıp, her ölçeğini ayrı ayrı analiz ederek yapılabilir.

Burada Şekil 3.4'te gösterilen dalgacık spektrumu dikkate alınsın. Sayılar, temsil ettikleri ölçeğe göre aşağıdaki gibi organize edilebilir ve yorumlanabilirler.

- 30: işaretin genel ortalaması : dc terim
- 2: işaretin sol ve sağ yarımının farkı, büyük ölçek.
- 4,10: işaretin çeyrekleri arasındaki farklar, orta ölçek.
- 1,0,20,3: komşu çiftler arasındaki fark, en küçük ölçek.

Artık, dalgacık spektrumunun sadece aynı ölçekle ilgili kısımları yeniden birleştirilip yeni işaretler oluşturulabilir. Bu işaretler *tek-ölçek bileşenleri* olarak adlandırılırlar.

DC terimi yeniden inşa ederek (rekonstrüksiyon), ortalama değeri 30 olan sabit bir bileşen elde edilir. Büyük ölçeği yeniden inşa ederek sabit sinyale göre düşük frekans dalgalanmalarını temsil eden bir bileşen ortaya çıkar. Benzer olarak, orta-ölçekli bileşeni yeniden inşa edince dc terime göre ve büyük ölçeğe göre daha hızlı dalgalanmalar ortaya çıkar. Son olarak, en düşük ölçek bileşeninin yeniden inşası, tüm daha büyük ölçekli bileşenlere göre yüksek frekans sapmalarını temsil eder. Bu yeniden inşalar (rekonstrüksiyonlar), orijinal işaretin V_3 (burada 3 indisi örnekleme sayısının 2^3 olduğunu gösterir), en kaba yaklaşımın V_0 , orta ölçek bileşenlerin de sırasıyla W_0 , W_1 ve W_2 ile temsil edildiği şekil 3.7'de gösterilmiştir. (Galli ve Nielsen, 1999)

a. Sabit Bileşen V_0

30	0	0	0	0	0	0	0
↓							
30	30	0	0	0	0	0	0
↓							
30	30	30	30	0	0	0	0
↓							
30	30	30	30	30	30	30	30

b. Büyük Ölçek Bileşeni (W_0)

0	2	0	0	0	0	0	0
↓							
2	-2	0	0	0	0	0	0
↓							
2	2	-2	-2	0	0	0	0
↓							
2	2	2	2	-2	-2	-2	-2

c. Orta Ölçek Bileşeni (W_1)

0	0	4	10	0	0	0	0
↓							
0	0	4	10	0	0	0	0
↓							
4	-4	10	-10	0	0	0	0
↓							
4	4	-4	-4	10	10	-10	10

d. Hassas Ölçek Bileşeni (W_2)

0	0	0	0	1	0	20	3
↓							
0	0	0	0	1	0	20	3
↓							
0	0	0	0	1	0	20	3
↓							
1	-1	0	0	20	-20	3	-3

Şekil 3.7 (a) dc, (b) büyük ölçek, (c) orta-ölçek, ve (d) hassas ölçek bileşenleri tarafından işaretin yeniden oluşturulması

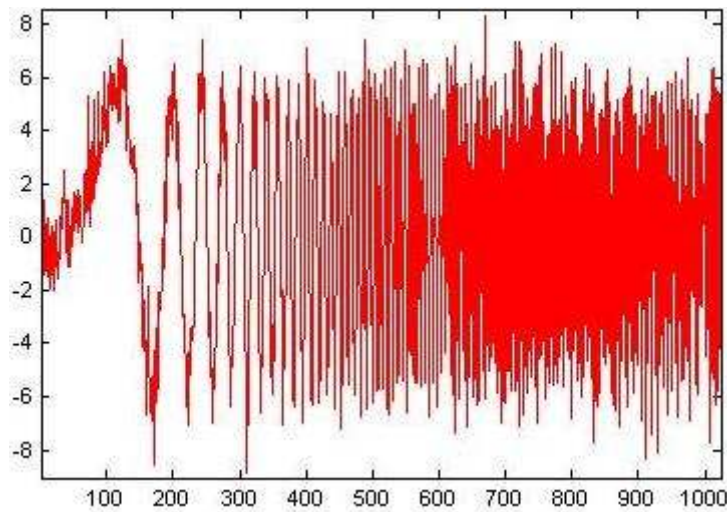
Bu demektir ki, şekil 3.8'de gösterilen tek-ölçek bileşenleri toplanarak orijinal işaret V_3 elde edilebilir.

V_0	30	30	30	30	30	30	30	30
W_0	2	2	2	2	-2	-2	-2	-2
W_1	4	4	-4	-4	10	10	-10	-10
W_2	1	-1	0	0	20	-20	3	-3
V_3	37	35	28	28	58	18	21	15

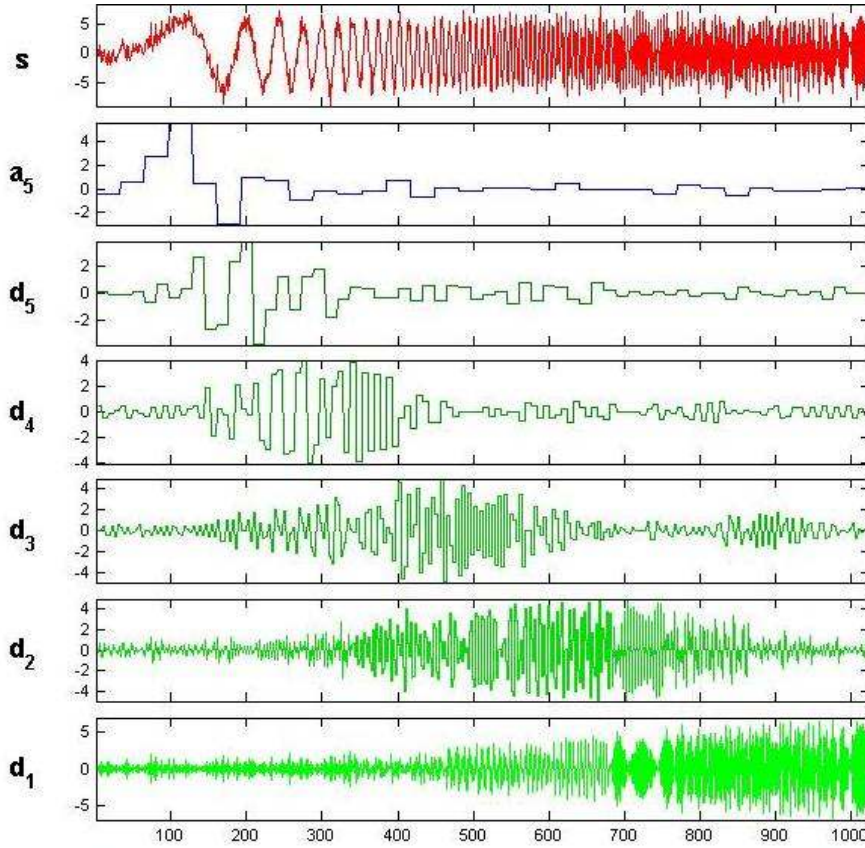
Şekil 3.8 Orijinal işaretin tek-ölçekli bileşenlerin toplamıyla elde edilmesi

Bu tek-ölçekli bileşenler ayrıca, orijinal işaretin doğasını görmek için ayrı ayrı da analiz edilebilirler. Bu tip bir ayrıştırmanın önemli bir avantajı pozisyon (yer) bilgisinin her ölçekte erişilebilir olmasıdır; bu sayede belirli bir özelliğin işaretin *neresinde* olduğu ve hangi ölçekte bunun gerçekleştiği de kabaca belirlenebilir. Eğer işaret frekans spektrumuna dönüştürülseydi (örn: FFT) bu hiçbir zaman mümkün olmayacaktı.

Şimdiye kadar değerlendirilen örnek işaret, ciddi farklılıkta ölçeklerde bilgi ihtiva etmek için çok kısa olduğundan dalgacık dönüşümünün yapabildiklerini tam olarak göstermemektedir. Bu nedenle bir kısmında küçük ölçek verisi, diğer tarafında büyük ölçek verisi bulunduran yeni bir işaret şekil 3.9'da gösterilmiştir. Bu işarete Haar dönüşümünün birkaç adımını uygulamak ve basit işaret ile yapıldığı gibi tek-ölçek bileşenlerini hesaplamak şekil 3.10'da gösterilen dalgacık dönüşümünü verir.



Şekil 3.9 Hem küçük hem de büyük ölçekli bilgiyi içeren örnek işaret



Şekil 3.10 Orijinal işareten küçük-ölçekli bilginin elde edilip ayrı olarak temsil edilmesi

3.4 Daha Genel Dalgacıklar

Buraya kadar Haar dalgacık dönüşümü değerlendirilmiş ve sabit olan bölgelerin ilgili dalgacık spektrumunda sıfırlara yol açtığı görülmüştü. Bu konsept lineer, karesel, kübik, üstel , vs. bölgelerin de, sıkıştırma potansiyelini büyük ölçüde geliştirerek dalgacık spektrumunda sıfırlar oluşturacağı şekilde genelleştirilebilir. Aynı zamanda, ölçek ayrıştırması (dekompozisyonu) da bu genelleştirme ile gelişir, çünkü ölçekler ayrılmaya ve lokalize (yerel) olmaya daha iyi meylederler. Bu genelleştirme “yok olan momentler” özelliği olarak ta bilinir. (Galli ve Nielsen, 1999)

Birden fazla yok olan moment (dalgacık spektrumunda sıfır veren sabitler) elde etmek için, Haar dönüşümünde kullanılan çiftlerin aritmetik ortalaması yerine ikiden fazla sayının ağırlıklı ortalamasını kullanmak gerekir. Şekil 3.2 yeniden dikkate alındığında,

$(0.5)*37+(0.5)*35$ yerine

$a_0 37 + a_1 35 + a_2 28 + a_3 28$ kullanılır.

Burada; a_1, a_2, a_3 **filtre katsayılarıdır**. Filtre katsayıları, ters çevrilebilme ve ayrık ölçek kabiliyeti gibi Haar dönüşümü ile görülen faydalı özelliklerden ödün vermeden yok olan momentler elde etmek için dikkatlice seçilmektedir.

Farklar aynı filtre katsayıları kullanılarak hesaplanır fakat

$(0.5)*37-(0.5)*35$ yerine

$$a_3 37 - a_2 35 + a_1 28 - a_0 28 \quad \text{kullanılır.}$$

Bu örüntü, örneğin altı filtre katsayısı ile ağırlıklı ortalama

$$a_0 37 + a_1 35 + a_2 28 + a_3 28 + a_4 58 + a_5 18 \quad \text{olana kadar devam eder.}$$

Ve benzer olarak fark terimi:

$$a_5 37 - a_4 35 + a_3 28 - a_2 28 + a_1 58 - a_0 18$$

D : Dalgacık filtre katsayıları

D, Daubechies dalgacıkları için çift sayıdır, ve belirli bir filtre katsayısı kümesi tarafından elde edilen en fazla sayıda yok olan moment $D/2$ ile verilmektedir. Haar dönüşümünde, sadece iki filtre katsayısı vardır (0.5 ve 0.5), yani sadece bir adet yok olan moment, diğer bir deyişle sabit fonksiyon mevcuttur. Böylece, eğer lineer ve karesel fonksiyonların da dalgacık spektrumunda sıfırlar üretmesi istenirse, toplamda üç yok olan momente ihtiyaç vardır, Yani filtre katsayısı $D=6$ olur.

Matematiksel olarak ifade edilirse, dalgacık dönüşümünün her adımı, matris satırlarının filtre katsayılarının kaydırılmış versiyonları olduğubir matris vektör çarpımı olarak yazılabilir. Rekonstrüksiyon (yeniden inşa) Haar dönüşümündekine benzer durumda yapılır ve doğru bir ölçekleme ile, aynı filtre katsayıları ile de gerçekleştirilebilirler.

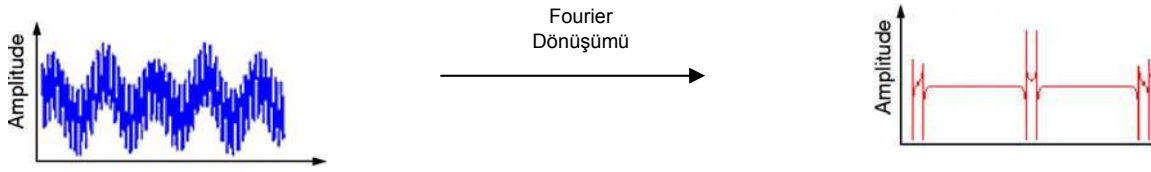
Daha fazla yok olan momentin dalları Şekil 3.9'daki işaret ile örnek olarak gösterilmektedir. $D=8$ ile yapılan dalgacık dönüşümleri şekil 3.10'daki ayrıştırmaları verir. Burada D ve yok olan momentlerin sayısı arttıkça, kaba yaklaşımın daha pürüzsüzleştiği gözlemlenmektedir. Ayrıca, küçük-ölçekli salınımlar daha iyi ayrıştırılabilir, ve sıkıştırma potansiyeli D ile birlikte artar. (Galli ve Nielsen, 1999)

D'nin seçimi büyük ölçüde analiz edilen işaret tipine bağlıdır. Daha fazla yok olan moment, daha zayıf zaman ayrıştırması pahasına ölçeklerin daha iyi ayrıştırılmasına neden olur. Tipik

seçim aralığı $D=4$ ile $D=10$ arasındadır.

3.5 Fourier Analizi

İşaret işleme tekniğinin en bilinen yöntemi şüphesiz Fourier analizidir. Bu yöntemde işaret, farklı frekanslarda sinüzoidal dalgalara ayrıştırılır. Fourier analizini, işarete zaman boyutundan bakarken frekans boyutunda bakmaya başlayışımız yolunda bir geçiş olarak ta kabul edebiliriz.



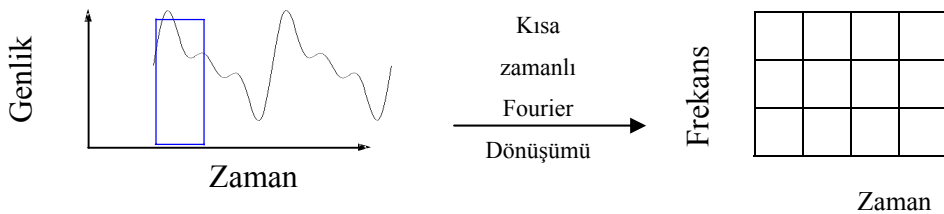
Şekil 3.11 Fourier analizi (Misiti, 2006)

Çoğu işaret için, Fourier analizi çok etkilidir, çünkü işaretin frekans içeriği çok önemlidir. Fakat bu analizin önemli bir dezavantajı vardır. Frekans domenine dönüştürme yaparken, zaman bilgisi kaybolmaktadır. Bir işaretin Fourier dönüşümüne baktığımızda, belirli bir olayın *ne zaman* gerçekleştiğini söyleyemeyiz.

İşaretin özellikleri zamanla falza değişmiyorsa, ki bu işaretlere *durağan* işaretler denir, bu dezavantaj çok önemli olmaz. Ancak, geçici hal değişiklikleri olan ani gerilim düşmesi yükselmesi, fliker gibi durumlarda Fourier analizi bunları algılayamaz.

3.6 Kısa-Zaman Fourier Analizi

Bu dezavantajı bertaraf etmek için Dennis Gabor (1946), bir zaman diliminde işaretin sadece küçük bir kısmını analiz edecek şekilde Fourier analizini uyarlamıştır. Gabor'un uyarlaması, Kısa-Zaman Fourier Dönüşümü (Short Time Fourier Transform - STFT) olarak anılır, ve bir işareti zaman ve frekanstan oluşan iki boyutlu bir fonksiyona dönüştürür.



Şekil 3.12 Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (Misiti, 2006)

Kısa zamanlı Fourier Dönüşümü, bir sinyalin zaman ve frekans tabanlı analizlerinin bir

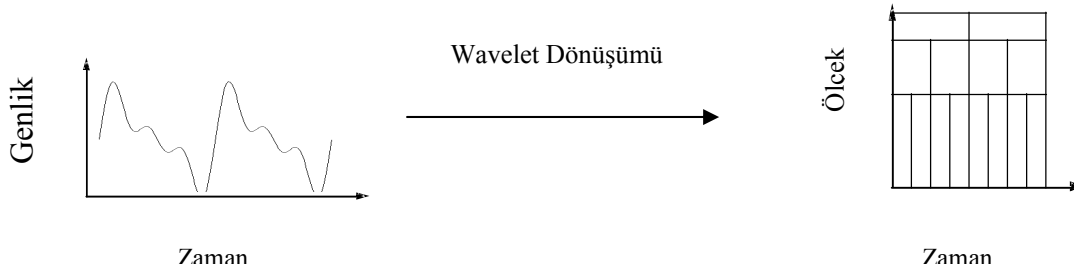
ortayolunu temsil eder. Bir olayın ne zaman ve hangi frekansta vuku bulduğuna dair birtakım bilgiler içerir. Fakat, bu bilgi sınırlı hassasiyete sahiptir, ve bu hassasiyet pencerenin büyüklüğü tarafından belirlenir.

Zaman ve frekans bilgisi arasındaki ortayol faydalı olabileceken, buradaki dezavantaj zaman penceresi için belirli bir büyüklük seçtiğinizde, bu pencere tüm frekanslar için aynı olacaktır. Çoğu işaret, zaman veya frekansı daha doğru belirlemek için pencere büyüklüğünün değiştirilebileceği daha esnek bir yaklaşımı gerektirir.

3.7 Dalgacık Analizi

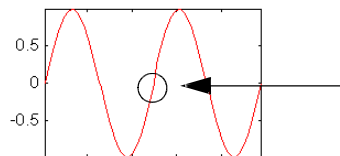
Wavelet (Dalgacık) analizi, değişken büyüklüklü pencerelere sahip bir pencere oluşturma tekniğini öne süren diğer lojik adımı temsil etmektedir.

Wavelet analizi daha hassas düşük frekans bilgisi istediğimizde uzun zaman aralıkları, yüksek frekans bilgisi istediğimizde ise kısa zaman aralıkları kullanılmasını olanaklı kılar.



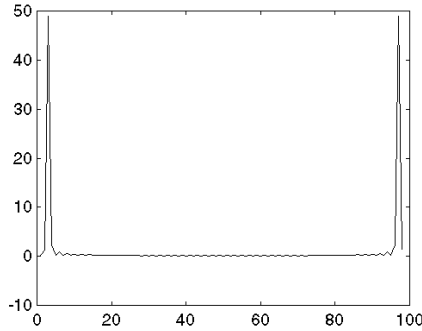
Şekil 3.13 Wavelet (Dalgacık) dönüşümü (Misiti, 2006)

Buradan da anlaşılabileceği gibi, wavelet analizi zaman frekans bölgesi değil *zaman-ölçek* bölgesini kullanır. Waveletler önemli bir avantajı lokal analiz yapabilmeleridir- yani daha büyük bir işaretin küçük bir bölgesini analiz edebilirler. Örneğin aşağıdaki gibi küçük bir süreksizliğe sahip sinüzoidal bir işaret ele alalım. Böyle bir işaret gerçekte dünyada güç dalgalanması veya gürültü yayan bir anahtar tarafından gerçekleştirilebilir.

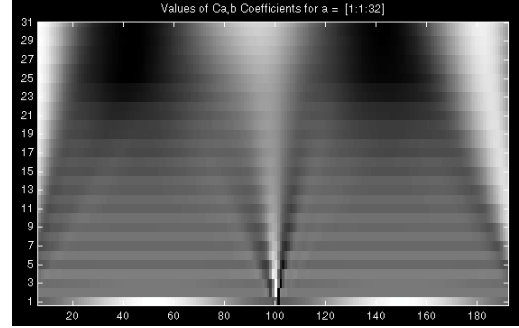


Şekil 3.14 Küçük süreksizliğe sahip bir sinüzoidal dalga (Misiti, 2006)

Bu işaretin Fourier katsayılarını çizdiğimizde, tek bir frekansı temsil eden iki tepe değeri dışında ilgi çekici bir şeye rastlamayız. Fakat, wavelet katsayıları çizildiğinde süreksizliğin zamanın tam olarak neresinde gerçekleştiği açıkça görülmektedir.



Fourier Katsayıları



Wavelet Katsayıları

Şekil 3.15 Şekil 3.4'teki dalganın Fourier ve Wavelet katsayıları (Misiti, 2006)

3.8 Wavelet (Dalgacık) Tanımı

Wavelet, sınırlı bir sürede etkili olan ve ortalama değeri sıfır olan bir dalga şeklindedir. Waveletleri, Fourier analizinin temeli olan sinüzoidal dalgalarla karşılaştırıldığında, sinüs dalgalarının sınırlı süreye sahip olmadıkları, eksi sonsuzdan artı sonsuz kadar etkili olduklarını görülür. Ayrıca sinüsler düzgün ve önceden tahmin edilir değerlere sahip olmalarına rağmen waveletler düzensiz ve asimetriklerdir.



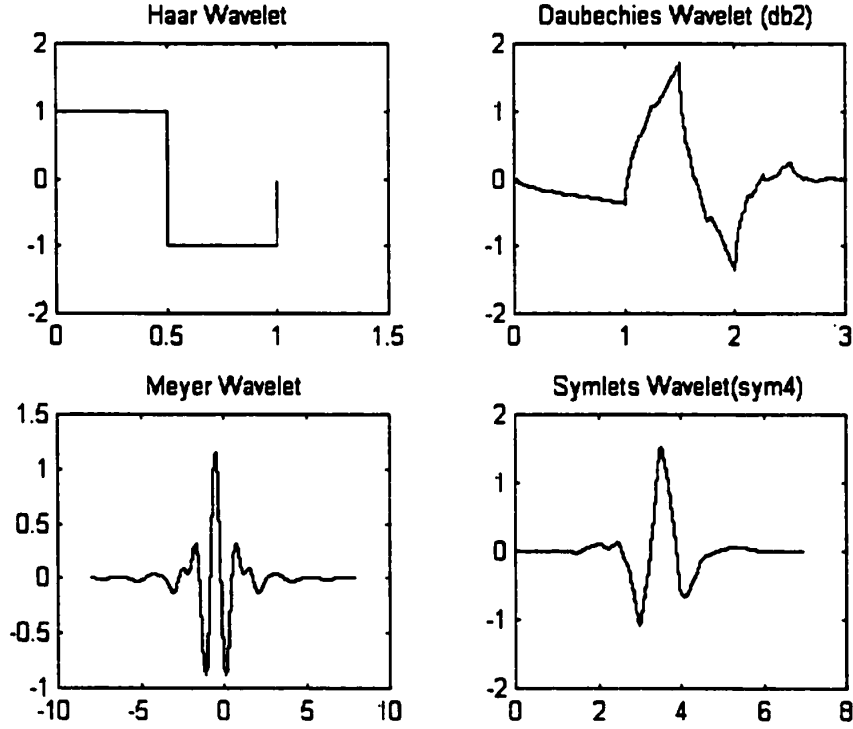
Şekil 3.16 Wavelet ve sinüs dalgaları (Misiti, 2006)

Fourier analizinde, sinüs dalgaları farklı frekanslara bölünmektedir. Benzer şekilde, wavelet analizi işareti orijinal (veya ana) waveleti (dalgacığı) kaydırarak ve ölçeklendirerek elde edilir.

Sadece waveletler ve sinüs dalgalarının resimlerine bakarak, sezgisel olarak keskin değişikliklere sahip işaretlerin sinüs dalgalarıyla değil dalgacıklarla daha iyi analiz edilebileceği fikrine kapılmak mümkündür.

Şimdiye kadar, güç sistemi sinyallerini kapsayan tek boyutlu veriler tartışılmıştır. Fakat, wavelet analizi iki boyutlu verileri (görüntüler) veya prensip olarak daha yüksek boyuta sahip verileri de analiz edebilir. Bu tezde sadece tek boyutlu dalgacık analizi ele alınmıştır.

Dalgacıklar çok çeşitli tiplerde mevcuttur. Haar dalgacığı (waveleti) bunların içinde en basitidir. Şekil 3.7, Haar da dahil en çok kullanılan ana dalgacıkları göstermektedir.



Şekil 3.17 Ana Dalgacık Örnekleri (Misiti, 2006)

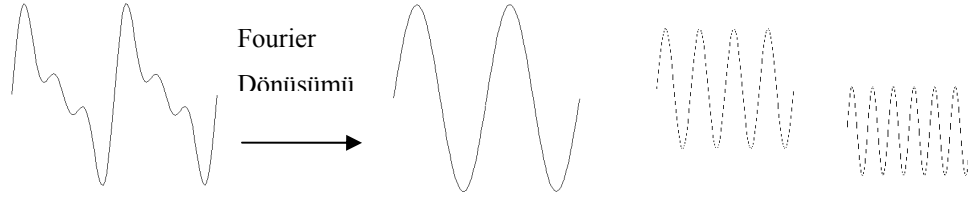
3.9 Sürekli Wavelet Analizi

Matematiksel olarak, Fourier analizi işlemi Fourier dönüşümü ile temsil edilir:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt \quad (3.1)$$

ω : Açısal Frekans; F: Fourier Dönüşümü Katsayıları ; f(t) dönüşümü yapılacak fonksiyon

Burada Fourier dönüşümü; f(t) işaretinin reel ve imajiner bileşenlerine ayrılan karmaşık bir eksponansiyel sayı ile tüm zaman aralığında çarpımlarının toplamıdır. Dönüşümün sonucunda *Fourier katsayıları* $F(\omega)$ ortaya çıkar; bu katsayılar ω frekansındaki farklı sinüzoidal dalgalarla çarpıldıklarında orijinal işareti oluşturan sinüzoidal parçaları oluşturur.



Şekil 3.18 Orijinal işaret ve onu oluşturan değişik frekanslardaki sinüs dalgaları (Misiti, 2006)

Benzer olarak *sürekli dalgacık dönüşümü*; ψ dalgacık fonksiyonunun ölçeklenmiş ve kaydırılmış versiyonlarıyla orijinal işaretin tüm zaman aralığında çarpımlarının toplamı olarak ifade edilir:

$$C(\text{ölçek, pozisyon}) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi(\text{ölçek, pozisyon}, t) dt ; C(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi_{(a,b)}\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (3.2)$$

a: ölçek sabiti; b: kaydırma sabiti, ψ : ana dalgacık fonksiyonu C: Dalgacık katsayıları

Sürekli dalgacık dönüşümünün sonucunda ölçek ve pozisyonun fonksiyonu olan C dalgacık katsayıları ortaya çıkar. (Misiti, 2006)

Her katsayıyı uygun seçilen ölçekli ve kaydırılmış dalgacıkla çarparak orijinal işareti oluşturan dalgacıklar elde edilir.



Şekil 3.19 Orijinal işaret ve onu oluşturan dalgacıklar (Misiti, 2006)

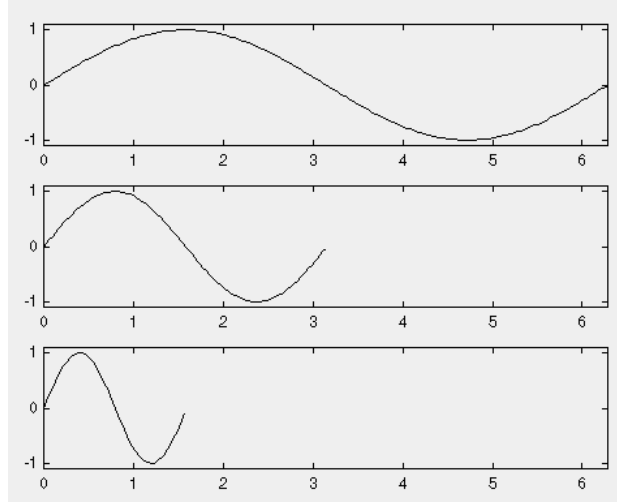
3.9.1 Ölçeklendirme

Bir dalgacığın ölçeklendirme onu yaymak veya sıkıştırmak anlamına gelir. Yaymak gibi bilimsel olmayan bir tabiri açmak için, genellikle a ile gösterilen ölçek katsayısının tanımını yapmak gerekir. Örneğin sinüs dalgaları için, ölçek katsayısının etkisi çok kolay görülebilir:

$$f(t)=\sin(t) ; a=1$$

$$f(t)=\sin(2t) ; a=1/2$$

$$f(t)=\sin(4t) ; a=1/4$$

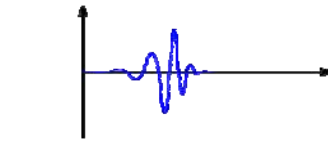


Şekil 3.20 Ölçek katsayısı

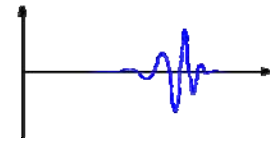
Ölçek katsayısı dalgacıklarda da aynı şekilde çalışır. Ölçek faktörü küçüldükçe; dalgacık daha “sıkışık” olur.

3.9.2 Öteleme

Bir dalgacığı ötelemek; basitçe başlangıç noktasını öne veya geriye almak anlamına gelir.



Wavelet fonksiyonu $\psi(t)$



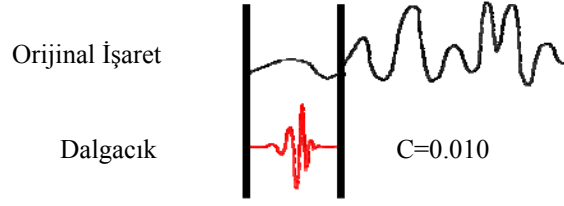
Ötelenmiş Wavelet fonksiyonu $\psi(t-k)$

Şekil 3.21 İşaretin kaydırılması

3.9.3 Sürekli Dalgacık Analizinin Adımları

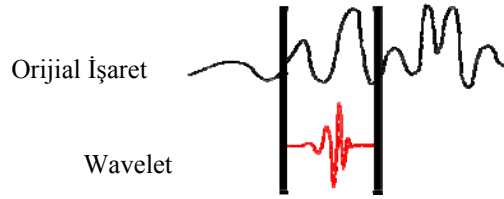
Bir dalgacık alınır ve orijinal işaretin başlangıcındaki bir kesimi ile karşılaştırılır.

Dalgacığın, işaretin bu kesimi ile ne kadar yakın bağıntılı olduğunu gösteren C sayısı hesaplanır. C ne kadar yüksekse, daha fazla benzerlik var demektir. Daha kesin söyleyecek olursak, sinyal enerjisi ve dalgacığın enerjisi bire eşitse, C bir ilişki katsayısı olarak değerlendirilebilir. Tabi ki burada sonuçlar, seçilen dalgacığın şekline bağlı olacaktır. (Misiti, 2006)



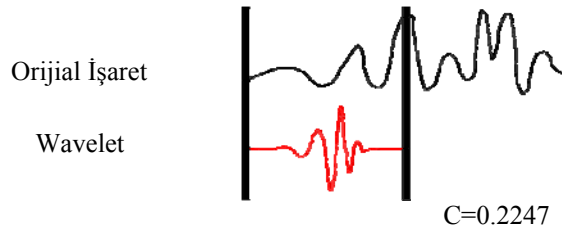
Şekil 3.22 Sürekli Dalgacık Analizi

- 1) Dalgacık sağa ötelenir; tüm işaret kapsanana kadar 1. ve 2. adımlar tekrarlanır.



Şekil 3.23 Dalgacığın sağa ötelenmesi

- 2) Dalgacık ölçeklenir (yayılır) ve 1'den üçe kadar olan adımlar tekrarlanır.

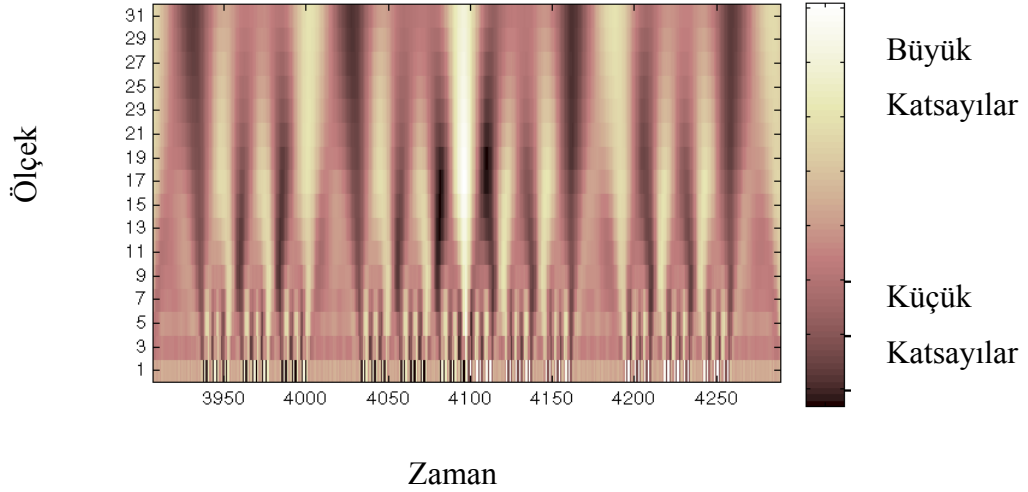


Şekil 3.24 Dalgacığın ölçeklenmesi

- 3) 1'den 4'e kadar olan adımlar tüm ölçek katsayıları için tekrarlanır.

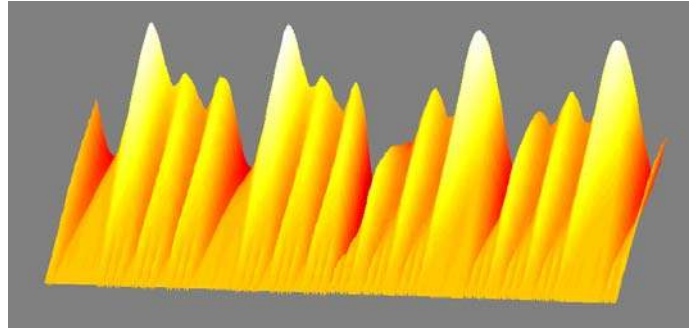
Tüm bu işlemler gerçekleştirildiğinde, işaretin farklı kesimler tarafından farklı ölçeklerde oluşturulan katsayıları elde etmiş olunur.

Bu katsayılardan şu şekilde anlam çıkarılabilir: x-ekseninin işaretin pozisyonu (zaman), y-ekseninin ölçek, her x-y noktasının da dalgacık katsayısı C'nin büyüklüğünü temsil ettiği bir grafik çizilebilir. Aşağıdaki grafik bu şekilde üretilmiş katsayı çizimleridir.



Şekil 3.25 Dalgacık dönüşüm katsayıları grafiği (Misiti, 2006)

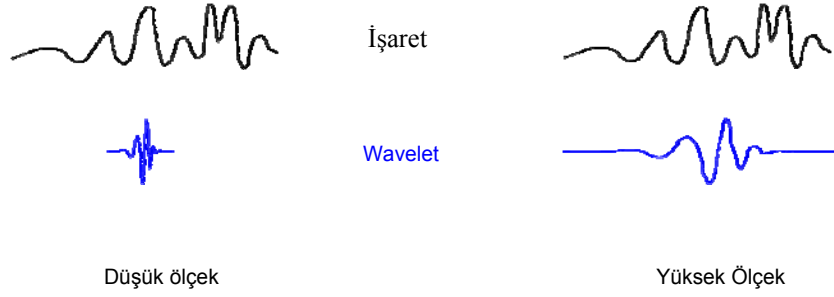
Bu katsayı çizimleri yukarıdan bakıldığında engebeli bir yüzeye benzerler. Aynı yüzeye yandan bakılırsa, aşağıdaki gibi bir sonuç görülebilir.



Şekil 3.26 Şekil 3.22'deki dalgacık dönüşüm katsayılarının yandan görünüşü (Misiti, 2006)

3.9.4 Ölçek ve Frekans

Katsayılar eğrisindeki ölçekler (y-ekseni) 1'den 31'e kadardır. Yüksek ölçeklerin daha "gerilmiş" dalgacıklar olduğu dikkate alınırsa, dalgacık daha gerilmiş olduğunda, orijinal işaret ile karşılaştırılan kısmı daha büyür; böylece dalgacık katsayıları tarafından ölçülen işaret özellikleri daha kaba olur.



Şekil 3.27 Ölçeklendirme

Böylece; dalgacık analizi tarafından ortaya çıkan dalgacık ölçekleri ve frekansı arasındaki bağıntı aşağıdaki gibidir:

- Düşük ölçek $a \rightarrow$ Sıkıştırılmış dalgacık $\rightarrow$ Hızla değişen detaylar $\rightarrow$ Yüksek frekans ω
- Yüksek ölçek $a \rightarrow$ Gerilmiş dalgacık $\rightarrow$ Yavaş değişen, kaba özellikler $\rightarrow$ Düşük frekans ω

Dalgacık analizinin bir zaman-frekans değil, zaman ölçek analizi yapması bir zayıflık değil, aksine üstünlüktür, çünkü birçok doğa olayından türeyen çok naturel bir yöntemdir.

3.10 Ayrık Dalgacık Dönüşümü

Sürekli Dalgacık Dönüşümünün dijital uygulamadaki eşdeğeri ayrık dalgacık dönüşümü aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\text{DWT}(m,k) = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \sum_n f(n) \psi^* \left(\frac{k - nb_0 a_0^m}{a_0^m} \right) \quad (3.3)$$

Sürekli dönüşümde sırasıyla a ve b ile ifade edilen ölçek ve öteleme parametreleri burada m doğal sayısının fonksiyonudurlar: $a = a_0^m$ ve $b = nb_0 a_0^m$ bu parametreler genişletilmiş dalgacıklardan oluşan bir eğri ailesi yaratırlar; ki bunlara yavru dalgacıklar da denir. Diğer yandan, (3.4) denkleminde ifade edilen k parametresi bir giriş işaretinin belirli bir örnekleme sayısını ifade etmektedir. (Özgün, 2001)

(3.3) denklemi düzenlenirse, k ve n değişkenlerinin yerleri değiştirilerek aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\text{DWT}(m,k) = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \sum_k f(k) \psi^* (a_0^{-m} n - b_0 k) \quad (3.4)$$

m: kaydırılmış dalgacıkları oluşturan tam sayı

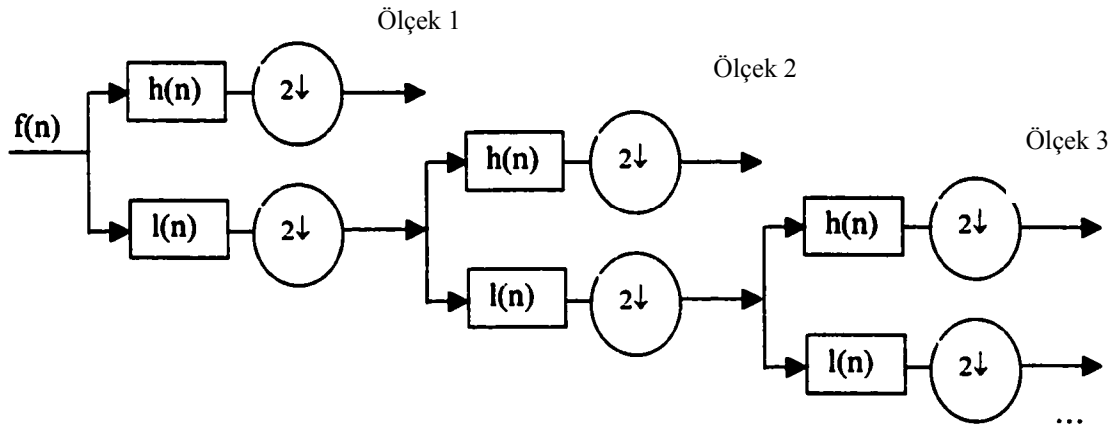
k: giriş sinyali örnek sayısı

Yukarıdaki denklem, dijital filtrelerin sonlu darbe cevabı için (FIR) aşağıdaki gibi verilen konvolüsyon denklemine benzemektedir:

$$y(n) = \frac{1}{c} \sum x(k)h(n-k) \quad (3.5)$$

$h(n-k)$: Dalgacık dekompozisyonu sonlu darbe cevabı

Burada $h(n-k)$ FIR filtresinin darbe cevabıdır. Bu iki denklemi karşılaştırarak, ayrık dalgacık dönüşümü denklemindeki filtre darbe cevabının $\psi(a_0^{-m}n - b_0k)$ olduğu bulunur.



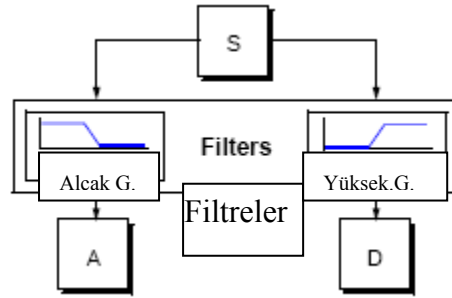
Şekil 3.28 Ayrık Dalgacık Dönüşümünün Uygulaması (Özgün, 2001)

DWT'nin (ayrık dalgacık dönüşümünün) uygulanması her dalgacık dönüşümü ölçek kademesinde uygun yüksek geçirgen ve alçak geçirgen filtre çiftlerinin mevcudiyetini içerir. Gerçekte, $a_0 = 2$ ve $b_0 = 1$ seçilip; ana dalgacığı alçak geçirgen filtre $l(n)$; ve onun eşleniğini yüksek geçirgen filtre $h(n)$ olarak kullanarak çok kademeli bir filtreleme uygulamak suretiyle şekil 3.28'deki gibi kullanılır.

Bu şemanım filtreler kullanarak uygulaması 1988 yılında Mallat tarafından gerçekleştirilmiştir. Mallat algoritması işaret işleme camiasında iki-kanallı altband kodlayıcısı olarak ta bilinir. Bu pratik filtreleme algoritması, içine bir işaretin girdiği ve dışından dalgacık katsayılarının çıktığı hızlı bir dalgacık dönüşümü sunar.

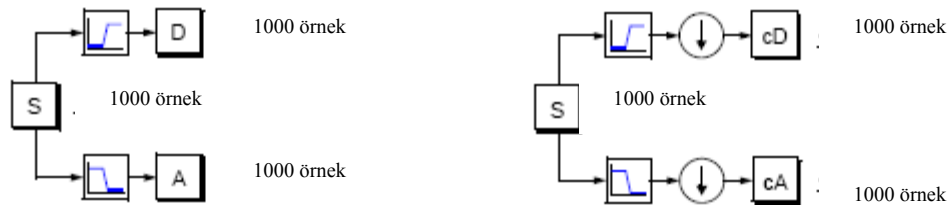
3.11 Tek Kademeli Filtreleme: Yaklaşımlar ve Detaylar

Çoğu işaret için, düşük frekans içeriği en önemli, ve işarete kimliğini kazandıran kısımdır. Bunun yanında yüksek frekans bileşeni, ayrıntı ve nüansları içerir. Buna örnek olarak insan sesi gösterilebilir. Eğer yüksek frekans bileşenlerini çıkartılırsa, ses farklı duyulur, fakat neyden bahsedildiği hala anlaşılabilir. Fakat düşük frekans bileşenleri çıkartılırsa, konuşmanın anlaşılabilirliği bozulur. Dalgacık analizinde genellikle *yaklaşımlar ve detaylar* söz konusudur. Yaklaşımlar sinyalin yüksek ölçekli düşük frekans bileşenleridir. Detaylar ise düşük ölçekli, yüksek frekanslı bileşenlerdir. Temel olarak, filtreleme süreci aşağıdaki gibi olmaktadır:



Şekil 3.29 Ayırık dalgacık analizinde temel filtreleme prensibi (Misiti, 2006)

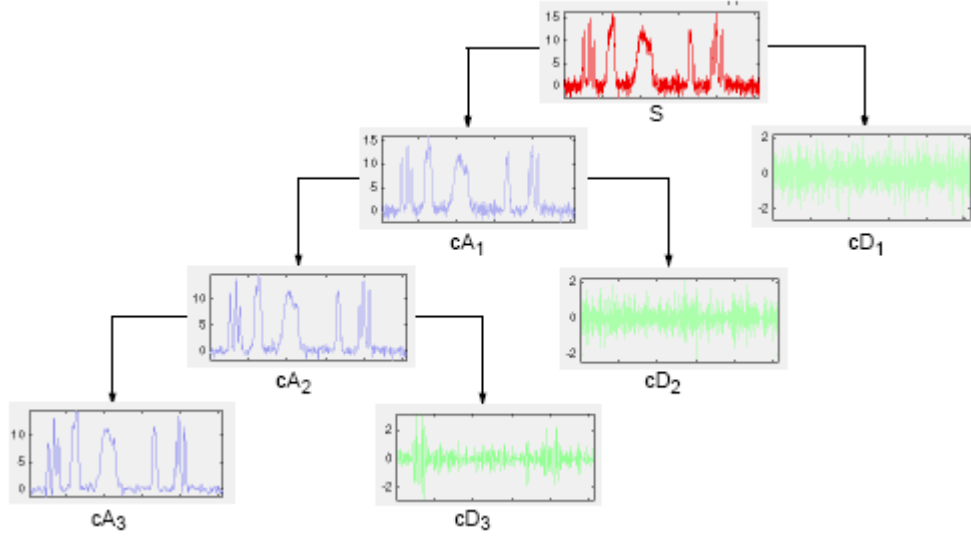
Orijinal işaret S, birbirini tamamlayan iki filtreden geçer ve iki işarete ayrılmış olur. Bu operasyonu gerçek bir dijital sinyale uygularsak başlangıçtan elimizde olanın iki katı veri elde etmiş oluruz. Örneğin, S işareti 1000 örnekli bir veriye sahip olsun. O zaman filtre çıkışında ortaya çıkan sinyallerin her biri 1000 örnek olacağından toplamda 2000 örneğe ulaşılmış olunur ki bu da hafızada iki katı yer işgal edilmesi demektir ve istenmeyen bir durumdur. Bunu engellemek için *aşağı örnekleme* yöntemi uygulanır. Bu yöntemle göre her iki örneklemeden birinden vazgeçilir; A ve D yerine cA ve cD diye adlandırılan diziler elde edilmiş olur. Şekil 3.17'de sağ tarafta gösterilen prosedür aşağı örnekleme gösterir ve DWT (ayırık dalgacık dönüşümü) katsayılarını oluşturur.



Şekil 3.30 Normal örnekleme ve aşağı örnekleme (Misiti, 2006)

3.12 Çok seviyeli Ayırıştırma (Dekompozisyon)

Ayırıştırma işlemi yinelemeli bir şekilde devam ettirilebilir. Burada başarılı yakşımların (şekilde cA kutucuklarının) yeniden ayırıştırılmasına dikkat edilmelidir. Böylece bir işaret birçok düşük çözünürlüklü bileşene ayırıştırılmış olur. Buna *dalgacık ayırıştırma ağacı* denmektedir.



Şekil 3.31 Dalgacık ayırıştırma ağacı (Misiti, 2006)

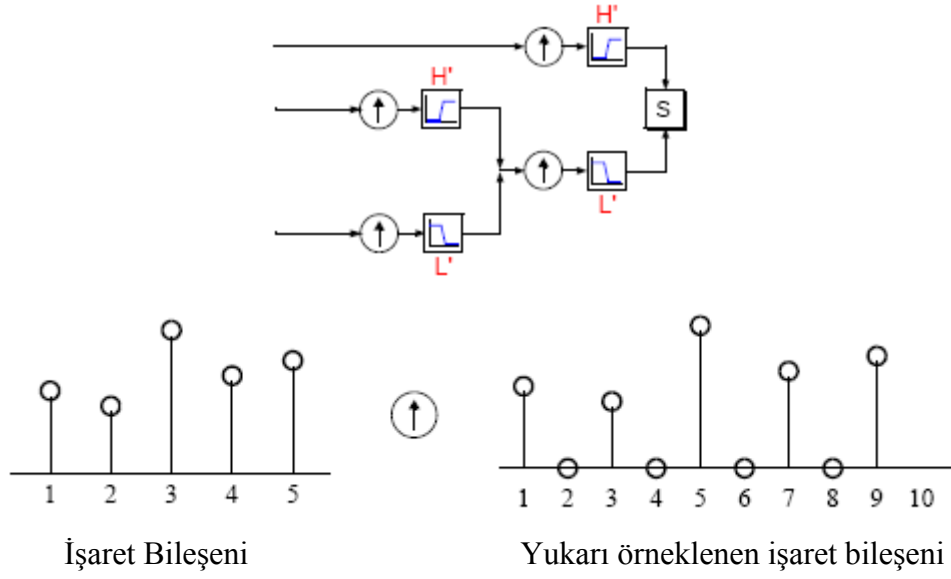
Bir işaretin dalgacık ayırıştırma ağacını incelemek çok değerli bilgilerine ulaşılmasını sağlar.

3.12.1 Seviye Sayısı

Analiz süreci yinelemeli olduğundan, bir detay tek bir örnek veya pikselden oluşuncaya kadar devam edebilir. Ama pratikte, işaretin doğasına uygun olarak bir seviye sayısı seçilmesi daha uygun olur.

3.13 Dalgacık Rekonstrüksiyonu(yeniden inşası)

Ayrık dalgacık dönüşümünün işaretleri analiz etmek için kullanılmasına ayırıştırma veya analiz denmektedir. Bu bileşenlerin tekrar orijinal işareti oluşturmak için veri kaybı olmadan birleştirilmesine de rekonstrüksiyon(yeniden inşa), veya sentez denmektedir. Sentezi etkileyen matematiksel manipulasyon ise ters ayrık dalgacık dönüşümü (IDWT) olarak adlandırılır. Dalgacık analizi filtreleme ve aşağı örnekleme içerirken, rekonstrüksiyon süreci yukarı örnekleme ve yine filtrelemeyi içermektedir. Yukarı örnekleme, bir işareti örneklemler arasına sıfırlar ekleyerek büyütme işlemidir.

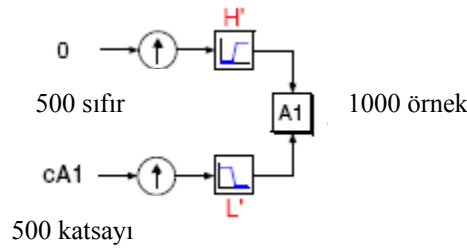


Şekil 3.32 Yukarı örnekleme ve rekonstrüksiyon (Misiti, 2006)

3.14 Yaklaşımlar ve Detayların Yeniden İnşası

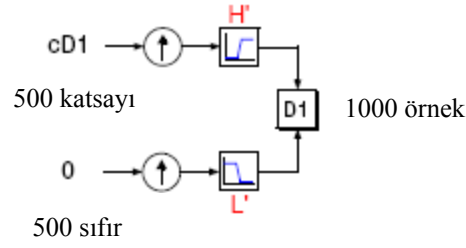
Yaklaşım ve detaylardan orijinal işareti üretmek mümkünken yaklaşım ve detayların kendilerini de katsayı vektörlerinden türetmek olanak dahilindedir. Bir örnek olarak, birinci-seviye yaklaşım $A1$ 'in $cA1$ katsayı vektöründen nasıl türetildiği gösterilmektedir.

Orijinal işareti türetmek için yapıldığı gibi A ve D 'leri birleştirmek yerine A ile sıfırlardan oluşan bir vektör birleştirilir.



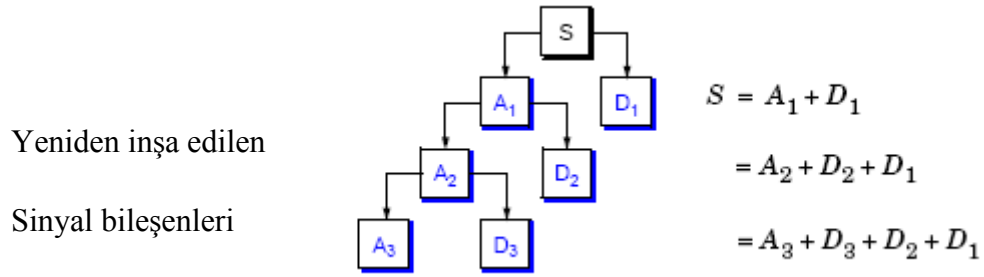
Şekil 3.33 Birinci seviye yaklaşım vektörünün katsayılar vektöründen türetilmesi (Misiti, 2006)

Bu işlem yeniden inşa edilmiş $A1$ yaklaşımını verir, ve orijinal işaret S ile aynı uzunlukta olmakla beraber onun gerçek yaklaşımıdır. Benzer işlem birinci seviye detayı $D1$ 'i yeniden türetmek için kullanılabilir.



Şekil 3.34 Birinci seviye detay vektörünün katsayılar vektöründen türetilmesi (Misiti, 2006)

Türetilmiş olan detaylar ve yaklaşımlar orijinal işaretin gerçek bileşenleridir. Bu nedenle ancak $A_1 + D_1 = S$ sonucunu verir. Bu teknik çok seviyeli analiz bileşenlerine uygulanacak olursa, benzer ilişkilerin tüm yeniden türetilen işaret bileşenleri için geçerli olduğu görülür.



Şekil 3.35 Orijinal işareti yeniden inşa etmenin farklı yöntemleri (Misiti, 2006)

4. OLASILIKSAL SINIR AĞI TABANLI SINIFLANDIRICI

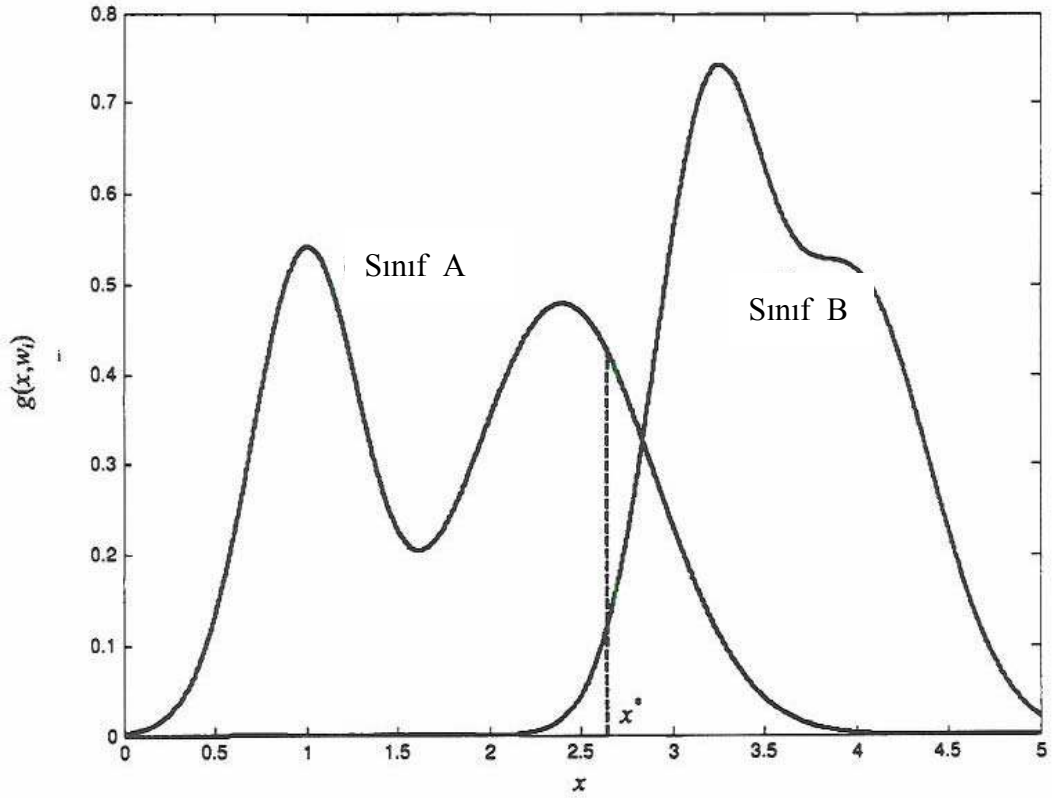
4.1 Sınıflandırmanın İstatistiksel Temeli

Sınıflandırmanın temeli olasılık teoremine dayanır. Örüntü sınıflandırmasının ana fikri aşağıda verilmiş olan Bayes kuralı ile tanımlanmıştır.

$$P(\omega_i | x) = \frac{g(x|\omega_i)P(\omega_i)}{g(x)} \quad g(x) = \sum_{i=1}^C g(x|\omega_i)P(\omega_i) \quad (4.1)$$

Sınıf i üzerinden düşünüldüğünde, formülde görülen ω_i , $g(x | \omega_i)$ ve $P(\omega_i)$, sırasıyla, x ' in i sınıfındaki sınıfa bağlı Olasılıksal Yoğunluk Fonksiyonu, i sınıfının önceki olasılığı ve C sınıfların sayısını göstermektedir. x verilen bir giriş vektörü (giriş numunesi) olarak kabul edilirse, $P(\omega_i | x)$, i sınıfının önceki olasılığıdır. Diğer sınıflandırma tekniklerine de temel oluşturması nedeniyle Bayes kuralından biraz daha bahsedilebilir. (Chen, 2001)

Öncelikli olasılıklar, basitçe ve ana hatlarıyla $P(\omega_i)$ ' lerin kendi sınıflarında oluşabilme ihtimalini belirler. Örneğin, bir 2 sınıflı problemde her iki sınıfın da oluşma şansı eşitse, öncelikli olasılıklar $P(\omega_1)$ ve $P(\omega_2)$ 'nin her ikisi de $1/2$ 'ye eşittir. Burada açıkça bellidir ki, verilen bir sistemde öncelikli olasılıklar geçmişteki olayların bir özetidir ve mevcut numuneyle ilgili yapılan gözlemlere bağlı değildir. Bayes kuralı, x ile ilgili ekstra bilgileri kullanarak verilen bir girdi için öncelikli olasılıklardan daha iyi bir değerlendirme yapılmasını sağlar. Aslında temelde yatan fikir; öncelikli olasılıklarla sistem özelliklerine ait gözlemleri birleştirerek yapılan değerlendirmeyi daha etkin kılmaktır. Bu, mevcut giriş numunesinin her sınıfı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının değerlendirilmesi ile gerçekleştirilir. Spesifik bir sınıfa daha çok benzeyen bir giriş numunesi bu sınıf için daha geniş bir $g(x | \omega_i)$ oluşturur ve aşağıdaki şekildedeki görülebileceği gibi sonuçlar daha geniş bir eğri gösterir. Bu prosedürü tek özellikli bir iki sınıflı bir problemde göstermek öğretici olacaktır. Aşağıdaki şekil, x in hem A hem de B sınıfları için Olasılıksal Yoğunluk Fonksiyonları özelliğini göstermektedir. Bu özelliğe ait x ' değerine sahip bir giriş numunesinin sınıf A'ya ait olması sınıf B'ye nazaran daha muhtemeldir. Her iki sınıfın öncelikli olasılıkları eşitse, giriş numunesi A sınıfına dahil edilecektir. (Safavian, 2005)



Şekil 4.1 İki sınıflı bir problemde karar verme (Safavian, 2005)

Eşitlik (4.1)'e göre bütün sınıflar için paydanın aynı olması nedeniyle, sınıf tayini aşamasında Bayes kuralının kullanımı aşağıdaki gibi basite indirgenebilir.

Bayes kuralına göre ω_i 'ye karar vermek için ;

$$g(x | \omega_i) P(\omega_i) > g(x | \omega_j) P(\omega_j) \quad \forall i, i \neq j \quad (4.2)$$

Sınıfların eşit olarak birbirine benzediği durumlarda , öncelikli olasılıkları gösteren $P(\omega_i)$ de sadeleştirme yoluyla eşitlikten çıkartılır. Bayes kuralı verilen bir giriş numunesinin (x 'de yer alan özelliklerle tanımlanan bir girdi) ait olduğu sınıfın belirlenmesi için kullanılabilecek en doğru metottur. Bununla birlikte, birçok durumda yukarıdaki (4.2) eşitliğinde istenen sınıfa bağlı Olasılıksal Yoğunluk Fonksiyonları elde edilememektedir. Bundan dolayı, Bayes kuralı, ancak sınıfların Olasılıksal Yoğunluk Fonksiyonları net olarak biliniyorsa ya da doğru olarak tahmin edilebiliyorsa uygulanabilir. (Safavian, 2005)

4.2 Olasılıksal Sinir Ağları (PNN)

Olasılıksal sinir ağları (PNN)'ler Bayes kuralını uygulayan bir sınıflandırıcıdır. Daha önce de belirtildiği gibi Bayes kuralı kullanılarak yapılan sınıflandırma için birbirinden bağımsız sınıfların Olasılıksal Yoğunluk Fonksiyonlarının bilinmesi gerekir. PNN; Bayes kuralının matematiksel bir gösterimidir ve bu şekilde Olasılıksal Yoğunluk Fonksiyonları ideal şekilde elde edilebilir. (Safavian, 2005)

PNN metodunun kavramını daha detaylı incelemeden önce, Olasılıksal Yoğunluk Fonksiyonu tahmini için kullanışlı bir metot olan Parzen metodundan bahsedilebilir.

4.3 Parzen Metodu Kullanılarak bir Olasılıksal Yoğunluk Fonksiyonu Tahmini Yapılması

Olasılıksal Yoğunluk Fonksiyonu tahmini yapılmasında kullanılan ve popüler olan bu metot Parzen tarafından bulunmuştur. Önce tek değişkenli durumlar için gösterilen bu metoda göre, x_r , $r \in \{1, 2, \dots, n_k\}$ deneme numuneleri ile verilen bir k sınıfı için Olasılıksal Yoğunluk Fonksiyonu aşağıdaki eşitlik kullanılarak tahmin edilebilir; (Chen, 2001)

$$g_k(x) = \frac{1}{n_k \sigma} \sum_{r=1}^{n_k} W\left(\frac{x - x_r}{\sigma}\right) \quad (4.5)$$

$g_k(x)$ tahmin edilen olasılıksal yoğunluk fonksiyonu olduğunda; σ ölçeklendirme katsayısı ve $W(x)$ ' de aşağıdaki koşulları sağlayan bir pencere fonksiyonudur.

1. $W(0) > W(x)$, $\forall x$
2. $W(\pm \infty)$ sifıra yaklaşır.

Verilen bir x değeri için, olasılıksal yoğunluk fonksiyonu $g_k(x)$ öncelikle bu nokta ile deneme numunesinin tüm noktaları arasındaki uzaklığı hesaplar. Daha sonra uzaklıklar ölçeklendirme katsayısı ile normalize edilir ve pencere fonksiyonundan (W) geçer. Diğer deneme numunesine çok yakın bir x verisi için, yukarıdaki 1 numaralı koşula göre geniş bir $g_k(x)$ elde edilecektir. Diğer veri noktalarından daha uzaktaki ve k sınıfına dahil olma olasılığı daha az olan bir x verisi için; yukarıda verilen 2 numaralı koşula göre, küçük bir olasılıksal yoğunluk fonksiyonu değerlendirmesi yapılacaktır.

Pencere fonksiyonu için aşağıda verilen Gaussian fonksiyonu iyi bir adaydır;

$$W(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) \quad (4.6)$$

Burada ölçeklendirme fonksiyonun (σ) aktif bir şekilde kullanılan pencere fonksiyonunu belirlediği dikkate alınmalıdır. Başka bir deyişle, büyük σ değerleri daha fazla noktanın tüm olasılıksal yoğunluk fonksiyonuna etkin bir şekilde katılabilmesine olanak tanır. Ayrıca Gaussian pencere fonksiyonunun kullanımının tamamıyla isteğe bağlı olduğu ve gerekli bir koşul olmadığı da belirtilmelidir. (Safavian, 2005)

Çok değişkenli durumlarda, p özelliğine sahip bir analiz numunesi kullanıldığında yapılan tahmin aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$g_k(x) = \frac{1}{n_k \sigma_1 \sigma_2 \dots \sigma_p} \sum_{r=1}^{n_k} W\left(\frac{x_1 - x_{r,1}}{\sigma_1}, \frac{x_2 - x_{r,2}}{\sigma_2}, \dots, \frac{x_p - x_{r,p}}{\sigma_p}\right) \quad (4.7)$$

Bu eşitlikte, $x = (x_1, x_2, \dots, x_p)$ giriş numunesi ve $x_r = (x_{r,1}, x_{r,2}, \dots, x_{r,p})$ deneme grubundaki r 'inci numune olarak kabul edilmelidir.

Çok değişkenli fonksiyon W , aşağıdaki forma dönüştürülebilir;

$$W(x_1, x_2, \dots, x_p) = \prod_{i=1}^p W_i(x_i) \quad (4.8)$$

$W_i(x_i)$ fonksiyonu; $W(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right)$ eşitliğindeki gibi seçilirse, $p_k(x)$ aşağıda tanımlandığı gibi olacaktır:

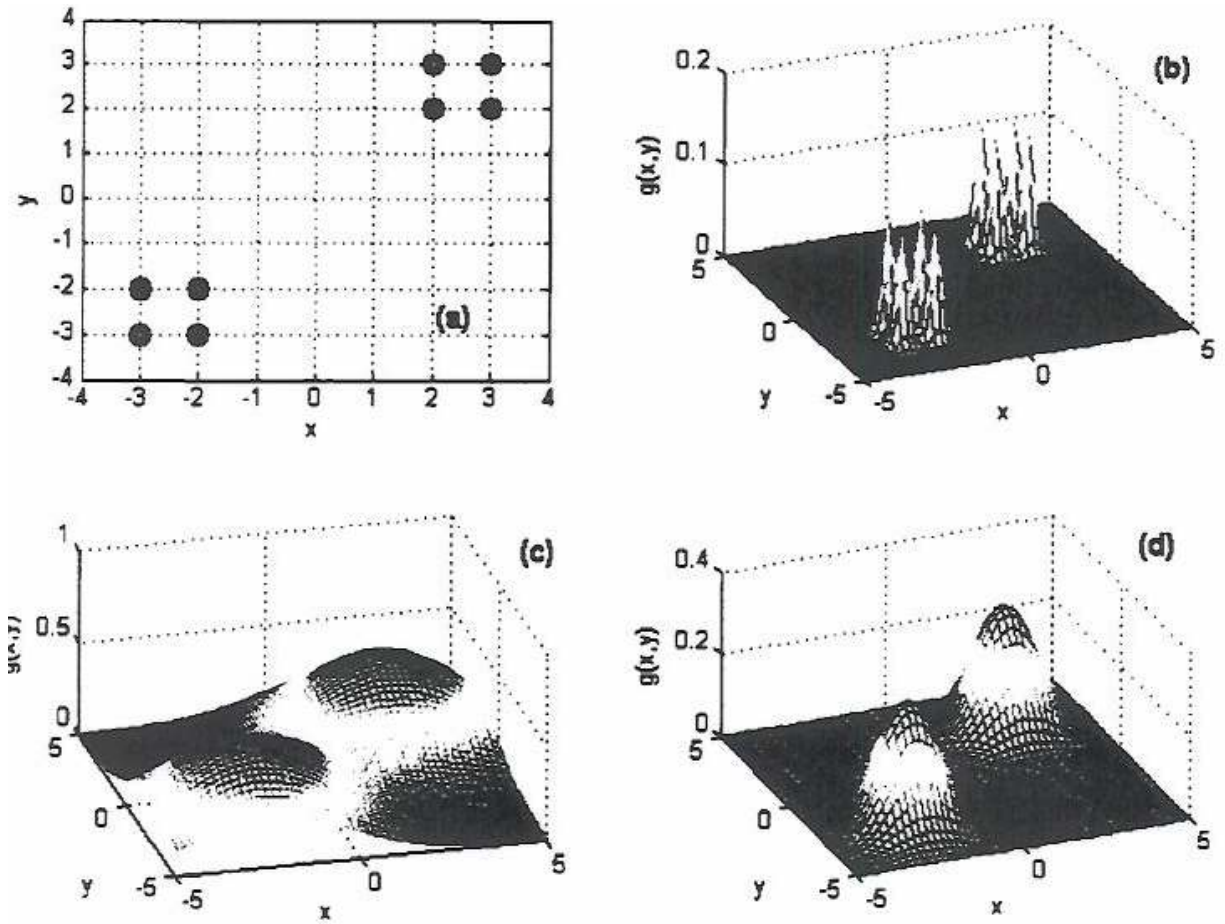
$$g_k(x) = \frac{1}{n_k \sigma_1 \sigma_2 \dots \sigma_p} \sum_{r=1}^{n_k} \frac{1}{(\sqrt{2\pi})^p} \exp\left(-\sum_{i=1}^p \frac{(x_i - x_{r,i})^2}{2\sigma_i^2}\right) \quad (4.9)$$

ve bu eşitlik aşağıdaki gibi sadeleştirilebilir:

$$g_k(x) = \frac{1}{n_k (\sigma_1 \sigma_2 \dots \sigma_p) (\sqrt{2\pi})^p} \sum_{r=1}^{n_k} \exp\left(-\sum_{i=1}^p \frac{(x_i - x_{r,i})^2}{2\sigma_i^2}\right) \quad (4.10)$$

Olasılıksal yoğunluk fonksiyonu tahmin edilmesindeki problem, bu nedenle, 4.10 denklemindeki σ_i ölçeklendirme katsayısının uygun tahmin edilmesini sağlar. Bazı durumlarda σ_i ölçeklendirme katsayısı parametreleri eşit kabul edilir. Örneğin, $\sigma_1 = \sigma_1 = \dots = \sigma_p = \sigma$. Orjinal olasılıksal sinir ağı yapısı bazen bu basitleştirilmiş varsayımı yapar.

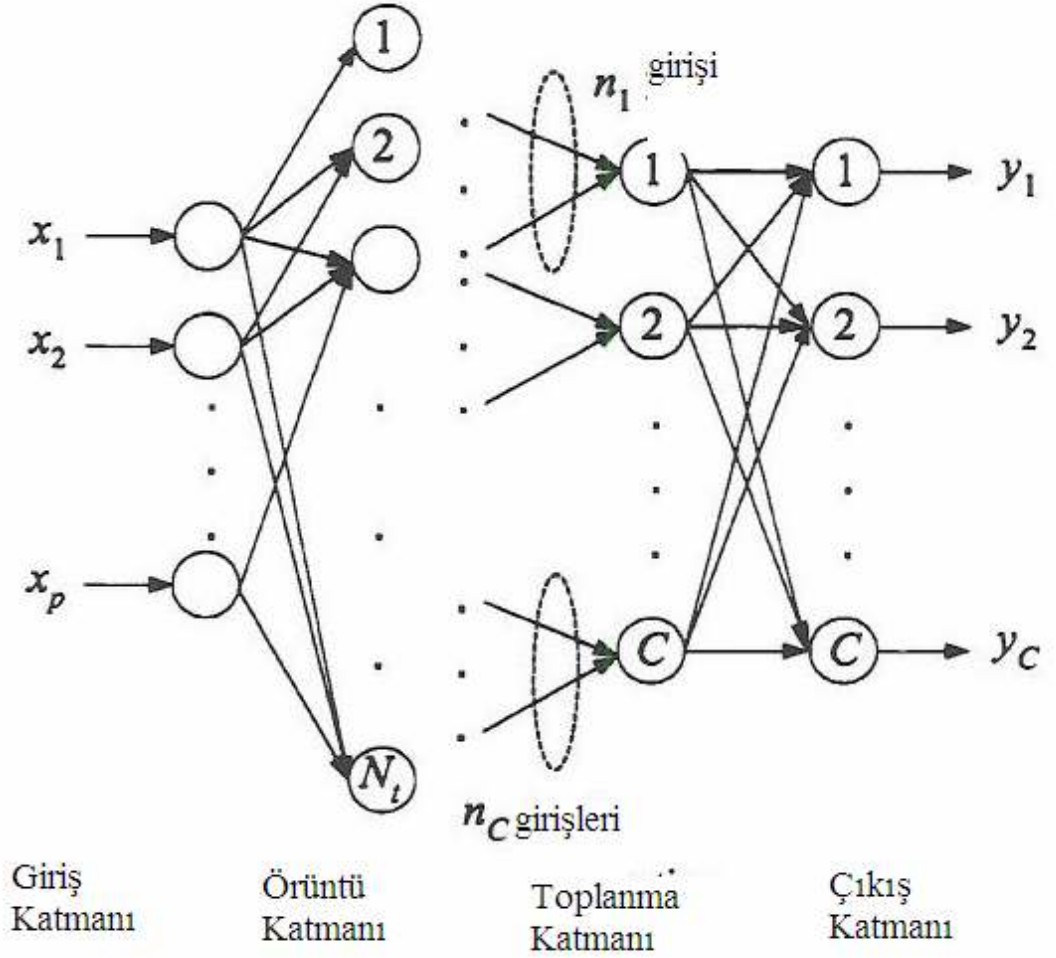
Geliştirilmiş olasılıksal sinir ağları, özellik vektörünün temel olasılıksal yoğunluk fonksiyonunun daha iyi tahmin edilebilmesi için çoklu yaygın parametreler kullanır. Yaygın parametreler için uygun değerlerin seçimi önemli bir konudur ve tahmini olasılıksal yoğunluk fonksiyonlarının kullanımıyla elde edilen sınıflandırıcının performansına etkisi fazladır. Bunu görmek için şekil 4.2’de gösterilmiş olan eğitim değerleri incelenmelidir. Bu değerler herbirinde 4 nokta bulunan iki yığılma kümesinden meydana gelir. Olasılıksal yoğunluk fonksiyonunun bu üç set değeri (σ_x, σ_y) için tahminleri bu şekilde gösterilmiştir. Şekil 4.2(b)’deki tahmin $[\sigma_x, \sigma_y] = [0.2, 0.2]$ içindir ve pencere fonksiyonunun genişliğinin az olmasının numune noktalarının ayrılması ile sonuçlanacağını bir kanıttır. Ve bu nedenle sonunda elde edilen olasılıksal yoğunluk fonksiyonu bir k-NN sınıflandırıcısına aittir. Çünkü, küçük pencere genişliği sadece veri noktasına yakın yeralması nedeniyle toplam olasılıksal yoğunluk fonksiyonuna dahil olacak ve tüm olasılıksal yoğunluk fonksiyonundaki yığılma noktalarının kaybına neden olacaktır. Şekil 4.2(c)’de $[2.2, 2.2]$ gibi oldukça büyük değerler, olasılıksal yoğunluk fonksiyonunun tahmininde aşırı düzgünlük gösterir. Başka bir deyişle, şekil 5.3(a)’da görülebileceği gibi böyle büyük değerlerle çalışılması verinin iki yığıntı halinde varolmasını engeller. $[\sigma_x, \sigma_y] = [0.2, 0.2]$ için iyi seçilmiş değerlerin tahmini şekil 4.3(d)’de görüldüğü gibi olasılıksal yoğunluk fonksiyonunun heriki yığıntının etrafında yeterli düzgünlüğünü sağlar.



Şekil 4.2 Parzen olasılıksal yoğunluk fonksiyonu tahmininde pencere genişliğinin etkisi
(Safavian, 2005)

4.3.1 Olasılıksal Sinir Ağlarının Yapısı

Olasılıksal sinir ağları aslında, Bayes karar verme kuralının bir uygulamasıdır. Ancak, tüm prosedürü çok tabakalı sinir ağları formunda göstermek mümkündür. Olasılıksal sinir ağları 4 tabakadan oluşur. Bu tabakalar, “Giriş Katmanı”, “Örüntü Katmanı”, “Toplanma Katmanı” ve “Çıkış katmanı” olarak adlandırılır. Bu 4 katman şekil 4.4’de gösterilmiştir. Ve bu katmanların fonksiyonları aşağıda anlatılmaktadır. (Safavian, 2005)



Şekil 4.3 Olasılıksal sinir ağlarının yapısı (Safavian, 2005)

Giriş katmanı, kullanılan özellik sayısı ile ilişkili olan p düğümlerinden meydana gelir. Bu şekilde, bir giriş numunesi $x = (x_1, x_2, \dots, x_p)$ ağa tanıtıldığında, bu özelliklere bağlı komponentlerin herbiri giriş katmanındaki kendisi ile ilgili düğüme atanır.

Örüntü tabakası, eğitim için verilen numune sayısı kadar nörondan meydana gelir. Eğer, k sınıfı için eğitim numuneleri sayısı n_k ile gösterilirse ve tüm sınıfların toplam sayısı C ile sembolize edilirse aşağıdaki eşitlik yazılabilir. Bu eşitliğe göre N_t eğitim numunelerinin toplam sayısını sembolize etmektedir. Bu nedenle, bir olasıksal sinir ağının örüntü tabakasında N_t adet nöron olduğu söylenebilir.

$$\sum_{i=1}^C n_i = N_t \quad (4.11)$$

Örüntü tabakasındaki her nöronun iki ana fonksiyonu vardır. Öncelikle, giriş numunesi ve

onun ilgili eğitim örneği arasındaki Öklit uzaklığının karesini hesaplar. Daha sonra (4.9) eşitliğine göre, ölçeklendirilmiş sonucu lineer olmayan pencere fonksiyonuna sokar. Örüntü katmanının fonksiyonu, bu şekilde, her eğitim örneği için $\exp(-\sum_{i=1}^p \frac{(x_i - x_{r,i})^2}{2\sigma_i^2})$ eşitliğini hesaplamaktır.

Toplanma katmanı, sınıf sayısı C kadar çok nöron içerir. Spesifik bir sınıfa ait olan eğitim numunelerini içeren örüntü tabakasındaki bu nöronlardan giriş verileri alınır. Örneğin, sınıf 2 ye ait n_2 numunelerini kapsayan örüntü tabakasındaki nöronlardan n_2 , data toplanma tabakasındaki 2 numaralı nörona veri gönderir.

Toplanma tabakasından alınan veriler, giriş numunesinin her sınıfı için olasılıksal yoğunluk fonksiyonu değerlendirmesidir. Bayes kuralına göre, giriş numunesi, olasılıksal yoğunluk fonksiyonu diğerlerinden daha büyük olan sınıfa ait olarak değerlendirilmelidir. Çıkış katmanı, değerlendirme yapılmasını sağlayan son aşamadır. “ y_i ” çıkış değerleri aşağıdaki kurala göre belirlenir (öncelikli olasılıklar eşit kabul edilirse aşağıdaki kural uygulanır) .

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{eğer } g_i(x) > g_j(x) \quad \forall j, j \neq i \text{ diğer durumlar için } 0 \end{cases} \quad (4.12)$$

Burada tekrar belirtilmelidir ki, olasılıksal sinir ağlarının yapısı Bayes kuralının olasılıksal yoğunluk fonksiyonu tahmini için Parzen kuralının kullanılmasıyla pekiştirilmiş , basit bir uygulamasıdır.

4.4 Olasılıksal Sinir Ağlarının Eğitimi

Bir olasılıksal sinir ağı öğretimi; pencere-genişlik parametrelerinin σ_i en doğru şekilde belirlenmesini gerektirir. Öncelikle bir olasılıksal sinir ağı sisteme öğretilir (bu ağın pencere genişlikleri bilinmelidir) , daha sonra Bayes kuralında uygulanmak üzere sınıflandırıcı olarak kullanılabilir. (Chen, 2001)

K sınıfına ait bir x giriş numunesinin olasılıksal sinir ağlarına tanıtıldığını varsayalım; toplanma tabakasının C çıkış verileri; kendi bağlı bulundukları sınıfın olasılıksal yoğunluk fonksiyonları değerlendirmesi için belirleyicidir. Bu değerlendirmelerin bağlı önemini değerlendirebilmek için aşağıdaki formül kullanılabilir:

$$q_i = \frac{u_i}{\sum_{j=1}^C u_j} \quad (4.13)$$

Bu eşitlikte u_i toplanma katmanındaki i 'inci nörona ait veriyi göstermektedir. Unutulmamalıdırki, ideal şartlar altında yukarıda sözü geçen (k sınıfına ait olan) numunenin tanıtılması aşağıdaki gibi yapılacaktır:

$$q_k=1 \text{ ve } q_j=0, j \neq k \quad (4.14)$$

uygun olmayan σ_i parametreleri için q_i değerleri ideal değerlerden sapma gösterir. Bu sapmalar minimizasyonu q_i değerlerinin sapmasını azaltan ve böylece uygun σ_i oluşmasını sağlayan uygun bir tarafsız fonksiyon oluşturulmasında kullanılabilir. Objektif fonksiyon eğitim setindeki her numunenin sapmalarını içermelidir. Bu nedenle, k sınıfına ait her x numunesi için kısmi objektif fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanabilir. (Chen, 2001)

$$e(x_i) = (1-q_k)^2 + \sum_{j=1, j \neq k}^C q_j^2 \quad (4.15)$$

Burada, σ_i uygun parametreleri için eşitlik 4.15 te verilen kısmi objektif fonksiyonu çok küçük olacaktır. 4.15 te verilen eşitliğe göre en düşük mutlak değer , $q_k=1$ ve $q_j=0, j \neq k$ koşulları gerçekleştiğinde elde edilir ve sıfırdır. Uygun olmayan σ_i değerleri için büyük sapmalar ve dolayısıyla büyük $e(x_i)$ değerleri oluşturur. Minimizasyon problemi için kullanılan objektif fonksiyonunun tümü aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$OF = \sum_{i=1}^{N_i} e(x_i) \quad (4.16)$$

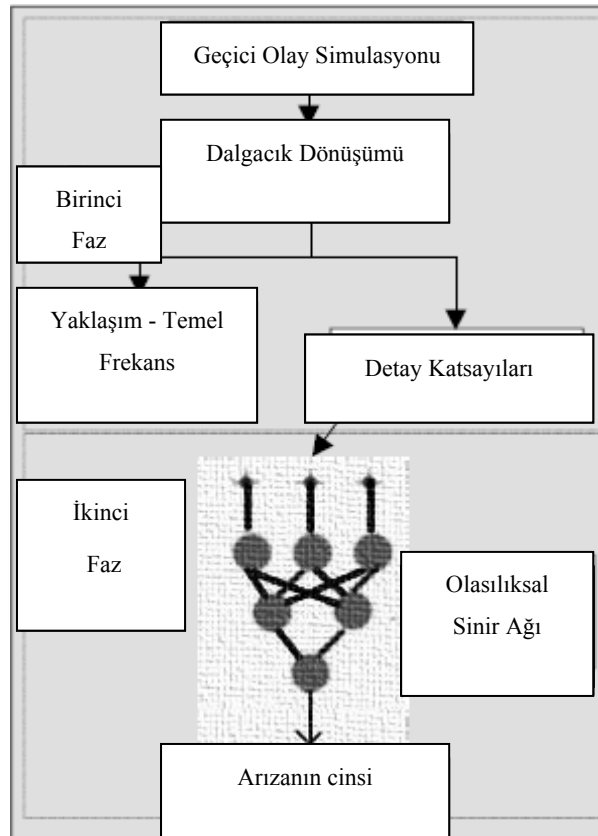
Yukarıdaki fonksiyonun optimizasyonu doğrusal olmayan optimizasyon algoritması kullanılarak , gradyanta bağlı optimizasyon algoritması gibi gerçekleştirilebilir.

5. SİSTEM TASARIMI VE UYGULAMA

5.1 Giriş

Önceki bölümlerde açıklananlar, güç sistemlerindeki geçici olayların incelenmesi, analiz edilmesi ve sınıflandırılması için matematiksel temelleri ortaya koymuştur. Bu bölümde, matematiksel temelleri açıklanan böyle bir sistemin bilgisayar ortamındaki tasarımı ve uygulaması incelenecektir.

Bu bölüm temel olarak üç ana alt başlık altında ele alınmıştır. Benzetim (simulasyon) yoluyla geçici durumların üretilmesi, dalgacık analizi yoluyla analiz edilmesi ve olasılıksal sinir ağı metoduyla da sınıflandırılması.



Şekil 5.1 Arıza tanıma sistemini gösteren blok diyagram (Kashyap, Shenoy, 2003)

Öncelikle geçici olay bozulmasının benzetimi yapılır ve geçici olay gerilim dalga şekilleri üretilir. Daha sonra bu dalga şekilleri ayrık dalgacık(wavelet) dönüşümü sayesinde yaklaşım ve ayrıntı katsayılarına ayrıştırılır. Ayrıştırma işlemi yaklaşım katsayılarının 50Hz'e en yakın olduğu seviyede kesilir. Bu seviyedeki yaklaşım katsayıları, neredeyse saf sinüzoidal dalgayı

temsil eder ve aynı seviyenin detay katsayıları ise tüm bozucu dalgaları temsil eden ayrıştırımların toplamını gösterir. İşte bu noktadaki detay katsayıları olasılıksal sinir ağlarının girdisi olur ve yeteri kadar veri ile olasılıksal sinir ağları eğitildikten sonra bu YSA çıkışı hataları sınıflandırarak tanır. Bu yöntemin şematik gösterimi Şekil 5.1’de gösterilmiştir.

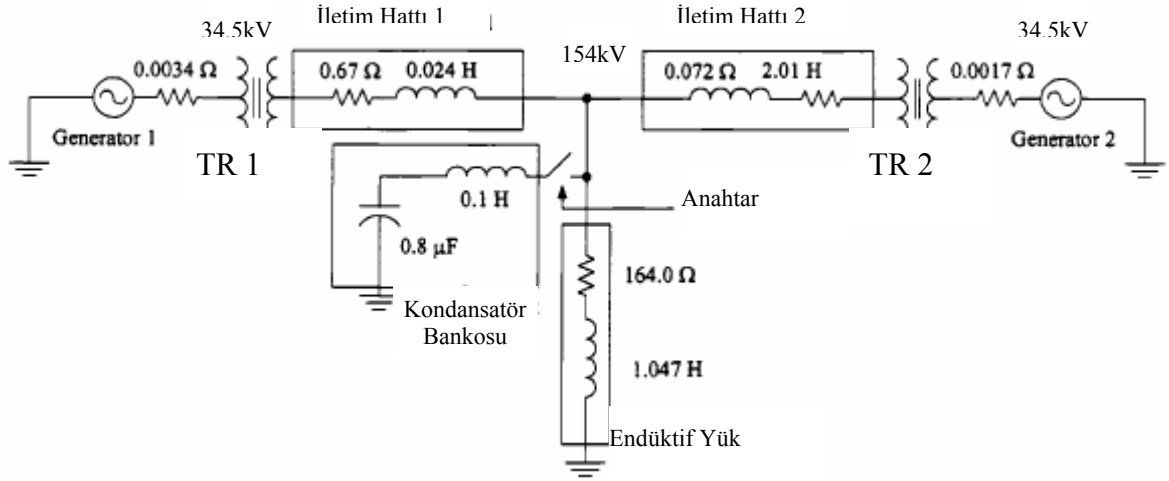
5.2 Bir Güç Sisteminde Geçici Olayların Benzetimi

İkinci bölümde belirtildiği gibi, güç sistemlerindeki geçici olaylar planlanmış veya planlanmamış çeşitli nedenden ötürü meydana gelirler ve sistemin performansını olumsuz yönde etkilerler. Bir geçici olay meydana geldiğinde, orijinal sinüzoidal akım ve gerilim dalga şekli farklı frekansların eklenmesiyle bozulur.

Geçici olayların analiz edilmesi, dahil olunan elektrik şebekesinin doğru modellenmesi ve ortaya çıkan denklemlerin hatasız biçimde çözülmesiyle mümkün olmaktadır. Bunu gerçekleştirebilmek için, ya bu amaç için hazırlanmış simülasyon programları kullanılacak, ya da yeni bir program yazılacaktır. İkinci alternatif hiç şüphe yok ki çok kapsamlı bir çalışma ve vakit gerektireceğinden bu tez kapsamının dışındadır. Bu nedenden dolayı tezin simülasyon kısmında benzetimi yapılan geçici olaylar, Matlab/Simulink programı yardımıyla oluşturulmuştur. 5.2’de tek hat şeması gösterilen güç sisteminde,

- Kondansatör anahtarlama
- Tek faz toprak arızası
- Yük anahtarlama

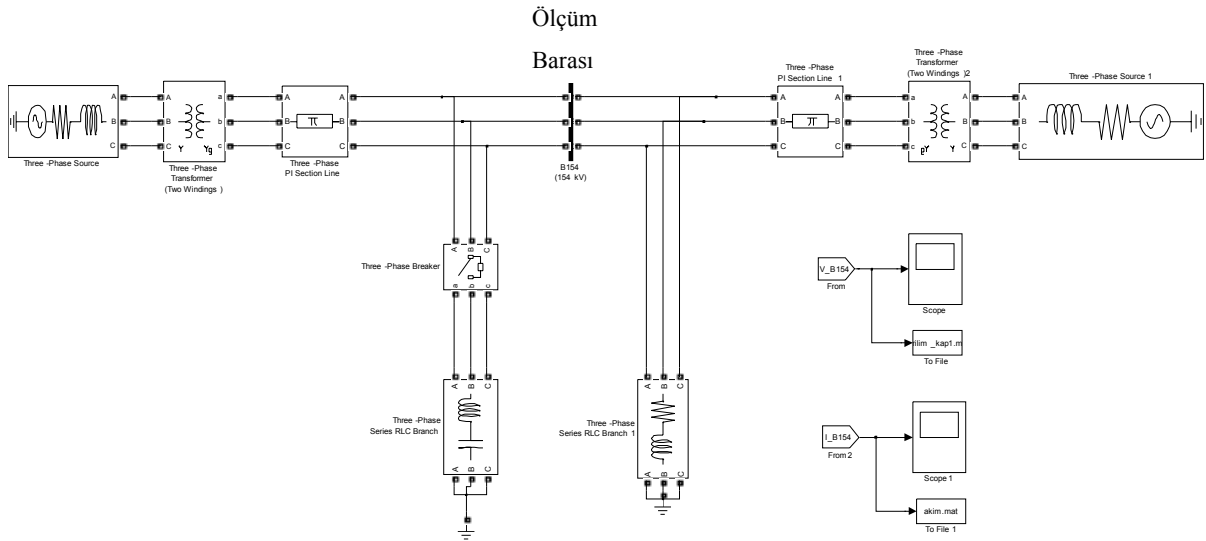
olmak üzere üç tip geçici olay uygulaması, Matlab/Simulink programı kullanılarak simüle edilmiştir. Bu sistem basit bir güç iletim şebekesini göstermektedir. İki adet enerji üretim santrali, (Generatör 1 ve 2) iletim hattı üzerinden yüke bağlıdır (ortadaki dikey branşman). Yük, bir seri RL kombinasyonu olarak gösterilmiştir. Bu durum geleneksel hanehalkı ve endüstriyel yüklerin eşdeğeridir. Şebekenin tek hat şeması üzerinde gösterilen nümerik değerler, bu tip şebekelerde rastlanan değerlerdir. Yüke paralel olarak gösterilen LC dalı, anahtarlanan kapasitif bir daldır (kondansatöre seri bağlı endüktans akımı sınırlamak ve koruma yapmak için konumuştur) ve yükün ihtiyacı olan reaktif gücü kompanse etmek için bağlanmaktadır. Reaktif gücün yerel olarak üretildiği bu tip şebekeler, doymuş iletim hatlarındaki reaktif güç akışını azaltmak suretiyle hattı rahatlatarak iletim kapasitesini artırmak için kullanılırlar (Kundur, 1995).



Şekil 5.2 Dikkate alınan güç sisteminin tek hat şeması (Safavian, 2005)

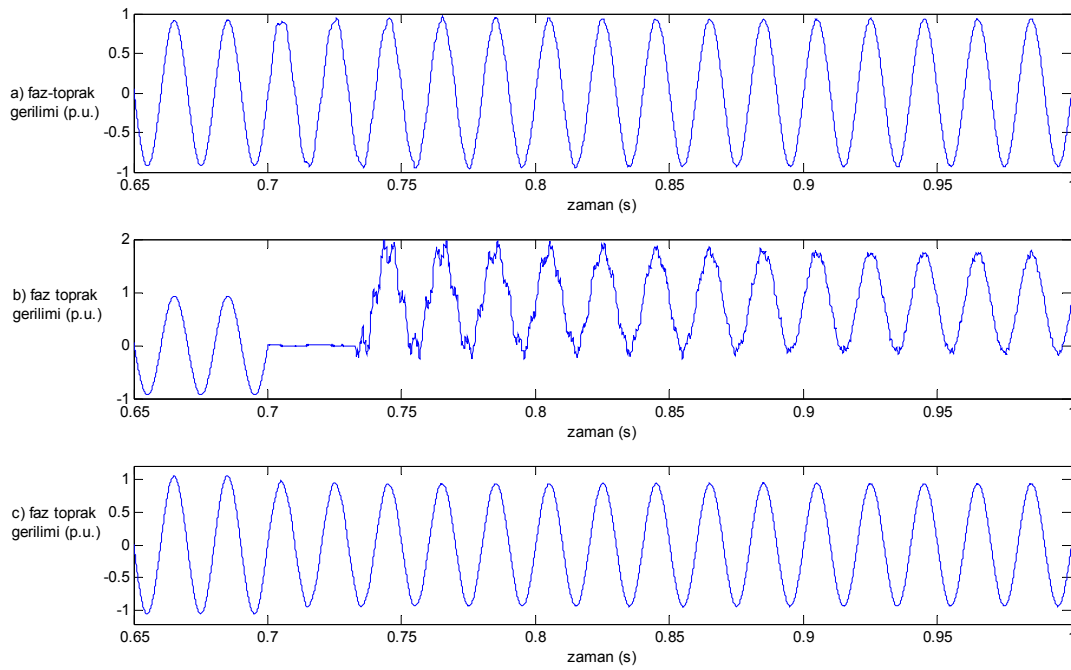
Simüle edilen devrenin gerilim zaman dalga şekli olasılıksal sinir ağlarını eğitmek için kullanılacağından, mümkün olduğu kadar fazla devrenin simülasyonu yapılması gerekmektedir. Bu nedenle her geçici olay arızası için 110 tane olmak üzere toplamda 330 tane dalga şekli simülasyonu yapılmıştır. Toplam simülasyon zamanı 2 s olarak alınmış, arıza başlangıç zamanları 700 ms ile 810 ms arasında seçilmiştir. Değişik dalga şekilleri üretebilmek için sadece arıza başlangıç açıları ile değil topraklama direnci için de farklı değerler kullanılmış, bu sayede çok sayıda model örneklemek mümkün olabilmektedir. Geçici durumların ilk enerji verildiğinde başlatılmamasının nedeni, başlangıç geçici durumlarının sönümlenmesinden sonra daha sağlıklı simülasyon sonuçlarının alınabileceğinin düşünülmüştür.

Her arıza sınıfı için, 110 örneğin 70 tanesi öğrenme ve 40 tanesi de test etmek için kullanılmıştır. Analiz için örnekleme frekansı 10240Hz seçilmiştir, Bunun nedeni, 8 adet diadik (ikili) ayrıştırma yapılması sonucunda elde edilen yaklaşım dalga şekli frekansının yaklaşık 50Hz olmasıdır.



Şekil 5.3 Simulasyonu yapılan devrenin Simulinkte kurulmuş olan modeli

Benzetimi yapılan geçici olaylar dalga şekillerinden üçü Şekil 5.4'te gösterilmiştir.

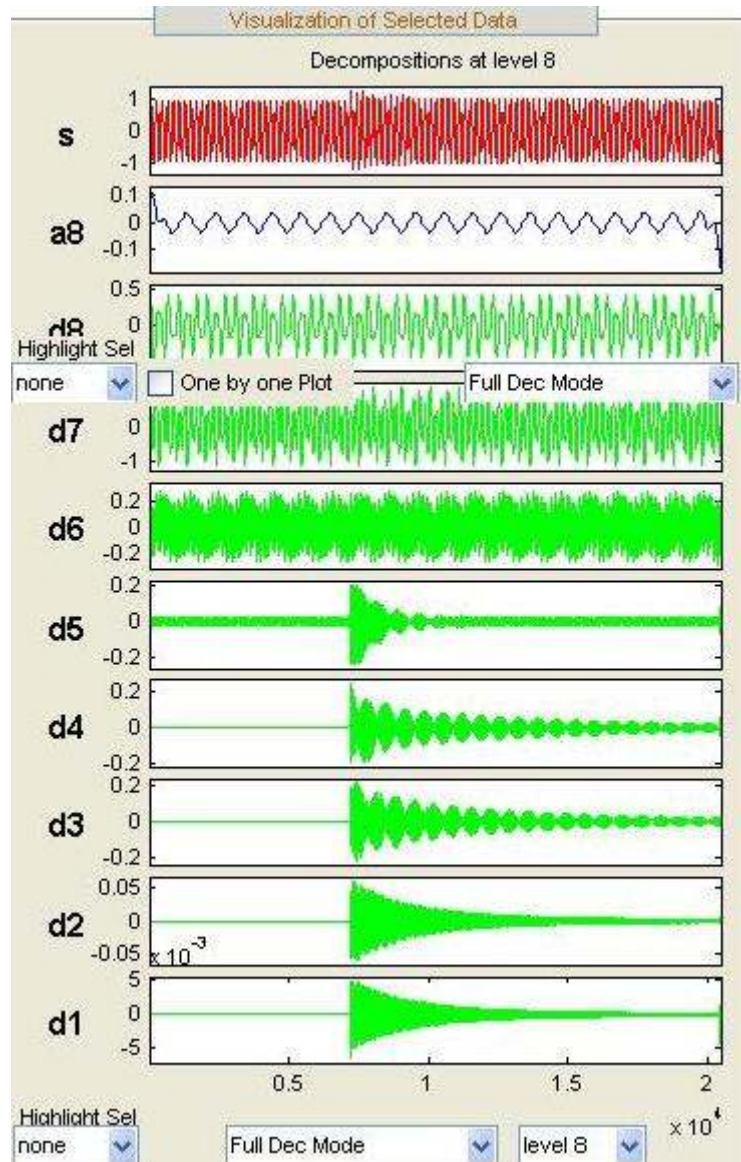


Şekil 5.4 Simule edilen geçici olay örnekleri a) kondansatör anahtarlaması b) tek faz toprak arızası c) (endüktif) yük anahtarlaması

5.3 Dalgacık Analizi ve Özellik Çıkartımı

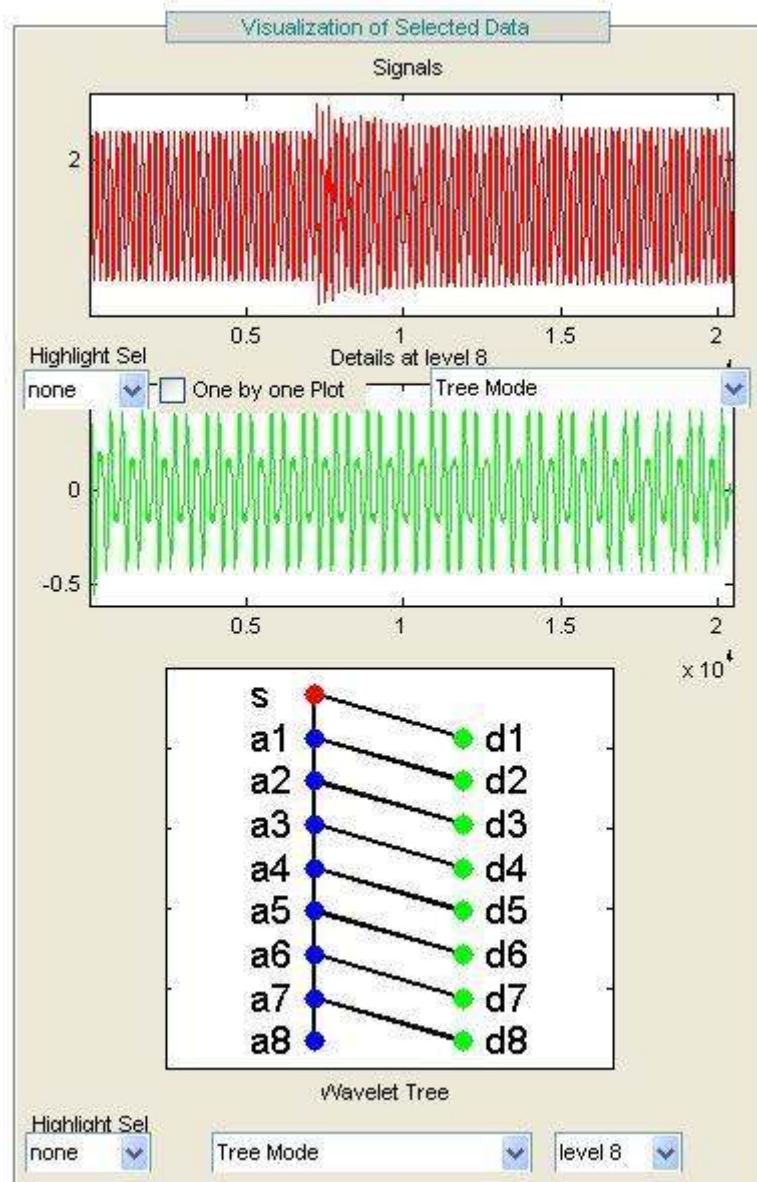
Bilindiği gibi dalgacık analizinin altında yatan fikir verilen bir işareti, tek bir referans fonksiyonu kaydırarak veya genişletip daraltarak karşılaştırmak suretiyle farklı çözünürlük seviyelerinde çeşitli ölçeklere ayırmaktır. Bu tezdeki örnek sistemde, Daubechies 4 (Daub4) dalgacık dönüşümü kullanılarak çok çözünürlü dalgacık ayrıştırması yapılmıştır. Bu dalgacığın seçilmesinin nedeni sinüzoidal arıza dalga şekillerine en çok benzeyen bir dalga şekli olması ve daha önce yapılan çalışmalarda ekseriyetle bu dalgacığın kullanılmasıdır. Dalgacık analizi için en uygun dalgacığın seçilmesi ayrıca incelenme gerektiren bir konudur ve bu nedenle tez kapsamı dışında bırakılmıştır. Bir geçici durum işareti detay ve yaklaşımlarına, dalgacık dönüşümü yöntemi kullanılarak $N=2^L$ ile verilen L tane dalgacık seviyesine kadar ayrıştırılabilir. Buradaki simulasyon dalgasında elde edilen 20480 adet veri 13. seviyeye kadar teorik olarak ayrıştırılabilir olmasına rağmen 50Hz'in altını irdeleyen ayrıştırmalar geçici hal analizi için önemli değildir ve bu da sekizinci ayrıştırma seviyesine tekabül etmektedir.

Çeşitli başlangıç açıları ve arıza dirençleri kullanılarak oluşturulan her sınıfa ait 110, toplamda 330 adet iki saniyelik gerilim dalgası bilgisayarın hafızasına kaydedilmiştir. Bu kaydedilen dalga fonksiyonları Matlab Wavelet Toolbox yardımı ile dalgacık dönüşümünden geçirilir.



Şekil 5.5 Dalgacık dönüşümü yapılan dalganın ayrıştırma katsayıları grafiği

Dalgacık dönüşümü yaklaşım ve detay katsayılarına ayrılan dalga şekil 5.5’te gösterilmiştir. Bu dalganın dalgacık ayrıştırılmalarının nasıl gerçekleştirildiği, şekil 5.6’daki ağaç modeli (tree mode) üzerinde daha rahat anlaşılabilir.



Şekil 5.6 Dalgacık ayrıştırması ağaç modeli

Şekil 5.5 ve 5.6'daki bu dalga kondansatör anahtarlama simülasyonu sonucu oluşan dalga şekli ve ayrıştırma katsayılarını göstermektedir. Birinci ayrıştırma detayında, geçici durum arızasının nerede başladığı gözle rahatlıkla tespit edilebilir durumdadır.

Şekil 5.7 ve 5.8 ise sırasıyla tek faz toprak kısa devre ve yük anahtarlama dalga şekillerinin dalgacık bileşen katsayılarını göstermektedir. Burada da detay bileşenlerinde sadece geçici olaya ait sönümlü dalga şekli oluşturan katsayıların gözle ayırt edilebilir olduğuna dikkat edilmelidir.

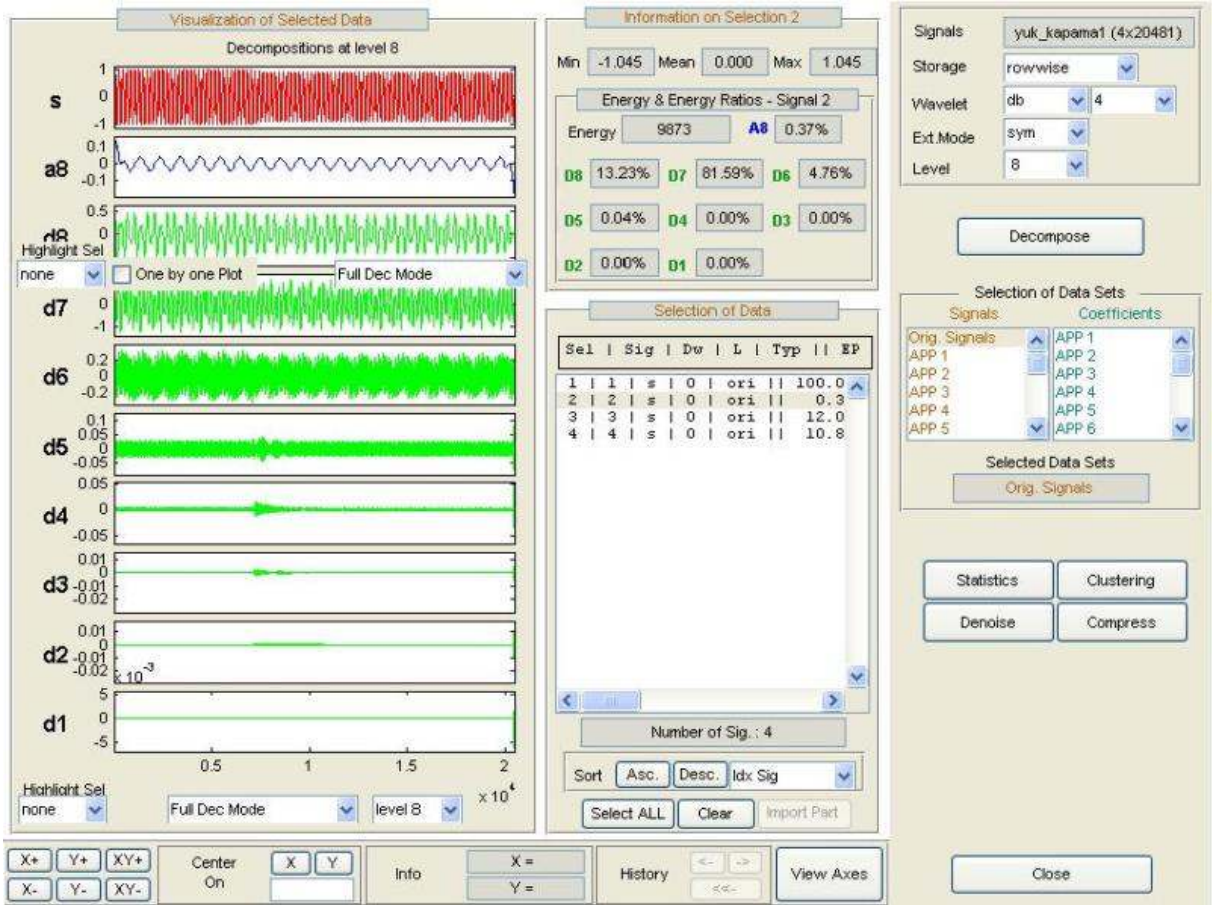


Şekil 5.7 Tek faz toprak kısa devresi dalga şeklinin Wavelet Toolbox ile dalgacık bileşenlerine ayrılması

Sekizinci seviyedeki ayrıştırma detayı bütün daha alt seviyeli ayrıştırmaların bilgisini içerdiği ve daha az sayıda veriye sahip olduğu için olasılıksal sinir ağlarının girişinde kullanılmasına karar verilmiştir. Bu bağlamda her arıza sınıfı 110’ar tane olmak üzere toplam 330 adet dalgacık ayrıştırma detayı vektörü, aşağıda olduğu gibi YSA’da işlenmek üzere oluşturulmuştur.

Çizelge 5.1 Benzetimi yapılan arıza verilerinin dalgacık analizi sonrası YSA için giriş yapısının oluşturulması

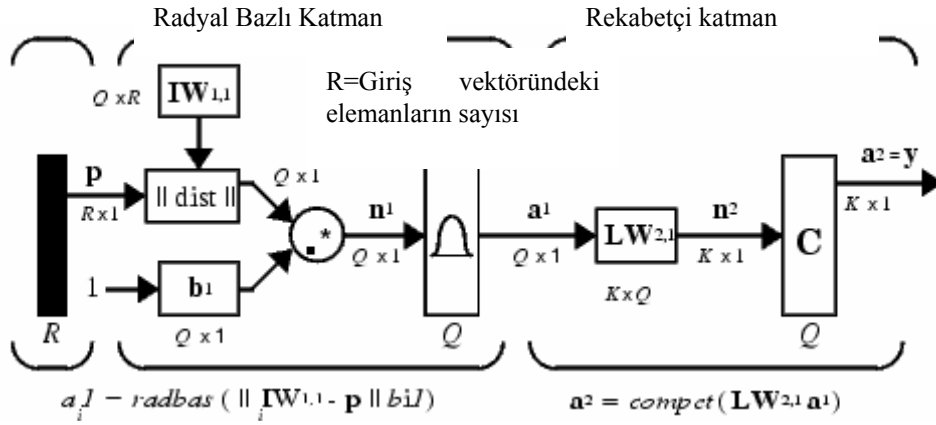
Sınıf1 Vektörleri (110 Sütun)	Sınıf 2 Vektörleri (110 sütun)	Sınıf 3 Vektörleri (110 sütun)
detay katsayıları 1	detay katsayıları 1	detay katsayıları 1
detay katsayıları 2	detay katsayıları 2	detay katsayıları 2
detay katsayıları 86	detay katsayıları 86	detay katsayıları 86



Şekil 5.8 Yük anahtarlama dalga şeklinin Wavelet Toolbox ile dalgacık bileşenlerine ayrılması

5.4 Dalgacık Analizi Verisinin Olasılıksal Sinir Ağları ile Sınıflandırılması

Olasılıksal sinir ağları, problemlerin sınıflandırılması için teknik literatürde en sık karşılaşılan yöntem olmuştur ve bu nedenle bu tezde sınıflandırma metodu olarak seçilmiştir. Bir giriş sınıflandırıcıya girildiğinde, ilk tabaka giriş vektörü ile eğitim amaçlı girilen vektörler arasındaki mesafeyi hesaplar, ve giriş veri noktaları ile eğitim vektör noktaları arasındaki yakınlığı gösteren bir vektör oluşturur. İkinci tabaka, “her giriş sınıfının katkılarını” toplayarak çıktığı bir olasılıklar vektörü olarak verir. Son adım olarak, “rekabet” adı verilen bir transfer fonksiyonu ikinci tabakadaki olasılıkların maksimumlarını toplar, ve bu topladıklarına bir değerini, diğerlerine de sıfır değerini atar. Şekil 5.9 sinir ağının iki farklı katmanını göstermektedir; bu aynı zamanda sinir ağının girdisinin nasıl işlendiğini ve rekabet katmanında çıktı sınıflarının nasıl oluşturulduğunu gösterir. Olasılıksal sinir ağı, daha önce de bahsedildiği gibi Radyal Bazlı Ağlar diye adlandırılan bir sinir ağı ailesine aittir.



Q: Giriş/Hedef çiftleri : 1. tabakadaki nöronlar K: Giriş verisindeki sınıflar: 2. tabakadaki nöronlar

Şekil 5.9 Olasılıksal sinir ağlarının çalışma mantığı

Bir yapay sinir ağı arıza tanıma için ideal bir yöntem olarak düşünülmektedir çünkü bu ağlar arıza durumu ve belirtileri arasındaki gizli ve karmaşık ilişkileri tanıyabilecek ve önceki izleme bilgilerinden gelecekte olabilecek arızaları tahmin edebilecek yetkinliğe sahiptir. Veriler iki alt kümeye ayrılmışlardır: eğitim kümesi ve test kümesi. Eğitim veri kümesi yapay sinir ağının yapısını ve çeşitli model yapılarının performansını tahmin etmek amacıyla öğretmek için kullanılır ve bu sayede test alt kümesi için en az sayıda çıktı hatası üretilmesine neden olacak iyi bir model yapısı oluşturulmasını sağlar. Test veri kümesi ise ağın performansını değerlendirmek için kullanılır ve doğru şekilde eğitilmiş şebekenin performans genelleştirmesini ölçmeye yarar.

5.4.1 Sınıflandırıcı Eğitim ve Test Prosedürü

Bir sinir ağı tabanlı sınıflandırıcının eğitilmesi bir çocuğa okuma yazmayı öğretmeye benzetilebilir. Öncelikle, eğitime özelliklerini içeren satırlar ve sınıflandırılacak veri dosyalarını içeren sütunlara sahip bir matris yapısı oluşturulur. Eğitim sürecinde, her veri dosyasına bilinen etiket verilerinden oluşan bir sınıflandırma numarası atanır. Bu, bir çocuğa bir kelimenin nasıl gözüktüğünün gösterilmesi ve onun daha sonra aynı kelimeyi gördüğünde hatırlamasını sağlamaya benzer. Diğer bir deyişle, sinir ağı bir veri sınıfının nasıl gözüktüğünü öğrenir ki daha sonra aynı sınıfta başka bir veri kümesi yüklendiğinde o sınıfa ait olduğunu tanıyabilsin.

5.4.1.1 Veri Dosyalarının Etiketleri ve Etiketlenmesi

Simulasyon veri dosyasının isimlendirilmesi, şebekedeki davranışların ve simulasyonda kullanılan parametrelerin belirtilmesine yarar. Örneğin: “gerilim_kap10” isimli dosya, arızanın 0.710 ms’de kondansatör anahtarlama ile olduğunu anlatır. Benzer şekilde, faz_toprak44 isimli dosya, 0.743 ms’de 0.044 Ohm arıza direncinin olduğu faz toprak arızasını temsil eder. Benzetim verilerinin isimlendirme ve etiketleme sistemi, simulasyon veri dosyalarının yapay sinir ağı tabanlı sınıflandırıcının kullanımında önemli olduğu düşünülmektedir. Çünkü bu sayede, test edilen verilerle etiket verileri karşılaştırılarak sınıflandırıcının doğruluk oranı tespit edilebilmektedir. Benzetim verilerinin isimlerine göre, karar çıktısı olarak üç adet sınıf oluşturulabilir.

- Sınıf 1: Kondansatör anahtarlama
- Sınıf 2: Tek faz-toprak arızası
- Sınıf 3: Yük anahtarlama

Toplam 330 simulasyon verisinin 210 tanesi eğitim kümesi için, geriye kalan 120 tanesi ise test etmek için kullanılmıştır. Sinir ağı doğru şekilde eğitildikten sonra, test veri kümesi yapay sinir ağına sokulur, ve YSA da veriyi üç çıkış sınıfından birine atar.

5.4.1.2 Yapay Sinir Ağına Eğitilmesi

Matlab’te oluşturulan bu yapı (structure array) daha sonra sinir ağlarında kullanım için çağırılmadan önce, pencere genişliklerinin optimizasyonunu kolaylaştırabilmek için, değerleri 0 ile 1 arasında tutacak şekilde normalizasyon yapılması gereklidir. Bu işlem, değerlerin nümerik olarak karşılaştırılabilir olmasını kolaylaştırmaktadır, böylece YSA’daki algoritmanın nümerik stabilitesi (kararlılığı) artmaktadır. Değerleri 0 ile 1 arasına getirmek için aşağıdaki denklem kullanılmaktadır. (Xujia, Zhang 2006)

$$\text{Normal Değer} = \frac{\text{GerçekDeğer} - \text{MinimumDeğer}}{\text{MaksimumDeğer} - \text{MinimumDeğer}} \quad (5.1)$$

Bu formül Matlab’te yapay sinir ağını eğitmek ve test etmek için kullanılan Matlab kodu Ek-1’de incelenebilir. Çizelge 5.2 bunun nasıl gerçekleştirildiğini göstermektedir. Özellik yapısının her satırı, tüm örneklenmiş dosyaların ilgili numaralı ayrıştırma katsayısını verir. Bu özellik yapılarında her sütun bir matrise yerleştirilir, ve bu sütunun etiketi Tc isimli diğer bir matrisle oluşturulur.

Çizelge 5.2 YSA'nın eğitilmesi

	Sınıf1 Vektörleri (70 Sütun)	Sınıf 2 Vektörleri (70 sütun)	Sınıf 3 Vektörleri (70 sütun)
	detay katsayıları 1	detay katsayıları 1	detay katsayıları 1
	detay katsayıları 2	detay katsayıları 2	detay katsayıları 2
			
	detay katsayıları 86	detay katsayıları 86	detay katsayıları 86
Tc	11111111	2222222222222.....2	333333333333333

Eğer Tc bire eşit olursa, veri dosyasının ait olduğu sınıf kondansatör anahtarlama geçici olayıdır. Tc ikiye eşit olduğunda, sınıf faz toprak geçici arızası ve üçe eşit olduğunda ise yük anahtarlama işaret edilmektedir.

Olasılıksal sinir ağının eğitilmesi Intel Centrino 1.7GHz işlemci ve 512MB RAM ile 5.14 s sürmüştür.

Eğitim Doğruluk Oranı belirlenirken, test için yine eğitim verilerinden faydalanılır. Bu oran doğru tespit edilen dosya sayısının toplam dosyalara oranı ile tanımlanır. Bu tezdeki veriler için sadece 2 adet veri yanlış öğretilmiştir ve doğruluk oranı $(328/330)=\%99.4$ 'e eşittir. Bu hatanın da olasılıksal YSA'nın özellik olarak farklı sınıflar için aynı pencere genişliği parametresi ile ilişkilendirilmesi nedeniyle gerçekleştiği düşünülmektedir.

5.4.1.3 YSA Sınıflandırıcısının Test Edilmesi ve Performans Değerlendirmesi

Test edilecek veri kümesi YSA bazlı sınıflandırıcıdan geçirilmiş ve Çizelge 5.2'de gösterilen sınıflandırma sonuçları elde edilmiştir.

Çizelge 5.3 Sınıflandırıcının performans değerlendirmesi

Eğitim için kullanılan veri dosyaları	210
Test için kullanılan veri dosyaları	120
Kondansatör anahtarlama ile etiketlenen veri dosyaları	40
Kondansatör anahtarlama ile sınıflandırılan test dosyaları	38
Tek faz toprak arızası ile etiketlenen veri dosyaları	40
Tek faz toprak arızası ile sınıflandırılan test dosyaları	40
Yük anahtarlama ile etiketlenen veri dosyaları	40
Yük anahtarlama ile sınıflandırılan test dosyaları	42
Doğru sınıflandırma yüzdesi	%96.70

$$\text{Doğruluk oranı} = (\text{Doğru Sınıflandırılan Test Verileri}) / (\text{Tüm Test Verileri})$$

Çizelge 5.2'den de görülebileceği gibi, olasılıksal sinir ağı yöntemi ile hatalar yüksek doğruluk oranında sınıflandırılmıştır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu proje ile gerçekleştirilen araştırmanın amacı, güç sistemlerindeki geçici olayların dalgacık analizi ile analiz edilmesi ve yapay sinir ağları ile sınıflandırılması konusunda dünyada yoğun biçimde yapılan araştırmaların Türkiye elektrik şebekelerine de uygulanması konusunda bir yöntem ortaya koymak ve sistemin teorik altyapısı ve benzetimini yapmak suretiyle Türkiye’de geçici olayların daha modern yöntemlerle tespitine imkan sağlamak idi. Böyle bir sistem, akıllı güç sistem koruma uygulamasının önemli bir kısmı olabilir, ve elektrik güç kalitesinin geliştirilmesine önemli ölçüde katkı sağlayabilir, çünkü geçici olayların gerçek nedenini tespit ederek ve olumsuz etkilerini azaltarak koruma sisteminin hassasiyeti ve doğruluğu artırılmış olur. Böyle bir sistemin geliştirilmesi için uyarlanan yaklaşım, geçici olay dalga şekillerinin simulasyonu ile oluşturulmuştur. Tüm sistem iki ana bileşenden oluşmaktadır, birincisi dalgacık analizi, ikincisi ise sınıflandırma ünitesi.

Simulasyonu yapılan geçici olayların özelliklerini çıkartabilmek için dalgacık analizi kullanılmıştır. Bu yöntem güç sistemi geçici olayları gibi, stasyonier olmayan karmaşık işaretleri karakterize etmek için mükemmel bir yetkinliğe sahiptir. Dalgacık tipi olarak Daubechies 4 ailesi, filtre bankosu yapısı içinde uygulanmış ve geçici olayların sınıflandırılması için kullanılmıştır. Sekizinci detay seviyesi, geçici olay dalga şeklinden ayrıştırılmış ve sınıflandırıcının eğitimi için kullanılmıştır. Simulasyonu yapılan 330 adet geçici olaydan 110 adedi kondansatör anahtarlama, 110 adedi yük anahtarlama ve 110 adedi tek-faz toprak arızası sınıflarına ait olmuş, her sınıftan 70’er adet veri eğitim için, 40 adet veri de olasılıksal sinir ağının test edilmesi için kullanılmıştır.

Olasılıksal sinir ağı, %99.4 doğrulukla eğitilmiş ve %96.7 doğrulukla test edilmiştir. Bu oranın oldukça başarılı ve hassas olduğu düşünülmektedir. Bu değer %100 olmamasının nedeni, olasılıksal sinir ağının farklı sınıflar için tek pencere genişlik parametresi ile ilişkilendirilmesi olduğu düşünülmektedir.

Uygulanan yöntemin etkinliği ve sonuçların başarısı dikkate alındığında, bu araştırma projesinin amacına ulaştığı sonucu çıkartılabilir. Aşağıdaki bölüm, bilime ve Türkiye elektrik güç sistemlerine tezin katkısını özetlemektedir.

Bu tez kendi alanında birçok önemli katkı sağlamıştır. Bunlar aşağıda sıralanmıştır.

Matlab/ Simulink simulasyon yazılımı kullanılarak, simule edilen geçici olaylardan oluşan zengin bir kütüphane oluşturulmuştur. Bu simule edilen geçici olaylar, gerçek güç sisteminin

benzeridirler; simule edilen geçici olayların kümesi, bu tip dalga şekillerini ve arızaları içeren daha ileri çalışmalarda güvenilir bir kaynak olarak hizmet verebilir.

Dalgacık analizinin teorisi ayrıntılı bir şekilde anlatılmış ve simule edilen dalgacıkların analizinde başarıyla uygulanmıştır. Bu sayede, Türkiye’de elektrik güç sistem analizinde Fourier analizinin eksik kaldığı geçici olay analizlerinde dalgacık analizinin kullanılmasının önü açılmıştır.

Olasılıksal sinir ağları sınıflandırıcısı tanıtılmış ve bunun güç sistem geçici olaylarının sınıflandırmasındaki uygulaması başarıyla gerçekleştirilmiştir.

Her ne kadar bu tezde gerçekleştirilen ve rapor edilen çıktılar başarılı sonuçlar verdiyse de, konunun ileride aşağıdaki araştırma konuları ile zenginleştirilmesi ve geliştirilmesi çok faydalı olacaktır.

Bu çalışmanın suni simulasyon verileri üzerinde yapılması, çok değişik kombinasyonları çok kısa sürede deneyebilme kabiliyetini mümkün kılmıştır. Aynı çalışmanın gerçek veriler üzerinde de yapılması, güvenilirliği pekiştirecektir. Orijinal veri toplanması için TEİAŞ ile kapsamlı ortak bir çalışma yürütülmesi ve yaklaşık 10kHz frekansında veri kaydedebilen analizörlerle çalışılması ve veri kaydedilmesi uygun olacaktır.

Dünyadaki çalışmalar bu konunun teorik kısmının yeterli olgunluğa geldiğini göstermektedir. Bu nedenle artık bu sistemin donanım tasarımının geliştirilmesine odaklanılmalıdır. Geçici olay dalga analizi ve sınıflandırması ile ilgili bir donanım, akıllı koruma sisteminin Türkiye şebekelerinde vazgeçilmez bir parçası olacaktır.

Geçici olay dalgalarının analizi ve sınıflandırılması ile ilgili hesaplama motorlarını içeren kullanıcı dostu bir arayüz geliştirilmesi, araştırmaların yürütülmesi için kolaylık sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Ayaz, E. (1997), Dalgacıklar ve Elektrik Mühendisliğindeki Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Burrus, C. S. ve R. A. Gopinath, H. Guo., (1998) Introduction To Wavelets And Wavelet Transforms, A Primer, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ (USA)
- Calderbank, A. R. ve I. Daubechies, W. Sweldens, B.-L. Yeo (1996), Wavelet Transforms That Map Integers To Integers, Proceedings of the IEEE Conference On Image Processing., IEEE Press.
- Chen, J., (2001), Classification of Transients in Power Systems, Master of Science Thesis, University of Manitoba, Winnipeg, Canada.
- Daubechies, I., (1992) Ten Lectures On Wavelets, Siam Press, Philadelphia.
- Douglas, H., (2005), The Application of Wavelets to Condition Monitoring of Energy Conversion Equipment, Ph.D. Dissertation, Clarkson University, USA
- Dugan R.C., McGranaghan F.M, Beaty H.W, (1996), “Electrical Power Systems Quality”, McGrawHill, USA.
- Erkmen, B., (2006), Bir Bölgenin Elektromagnetik Alan Şiddeti Haritasının Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Çıkarılması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul.
- Ferracci, P., (2001), Power Quality, Cahier Techniques, No:199, Scheider Electric Publications.
- Galli, W., ve Nielsen, M., (1999), “Wavelet Analysis for Power System Transients”, IEEE Computer Applications in Power, CAP Tutorial, 12:16-25.
- Glover, J. D. ve Sarma, M., (1987), Power System Analysis and Design., Boston PWS Publishers.
- Hanzelka Z. ve Bien A., AGH University of Science and Technology, Copper Development Association, July (2004), “Harmonics Interharmonics”, Leonardo Power Quality Initiative, IEEE Endorsed Provider.
- Hubbard, B., (1996) The World According To Wavelets, Wellesey Press, MA (USA).
- Integral Energy, Power Quality Centre, University of Wollongong, (2002), “Voltage Unbalance Technical Note No.6”
- Jensen, A. Ve Cour-Harbo, A., (2001), Ripples in Mathematics, The Discrete Wavelet Transform, Springer, Aalborg, Denmark.
- Kaiser, G., (1994) A Friendly Guide To Wavelets., Birkhäuser Press, Boston
- Kashyap, H. ve Shenoy, J., (2003), “Classification of Power System Faults Using
- Kennedy W.B., (2000), “Power Quality Primer”, New York, McGraw Hill.
- Körner, T. W., (1996), Fourier Analysis.Cambridge University Press, Cambridge, UK
- Liao, Y., (2000), Automated Analysis of Power Quality Data and Transmission Line Fault Location, Ph.D. Dissertation, Texas A&M University, USA.

Mallat, S. G., (1989), "A Theory For Multiresolution Signal Decomposition" The Wavelet Representation. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 11, No. 7 : 674-693.

Misiti M., Misiti Y, Oppenheim G., Poggi J, (2006) Matlab Wavelet Toolbox User Guide.

Mo, F. (2002), Wavelets and Artificial Neural Networks in Power System Transient Classification and Short Term Power Load Prediction, Master of Science Thesis, University of Manitoba, Winnipeg, Canada.

Ngaopitakkul, A., Kunakorn, A. ve S. Bunjongjit, (2004), "Discrete Wavelet Transform and Probabilistic Neural Networks Algorithm for Identification of Fault Locations on Transmission Systems", 2004 International Conference on Power System Technology – POWERCON, Singapore.

Özgün, Ö, (2001), New Models and Simulation Techniques for Power Quality Assessment, Doctoral Dissertation, Texas A&M University, Texas.

Peng., Y. ve Peng. X., (2005), "Fault Characteristic Classification with the Probabilistic Neural Networks", Harbin Institute of Technology", www.paper.edu.cn.

Safavian, L., (2005), Wavelet and Multifractal Analysis of Transients in Power Systems, Master of Science Thesis, University of Manitoba, Winnipeg, Canada.

Sağlam, H. (2005), Dağıtım Transformatörlerinin Bağlantı Gruplarına Göre Harmonik Simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Santoso, S., Powers, E. ve Grady, M. (1997), "Power Quality Disturbance Data Compression Using Wavelet Transform Methods," IEEE Trans. PowerDelivery, 12: 1250–1257.

Santoso, S., Powers, E. ve Grady, M. (2000), "Power Quality Disturbance Waveform Recognition Using Wavelet Based Neural Classifier-Part 1: Theoretical Foundation" IEEE Trans. Power Delivery, 15: 222–228

Santoso, S., Powers, E., Grady, M., Lamoree, J., Bhatt, S. (2000), "Characterization of Distribution Power Quality Events with Fourier and Wavelet Transforms" IEEE Trans. Power Delivery, 15: 247–253.

Schinbein L.A. ve DeSteese J.G., Pacific Northwest National Laboratory, January (2002), "Distributed Energy Resources, Power Quality and Reliability-Background".

Sheng, Y., (1996), Wavelet Transform, The Transforms and Applications Handbook. CRC Press, Boca Raton, Fl (USA).

Tayjasanant T. Student Member IEEE, Wang W., Chun Li Member IEEE ve Xu W., Senior Member IEEE, (2004), "Interharmonic-Flicker Curves".

Thiruvengadam Dr.S., Prof. Head. Dept. of Elect. Eng. Sri Venkateswara College of Eng., (2000), "Voltage Sag Analysis".

Vetterli, M. and C. Herley, (1992) Wavelets and Filter Banks Theory and Design. IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 40, 9 : 2207-2232.

Wavelet Transforms And Probabilistic Neural Networks", IEEE ISCAS Conference Proceeding, Bangalore, India.

Weiss, L. G. (1992), Wavelets and Wideband Correlation Processing, IEEE Signal Processing Magazine, January: 13-32.

West K., Fluke (UK) Ltd., Sarkuysan A.Ş., Copper Development Association, Nisan (2002), “Harmonikler Gerçek Kod-Tek Gerçek Ölçü”, Leonardo Power Quality Initiative.

Zhang, X, (2006), Neural Network-Based Classification of Single-Phase Distribution Transformer Fault Data, Senior Honors Thesis, Texas A&M University, Texas.

EK**Ek1 MATLAB’de kullanılan YSA kodları**

% normalizasyon.mat

```
load('C:\Program Files\MATLAB\work\pnn_giris_ornekleri\cl1_d8_rev')
load('C:\Program Files\MATLAB\work\pnn_giris_ornekleri\cl2_d8_rev')
load('C:\Program Files\MATLAB\work\pnn_giris_ornekleri\cl3_d8_rev')
X=[cl1_d8' cl2_d8' cl3_d8'];
a=min(X);
b=max(X);
for j=1:330
    for i=1:86
        P(i,j)=(X(i,j)-a(j))/((b(j))-a(j));
    end
end
cl1_d8_norm=P(:,1:110);
cl2_d8_norm=P(:,111:220);
cl3_d8_norm=P(:,221:330);
```

% YSA.mat

```
load('C:\Program Files\MATLAB\work\pnn_giris_ornekleri\cl1_d8_norm')
load('C:\Program Files\MATLAB\work\pnn_giris_ornekleri\cl2_d8_norm')
load('C:\Program Files\MATLAB\work\pnn_giris_ornekleri\cl3_d8_norm')
Tc=[ones(70,1); 2*ones(70,1); 3*ones(70,1)];
Tc=Tc'
T=ind2vec(Tc);
P_egt=[cl1_d8_norm(:,1:70) cl2_d8_norm(:,1:70) cl3_d8_norm(:,1:70)]
%egitim
net=newpnn(P_egt,T);
Y=sim(net,P_egt)
Yc=vec2ind(Y)
%test etme
```

```
P_test=[cl1_d8_norm(:,71:110) cl2_d8_norm(:,71:110) cl3_d8_norm(:,71:110)];  
Y=sim(net,P_test)  
Yc2=vec2ind(Y)
```

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 16.01.1979

Doğum yeri İstanbul

Lise 1990-1998 İstanbul Alman Lisesi

Lisans 1998-2003 İstanbul Teknik Üniversitesi Elk. Elektronik Fak.
Elektrik Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2003-2007 Yıldız Teknik Üniversitesi F.B.E. Elektrik Müh.
Anabilim Dalı Elektrik Tesisleri Programı

Çalıştığı kurum

2003-2007 Ormazabal Elektromekanik San. A.Ş.

2007-Devam Ediyor Areva T&D Enerji Endüstrisi A.Ş.