



T.C.  
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



## YÜKSEK LİSANS TEZİ

KAÇAK ELEKTRİK KULLANIMINI ÖNLEMELİK İÇİN  
MATEMATİKSEL YÖNTEMLERİN GELİŞTİRİLMESİ

Halil Hulusi HOŞGÖR

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı


DANIŞMAN  
Prof. Dr. Mukden UĞUR


Haziran, 2018

İSTANBUL


Bu çalışma, 6.06.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı , Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

**Tez Jürisi**

  
Prof. Dr. Mukden UĞUR (Danışman)  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

  
Prof. Dr. Emel ÖNAL  
İstanbul Teknik Üniversitesi  
Elektrik-Elektronik Fakültesi

  
Dr. Öğr. Üyesi Aysel ERSOY YILMAZ  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

  
Dr. Öğr. Üyesi Cengiz Polat UZUNOĞLU  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

  
Dr. Öğr. Üyesi İbrahim GÜNEŞ  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi’nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

## ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanması sürecinde destek ve yardımlarından dolayı sayın hocam Prof. Dr. Mukden UĞUR'a ve Dr. Öğr. Üyesi Cengiz Polat UZUNOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca iş ve öğrenim hayatım boyunca devamlı manevi desteklerini ve sevgilerini gösteren değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2018

Halil Hulusi HOŞGÖR



# İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ .....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ .....	vii
TABLO LİSTESİ.....	ix
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	x
ÖZET .....	xii
SUMMARY .....	xiii
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1. ÜLKEMİZDE ELEKTRİK ÜRETİMİ .....	1
<b>2. GENEL KISIMLAR .....</b>	<b>3</b>
2.1. ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİM VE DAĞITIM KAYIPLARI.....	3
2.1.1. Trafolardaki Kayıplar .....	3
2.1.2. İletim Hatlarındaki Kayıplar.....	4
2.1.3. Ülkemizde Kayıp ve Kaçak Oranları .....	5
2.2. ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMİ .....	8
<b>3. MALZEME VE YÖNTEM .....</b>	<b>12</b>
3.1. KAOTİK SİNYALLER .....	13
3.1.1. Zorlanmış Duffing Osilatörü .....	14
3.1.2. Harmonikler.....	16
3.2. BAĞIMSIZ BİLEŞEN YÖNTEMİ.....	18
3.2.1. Basıklık.....	19
3.2.2. Düzenlilik .....	20
3.2.3. Bağımsız Bileşen Yöntemi Algoritması.....	20
3.2.4. Bağımsız Bileşen Yöntemi Uygulama Alanları .....	24
3.3. DENEYSEL MOD AYRIŞIMI YÖNTEMİ .....	25
3.3.1. Deneysel Mod Ayrışımı Yöntemi Algoritması .....	25
3.3.2. Deneysel Mod Ayrışımı Yöntemi Uygulama Alanları.....	29
<b>4. BULGULAR .....</b>	<b>31</b>
4.1. BAĞIMSIZ BİLEŞEN YÖNTEMİ UYGULAMASI.....	31
4.1.1. Bozucu Sinyal ‘Kare Dalga’ ile ICA Uygulaması .....	31

4.1.2. Bozucu Sinyal ‘Duffing Osilatörü’ ile ICA Uygulaması .....	35
4.1.3. Bozucu Sinyal ‘Harmonik’ ile ICA Uygulaması.....	40
4.2. DENEYSEL MOD AYRIŞIMI YÖNTEMİ UYGULAMASI .....	42
4.2.1. Bozucu Sinyal ‘Duffing Osilatörü’ ile EMD Uygulaması .....	42
4.2.2. Bozucu Sinyal ‘Harmonik’ ile EMD Uygulaması.....	44
<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ .....</b>	<b>46</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>48</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>50</b>
EK 1. 2014 yılı OECD ülkeleri elektrik enerji üretim, ithalat, ihracat, kayıplar ve tüketimleri [18]. .....	50
EK 2. Türkiye elektrik üretim, tüketim ve kayıpların yıllara göre gelişimi [18]. .....	51
EK 3. FDO ile elde edilen kaotik sinyal örneğinin matlab kodu.....	52
EK 4. Bağımsız bileşen yöntemi ile kaynak sinyalin elde edilmesi matlab kodu- Bozucu sinyal kare dalga osilatörü. ....	53
EK 5. Bağımsız bileşen yöntemi ile kaynak sinyalin elde edilmesi matlab kodu- Bozucu sinyal duffing osilatörü.....	56
EK 6. Elektrik dağıtım sistemi tek hat şeması.....	59
EK 7. Deneysel mod ayrıştırma yöntemi matlab kodu.....	60
EK 8. Deneysel mod ayrıştırma yöntemi temel mod fonksiyonlarının grafik gösterimi. ....	65
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>66</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa No

Şekil 1.1: 2015 yılı üretimin kaynaklara dağılımı [1].	1
Şekil 2.1: 2015 yılı gerçekleşen ve hedeflenen kayıp kaçak oranları (%) [1].	6
Şekil 2.2: Türkiye elektrik enerjisi iletim ve dağıtım kaybı oranları 2005-2015 [1].	6
Şekil 2.3: OECD ülkelerinde iletim ve dağıtım kayıpları toplam yüzdesi 2014 [5].	7
Şekil 2.4: Orta gerilim giriş çıkış hücresi tek hat ve hücre görünüşü.	8
Şekil 2.5: Alçak gerilim ana dağıtım tek hat ve pano görünüşü.	9
Şekil 2.6: Alçak gerilim sayaç tek hat ve pano görünüşü.	10
Şekil 2.7: Tasarlanan sistemin elektrik sinyali.	11
Şekil 3.1: FDO ile elde edilen kaotik sinyal örneği [19].	15
Şekil 3.2: 50 Hz şebeke sinyali ve 3. harmonik sinyali.	16
Şekil 3.3: Bağımsız bileşenler yöntemi algoritması.	23
Şekil 3.4: Dört adet bileşenden oluşan $x(t)$ sinyali.	26
Şekil 3.5: Lokal uç değerleri.	26
Şekil 3.6: Alt ve üst zarf fonksiyonları.	26
Şekil 3.7: Alt ve üst zarf fonksiyonlarının ortalaması.	27
Şekil 3.8: Birinci temel mod fonksiyon sinyali.	27
Şekil 3.9: İlk iki döngü için artan ve temel mod fonksiyon sinyalleri.	28
Şekil 3.10: Elde edilen temel mod fonksiyonları.	29
Şekil 4.1: Orijinal kaynak giriş sinyali.	31
Şekil 4.2: Bozucu kare dalga sinyali.	32
Şekil 4.3: Orijinal giriş sinyalinin kare dalga ile bozulması.	33
Şekil 4.4: Bağımsız bileşen yöntemi ile elde edilen yeni sinyal.	34
Şekil 4.5: Orijinal kaynak giriş sinyali.	36

<b>Şekil 4.6:</b> Bozucu duffing osilatörü sinyali.....	37
<b>Şekil 4.7:</b> Orijinal giriş sinyalinin Duffing osilatörü ile bozulması.....	37
<b>Şekil 4.8:</b> Bağımsız bileşen yöntemi Kurtosis alg. ile elde edilen yeni sinyal.....	38
<b>Şekil 4.9:</b> Duffing osilatörü ile bozulmuş sinyalin Negentropy algoritması ile elde edilmesi.....	40
<b>Şekil 4.10:</b> 3. Harmonik eklenmiş sinyalin bağımsız bileşen yöntemi ile elde edilmesi.....	41
<b>Şekil 4.11:</b> 5. Harmonik eklenmiş sinyalin bağımsız bileşen yöntemi ile elde edilmesi.....	42
<b>Şekil 4.12:</b> Duffing osilatörü ile bozulmuş sinyalin emd ile elde edilmesi. ....	43
<b>Şekil 4.13:</b> 1'den 5'e kadar elde edilen temel mod fonksiyonları.....	43
<b>Şekil 4.14:</b> 6'dan 9'a kadar elde edilen temel mod fonksiyonları.....	44
<b>Şekil 4.15:</b> 3. Harmonik ile bozulmuş sinyalin emd ile elde edilmesi.....	45
<b>Şekil 4.16:</b> 1'den 4'e kadar elde edilen temel mod fonksiyonları.....	45



## TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
<b>Tablo 1.1:</b> 2015 yılı faturalanan tüketimin tüketici türüne göre dağılımı (MWh-%) [1]. .....	2
<b>Tablo 4.1:</b> Kurtosis algoritması ile yakınsama durumu - Bozucu sinyal kare dalga osilatörü. ....	34
<b>Tablo 4.2:</b> Negentropy algoritması ile yakınsama durumu-Bozucu sinyal kare dalga osilatörü. ....	35
<b>Tablo 4.3:</b> Kurtosis algoritması ile yakınsama durumu - Bozucu sinyal Duffing osilatörü. ....	38
<b>Tablo 4.4:</b> Negentropy algoritması ile yakınsama durumu - Bozucu sinyal duffing osilatörü. ....	39

## SİMGE VE KISALTIMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
<b>P</b>	: Güç
<b>I</b>	: Akım
<b>R</b>	: Direnç
$\delta$	: Kontrol değişkenleri
$\beta$	: Kontrol değişkenleri
$\omega$	: Radyal açı
$\varphi$	: Faz farkı
$\mu$	: Ortalama değer
$\sigma$	: Standart sapma
<b>X</b>	: Ortamdan elde edilen sinyal
<b>A</b>	: Karıştııcı (hata) sinyali
<b>S</b>	: Gerçek sinyal
<b>t</b>	: Zaman
$\tau$	: Gecikme süresi
<b>W</b>	: Karıştııcı (hata) sinyali, yeni elde edilen
<b>E</b>	: Beklenen değer
<b>z</b>	: Beyazlatılmış matris
<b>C</b>	: Kovaryans matrisi
<b>E</b>	: Öz vektörler matrisi
<b>D</b>	: Özdeğerler matrisi
<b>I</b>	: Birim değer matrisi
<b>J</b>	: Düzenlilik
<b>H</b>	: Düzensizlik
$\varepsilon$	: Hata
<b>f</b>	: Frekans
<b>L</b>	: Endüktans
<b>C</b>	: Kapasitans

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>AC</b>	: Alternatif akım, Alternating current
<b>AKEDAŞ</b>	: Adıyaman-Kahramanmaraş elektrik dağıtım anonim şirketi
<b>CDMA</b>	: Kod paylaşımli çoklu erişim, Code division multiple access
<b>DC</b>	: Doğru akım, Direct current
<b>EMD</b>	: Deneysel mod ayrışımı, Empirical mode decomposition
<b>EPDK</b>	: Enerji piyasası düzenleme kurumu
<b>FDO</b>	: Zorlanmış duffing osilatörü, Forced duffing oscillator
<b>ICA</b>	: Bağımsız bileşenler analizi, Independent component analysis
<b>IMF</b>	: Temel mod fonksiyonu, Intrinsic mode function
<b>MCC</b>	: Motor control center, motor kontrol merkezi
<b>MEG</b>	: Magnetoencephalography
<b>MSE</b>	: Ortalama hatanın karesi, Mean square error
<b>OECD</b>	: Ekonomik kalkınma ve işbirliği örgütü, Organisation for economic co-operation and development
<b>THD</b>	: Toplam harmonik bozulma, Total harmonic distortion
<b>UPS</b>	: Kesintisiz güç kaynağı, Uninterruptible power supply

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### KAÇAK ELEKTRİK KULLANIMINI ÖNLEMELİK İÇİN MATEMATİKSEL YÖNTEMLERİN GELİŞTİRİLMESİ

**Halil Hulusi HOŞGÖR**

**İstanbul Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman : Prof. Dr. Mukden UĞUR**

Bu tez çalışmasında ülkemizdeki kayıp-kaçak elektriğin durumu incelenerek, kaçak elektrik kullanımını önleme amaçlı matematiksel yöntemler önerilmiştir. Kayıp-kaçak oranları, nedenleri ve bölgelere göre dağılımları çıkarılmış, ülkemizdeki elektrik dağıtım sistemi özetlenmiştir. Kaçak elektriğin önlenmesi için aboneyi sayaçtan sonra elde edilen, filtre edilmiş enerjiye yönlendirmek amaçlanmıştır. Sayaçtan önce bulunan elektriğin aboneler tarafından kullanılabilirliği ortadan kaldırılmıştır. Kaotik sinyaller incelenerek sistemlerin modellenmesinde Duffing osilatörü ve harmonik sinyaller kullanılmıştır. Bağımsız bileşen ve deneysel mod ayrışım yöntemleri teorik olarak açıklanmıştır. Son bölümde bu iki yöntem için Matlab kodları verilerek, simülasyonları yapılmıştır. Tez çalışması sonucunda her iki yöntemin de olumlu sonuçlar verdiği ve kaçak elektrik kullanımının önüne geçmek amacıyla özgün yöntemler olarak kullanılabileceği gözlemlenmiştir.

Haziran 2018, 79 sayfa.

**Anahtar kelimeler:** Kayıp-kaçak elektrik, sinyal, matematiksel yöntem.

## **SUMMARY**

### **M.Sc. THESIS**

#### **DEVELOPMENT OF THE MATHEMATICAL METHODS FOR PREVENTING THE ILLEGAL USE OF ELECTRICITY**

**Halil Hulusi HOŞGÖR**

**İstanbul University**

**Institute of Graduate Studies in Science and Engineering**

**Department of Electrical and Electronic Engineering**

**Supervisor : Prof. Dr. Mukden UĞUR**

In this thesis, the mathematical methods are suggested for preventing the illegal use of electricity as considering electricity losses in Turkey. Electricity losses, reasons and their distribution according to the regions are figured out; also the electricity network system is summerized for our country. For preventing the illegal use of electricity it is aimed that consumers are directed to filtered electricity which supplied after the counter. The electricity before counter can not be used by consumers. Duffing oscillator and harmonic signals are used to model the systems having chaotical signals. The different methods, independent component analysis and empirical mode decomposition are explained in theory. Finally the simulations of both methods have been executed by using Matlab software package. According to the results, both methods are quite successful and hence can be used as original methods for preventing the illegal using.

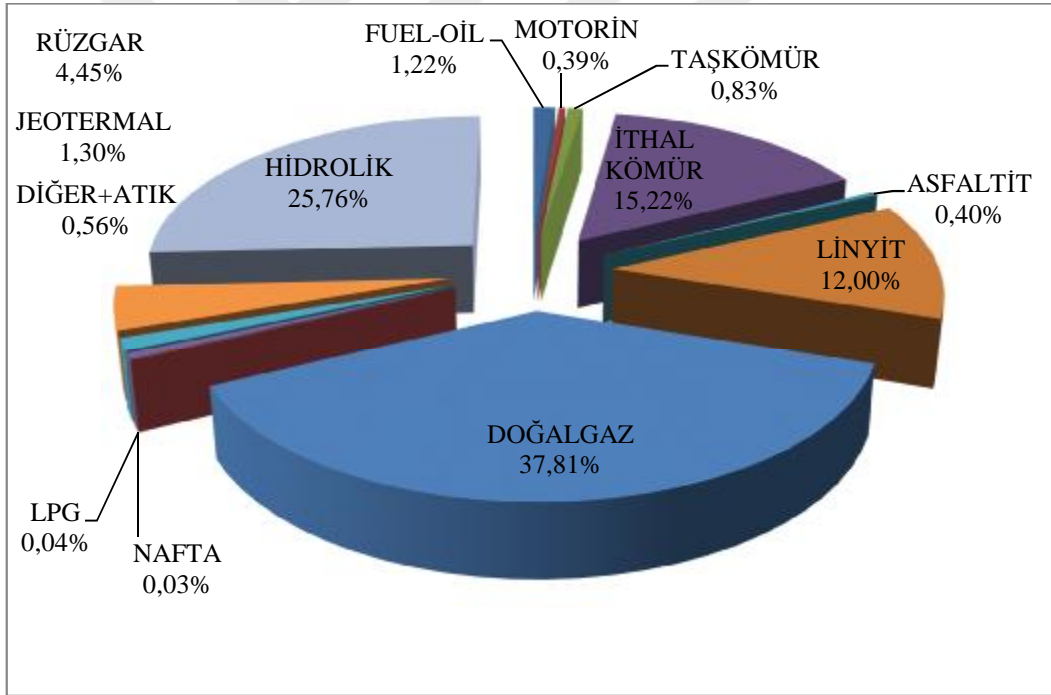
June 2018, 79. pages.

**Keywords:** Electricity losses, signal, mathematical methods.

## 1. GİRİŞ

### 1.1. ÜLKEMİZDE ELEKTRİK ÜRETİMİ

Ülkemizde 2015 yılında kurulu güç 2014 yılına oranla %5.22 artarak 73.147 MW olmuştur. Üretim miktarının %37.81'i doğal gazdan, %25.76'sı hidroelektrikten, %12.83'ü taş kömürü ve linyitten, %15.22'si ithal kömürden, %4.45'i rüzgardan, geri kalan kısım ise diğer kaynaklardan elde edilmiştir. En yüksek kayıp kaçak oranları %72.12 ile Dicle, %59.7 ile Van gölü ve %26.6 ile Aras bölgelerinde gerçekleşmiştir. En düşük kayıp kaçak oranları ise %4.98 ile Akedaş (Adıyaman ve Kahramanmaraş bölgesi elektrik dağıtım), %5.25 ile Kayseri ve civarı dağıtım bölgelerinde gerçekleşmiştir [1].



Şekil 1.1: 2015 yılı üretimin kaynaklara dağılımı [1].

Üretilen enerjinin kayıplar en az olacak şekilde tüketiciye ulaştırılması gerekmektedir. Teknik nedenlerden ötürü meydana gelen kayıplar gerekli düzenlemeler yapılarak iyileştirilebilir, ancak teknik olmayan kayıplar yani kaçaklar önlenememektedir. Sadece denetim ile tespit edilip yasal işlem yapılmasına karşılık aynı problem yine devam etmektedir. Kullanılan elektriğin kullanıcılara göre dağılımı aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Bu oranlar dikkate alındığında, 70% 'e varan kaçak oranlarına sahip bölgelerdeki maddi zarar çok büyüktür.

**Tablo 1.1:** 2015 yılı faturalanan tüketime tüketici türüne göre dağılımı (MWh-%) [1].

Tüketici Türü	Tüketim Miktarı (MWh)	Oran (%)
Aydınlatma	4.309.475.23	2.23
Mesken	47.897.232.05	24.76
Sanayi	79.044.855.12	40.87
Tarımsal Sulama	4.869.146.64	2.52
Ticarethane	57.306.435.55	29.63
Genel Toplam	193.427.144.60	100.00

Kaçak oranları bölgedeki gelir seviyesi, yaşam koşulları, eğitim ve denetim gibi birçok parametreye göre değişiklik göstermektedir. Kaçak elektriğin kullanımı tespit edildiğinde yasal işlem yapılmakta ve kullanıcının elektriği kesilmektedir. Ancak kullanıcı kendisi sayaç ve dağıtım hatları üzerinden yeniden elektrik alarak kaçak olarak kullanımı sürdürmektedir. Bu kullanımın önüne geçmek için tüketicinin sayaç öncesinden aldığı enerjinin kullanımını imkânsız hale getirmek olası bir çözümdür. Bu sayede tüketicinin sayaç öncesinden aldığı enerji ile meskenlerde kullandığı ekipmanlar ya çalışmayacak ya da kullanımı sonucunda zarar görecektir. Bu durum kaçak elektrik kullanımını cazip olmaktan çıkararak, kullanıcının sayaç sonrasında kullanımını zorunlu hale getirecektir. Önerilen çözümde, matematiksel yöntemler ile temel sinyalin üzerine farklı sinyaller eklenerek, abone olmayan kullanıcıların şebeke enerjisini kullanması teknik olarak mümkün olmayacaktır. Akıllı sayaç veya pano üzerinden elektrik filtre edildikten sonra kullanıcıya verilerek tüketicinin kullanımına imkân sağlanacak ve bu aşamada sayaç gerekli ölçümleri yapabilecektir.

## 2. GENEL KISIMLAR

### 2.1. ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİM VE DAĞITIM KAYIPLARI

Kayıplar teknik, teknik olmayan ve idari kayıplar olarak incelenebilir. Teknik kayıplar yüke bağlı ve yükten bağımsız olarak ayrılmaktadır. Teknik olmayan kayıplar tüketici kaynaklı olup bilinçsiz ve kaçak elektrik kullanımı nedeniyle oluşmaktadır. İdari kayıplar ise elektrik üretim, iletim ve dağıtım aşamalarında tesislerin ihtiyacına yönelik kullanılan enerjidir. Ülkemizde teknik ve idari kayıplar %3-7 oranında, teknik olmayan kayıplar ise %10-15 oranında çıkmaktadır. Teknik kayıplar bakımından ülkemiz yeterli seviyede olmasına karşın teknik olmayan kayıplar (kaçaklar) bakımından bölgesel ve ülke genelinde büyük problemlerimiz bulunmaktadır. Bölgesel olarak %45 oranında kaçaklar bulunan yerleşim yerlerimiz vardır.

#### 2.1.1. Trafolardaki Kayıplar

Trafolardaki kayıplar demir kayıpları ve bakır kayıpları olarak ikiye ayrılır. Demir kayıpları boşa çalışma deneyi ile bakır kayıpları ise kısa devre deneyi ile tespit edilir.

Demir kayıpları transformatör nüvesi ferromanyetik malzemeden yapıldığı için meydana gelir. Demir kayıpları alternatif akımda frekansa bağlı olarak meydana gelir. Transformatörün boşa veya yüklü olması demir kayıplarını etkilemez. Kayıpların alternatif manyetik alandan oluşması nedeniyle transformatörün primer tarafına gerilim uygulandığında sekonder tarafta yük olmasa bile demir kayıpları oluşur. Yani demir kayıpları transformatörün yükünden bağımsızdır [2].

Demir kayıpları histerisiz ve fuko kayıpları olarak iki şekilde meydana gelir. Histerisiz kayıpları transformatörün nüvesinde meydana gelen kayıplardır. Manyetik alanın periyodik olarak değişmesi nedeniyle, ferromanyetik malzemeden yapılmış nüve sürekli olarak ileri-geri mıknatıslanır. Nüve moleküllerinin frekansa bağlı olarak yön değiştirmesi sırasında birbirleri ile sürtünmeleri sonucu ısı ortaya çıkar. Alternatif gerilimin frekansı yükseldikçe histerisiz kayıpları da yükselir. Doğru akım sistemlerde frekans bileşeni olmadığından bu kayıptan söz edilemez. Fuko akımları, nüve içerisinde bulunan silisli saçların içlerinde oluşan ve dairesel olarak dolaşan akımlardır. Nüve içerisinden değişken manyetik akı geçmeye başladığında nüvede bir gerilim indüklenir. Nüve saçlarının öz dirençleri ile ters orantılı; indüklenen gerilimle, frekansın karesiyle ve akımın geçtiği kesitle doğru orantılı olarak nüve içerisinde akımlar akmaya başlar. Bu akımlara fuko (girdap) akımları denir. Fuko kayıpları bu akım



sebebiyle ısı şeklinde ortaya çıkar. Alternatif gerilimin frekansı yükseldikçe fuko kayıpları da yükselir. DC sistemlerde bu kayıp yoktur. Fuko kayıplarını azaltmak için silisli saclar arasına belirli aralıklar ile izolasyon kağıtları konulmaktadır [2].

Bakır kayıpları transformator sargılarında oluşmaktadır. Transformatorün sekonderine bir yük bağlandığı zaman, hem primer hem de sekonder sargılardan bir akım akar. Sargılardan akan akımlar, sargı dirençlerinden dolayı primer ve sekonder sargıda denklem (1.1) ve (1.2)'ye göre hesaplanan kayıplar meydana getirir. Bu kayıplar ısı şeklinde ortaya çıkar [2].

$$P_{Bakır(P)} = I_P^2 \cdot R_P \quad (1.1)$$

$$P_{Bakır(S)} = I_S^2 \cdot R_S \quad (1.2)$$

### 2.1.2. İletim Hatlarındaki Kayıplar

İletim kayıpları hat direnç kayıpları, korona kayıpları, izolator kaçak akım kayıpları olarak adlandırılır.

Hat direnç kayıpları kablo gibi taşıyıcı iletkenlerin direncinden kaynaklanan ve ısı şeklinde ortaya çıkan kayıplardır. Denklem (1.1) de gözüktüğü gibi akımın karesi ile orantılı yüke bağlı olarak oluşan kayıptır. Sistemin gerilim seviyesi artırılarak veya daha düşük direnci olan iletkenler kullanılarak bu kayıpları azaltmak mümkündür.

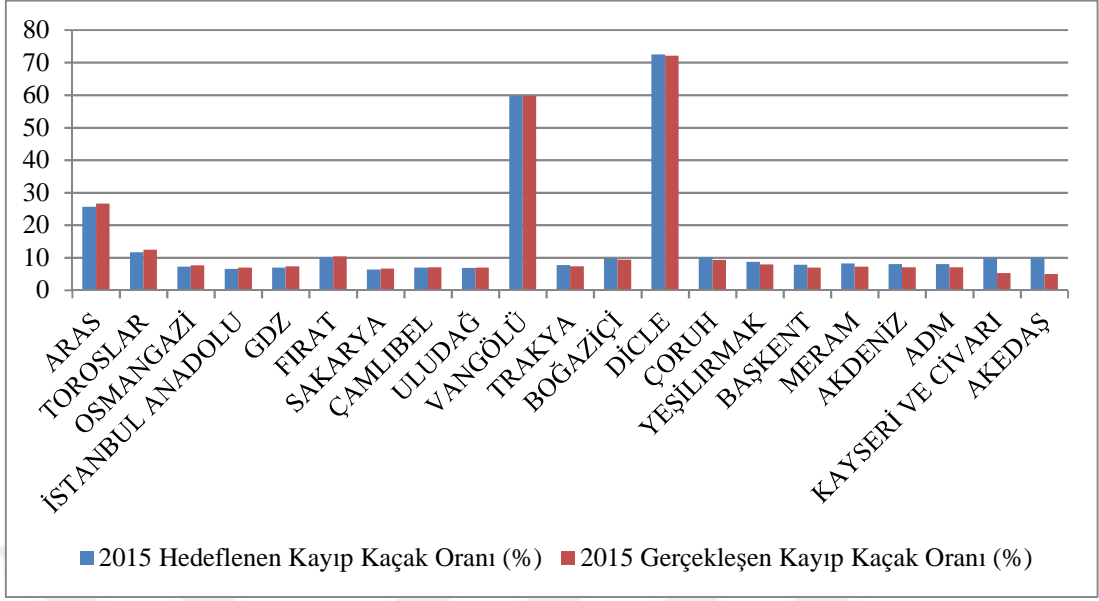
Bir hava hattının gerilimi yavaş yavaş artırılırsa, etrafını çevreleyen havanın delinme dayanımı aşıldığında iletken yüzeyinde havanın iyonize olduğu bir noktaya gelinir. Başlangıçta ışık görülmez, ancak gerilim biraz daha artırılırsa boşalma ışıklı hale gelir. Hattın bu ışıklı hale geldiği gerilime korona gerilimi, bu olaya da korona denir. Bu belirtiler güneşi kuşatan ve gün batışı sırasında gözlenebilen ışıklı halka olayındaki benzerlikten korona olarak adlandırılır. Korona boşalımının belirtileri görünür ışıltı, işitilir gürültü ve elektriksel etki olarak özetlenebilir. Belirli bir gerilim seviyesinde hat biçimi, iletken tipi, iletken yüzeyi koşulu ve hava durumu koronaya etki eden faktörlerdir. İletkenlerin simetrik yerleştirilmesi, iletken çaplarının büyük olması ve yükseklikleri korona kaybını düşürür, frekans yükselmesi ise korona kaybını arttırmaktadır [3].

İzolatörler genel olarak mekanik ve elektriksel olarak iki işlev görürler. Mekanik olarak hattın yükünü taşır, elektriksel olarak ise yüksek gerilim hattını topraktan izole ederler. İzolatörlerde meydana gelen ve hattın toprağa kısa devre olması ile sonuçlanan arızalar üç kısımda toplanabilir; yıldırımlar ve aşırı gerilimler sebebiyle izolatör boyunca meydana gelen atlamalar, izolatörün elektriksel alan tesiri altında delinmesi ve izolatör yüzeyi boyunca kirlenme ve rutubet tesiri ile meydana gelen deşarj ve atlamalar. Aşırı gerilim atlamalarının çoğunluğu yıldırımlar sebebiyle olmaktadır. İzolatörün delinmesi olayına seyrek rastlanır ve genellikle hatalı imalat nedeniyle olur. Kirlenme sebebiyle meydana gelen atlamalar ise enerji nakil sistemlerinde sık rastlanan arızalardandır. Kuru ve temiz şartlarda izolatörler normal gerilimlerde herhangi bir problem oluşturmazlar. Rutubet, sis veya çiseleyen yağmur altında izolatör zinciri yüzeyi boyunca akan kaçak akımlar enerji kaybına, deşarjlara ve kısa devrelere sebebiyet verirler. Kirlenme atlaması özellikle endüstriyel ve sahil bölgelerinde önemli bir işletme problemidir [4].

Bu arızadan kaynaklı olarak izolatörler ve iletken hatlar zarar görebilmekte, enerji kesintisi yüzünden ekonomik kayıplar oluşabilmektedir.

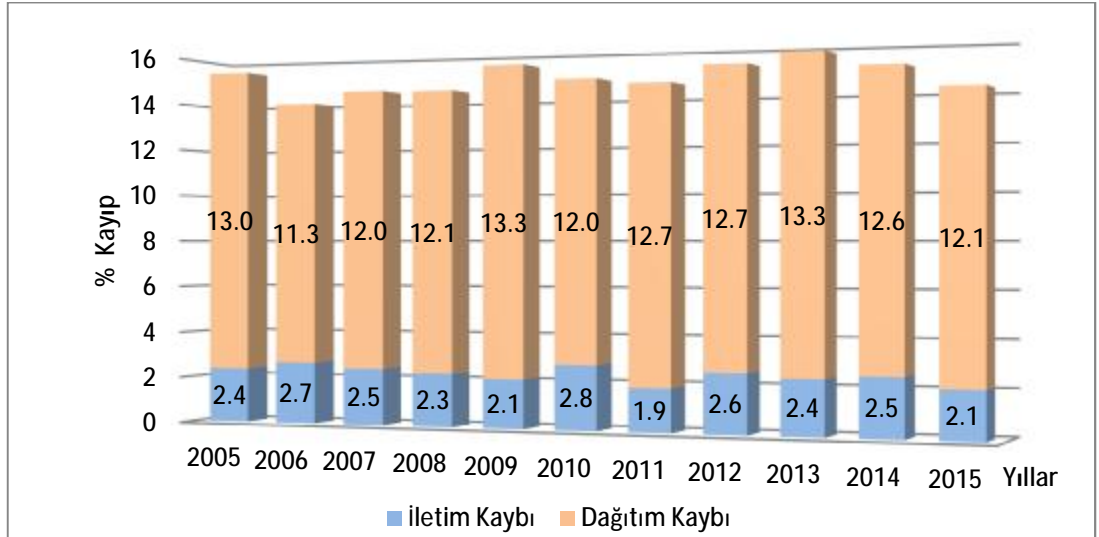
### **2.1.3. Ülkemizde Kayıp ve Kaçak Oranları**

EPDK verilerine göre ülkemizde en yüksek Dicle, Van gölü ve Aras bölgelerinde kayıplar gerçekleşmiştir. En düşük kayıp oranları ise Kayseri ve Akedaş (Adıyaman -Kahramanmaraş) bölgelerinde görülmektedir. Kayıp oranlarının dağılımı dikkate alınırca, oranların yüksek olduğu bölgelerde bir çözüm bulunması halinde ülkemizdeki ortalama kayıp oranlarının gelişmiş ülkeler seviyesine yaklaşacağı gözükmemektedir.



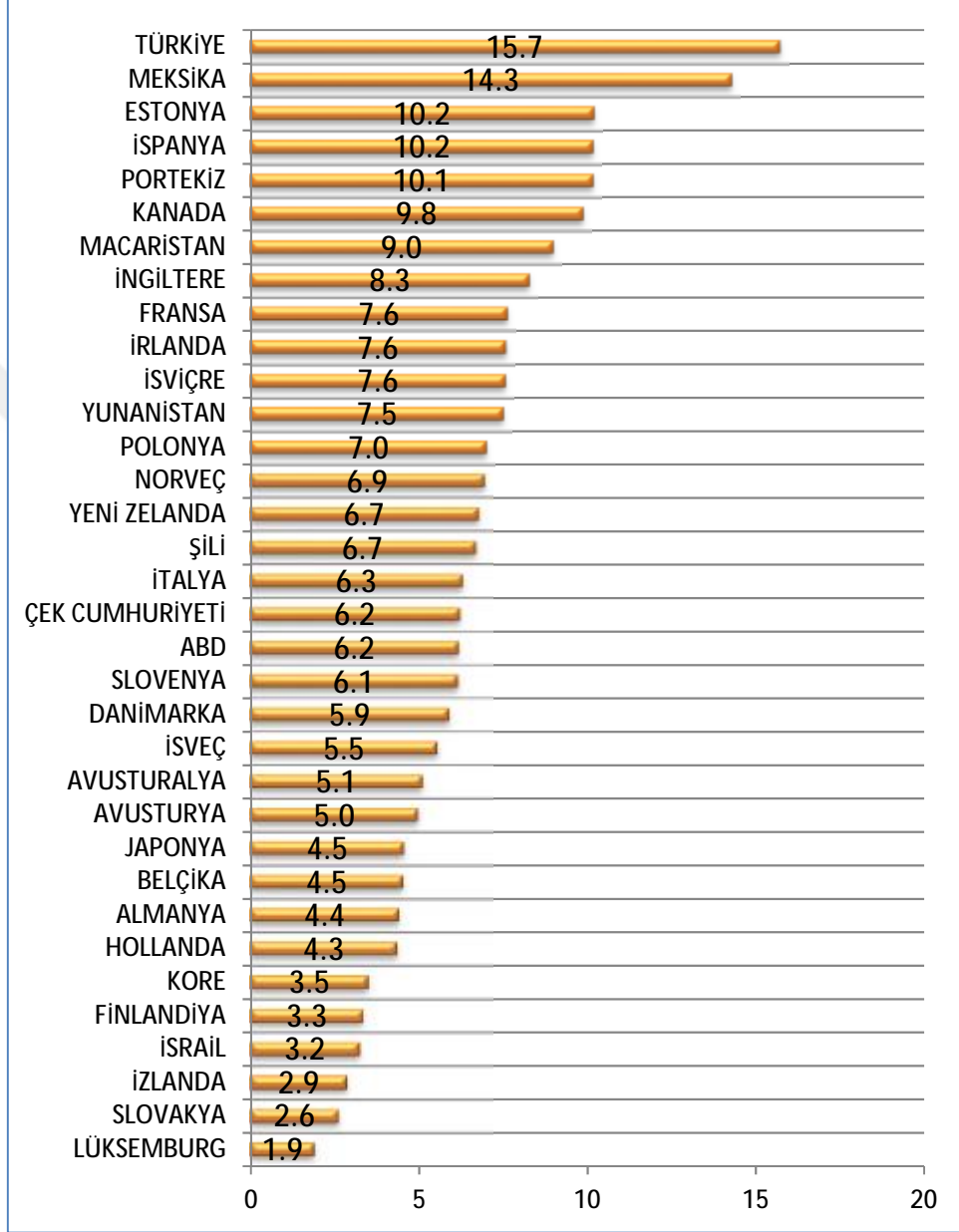
Şekil 2.1: 2015 yılı gerçekleşen ve hedeflenen kayıp kaçak oranları (%) [1].

Seneler boyunca kayıp-kaçak oranları incelendiğinde teknik nedenlerden kaynaklanan iletim kaybının %2-3 seviyesinde olduğu ancak kayıp oranının arzu edilenin çok üstünde %12-13 seviyelerinde olduğu görülmektedir. Bu veriler ışığında kayıp enerji probleminin çözümüne yönelik çalışmaların gerekliliği ve ülke ekonomisine katkısı çok önemli ve çözülmesi gereken bir konudur. Bu konuda yapılacak bilimsel, teorik ve uygulama projeleri çözüm yolunda katkılar sağlayacaktır.



Şekil 2.2: Türkiye elektrik enerjisi iletim ve dağıtım kayıp oranları 2005-2015 [1].

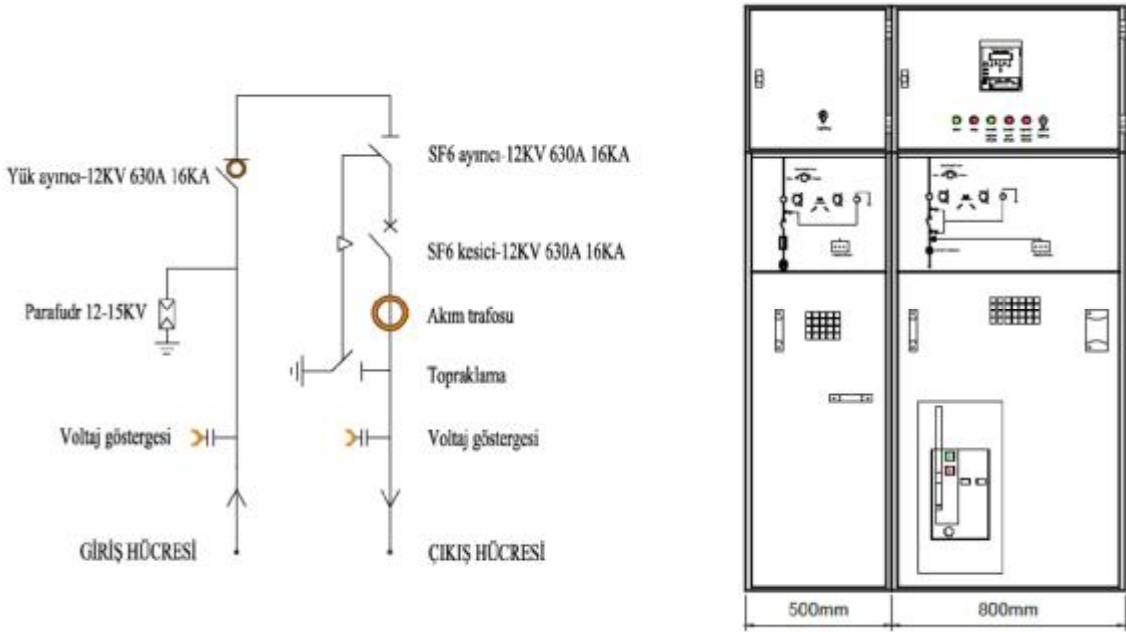
Ekonomik kalkına ve işbirliği örgütü OECD ülkeleri arasında Türkiye kayıp-kaçak oranı bakımından ilk sırada yer almaktadır. Bunun nedeni ülkemizdeki kaçak oranlarının yüksek olmasıdır.



Şekil 2.3: OECD ülkelerinde iletim ve dağıtım kayıpları toplam yüzdesi 2014 [5].

## 2.2. ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMİ

Havai hatlar ile taşınan yüksek gerilim indirici merkezlerde orta gerilim seviyesine düşürülür. Elektrik enerjisi orta gerilim seviyesinden transformatörler vasıtası ile alçak gerilime düşürülerek son kullanıcılara ulaşır. Orta gerilimden alçak gerilime geçiş beton köşklerde, direk üstü trafolarla veya tesislerin trafo binalarında gerçekleşmektedir. Orta gerilim seviyesinde hücrelerde koruma ve kontrol işlemleri yapılır. Gazlı kesici ve ayırıcılar ile gerekli manevralar gerçekleştirilir. Orta gerilim hücrelerinde sekonder koruma röleleri ile aşırı akım ve toprak hatası kontrol edilir. Açma zamanları, selektivite ve yeniden kapama gibi kontroller de sekonder koruma röleleri ile yapılır. Orta gerilim sisteminde ölçü hücreleri tasarlanarak akım, gerilim ve güç ölçümleri yapılabilmektedir.

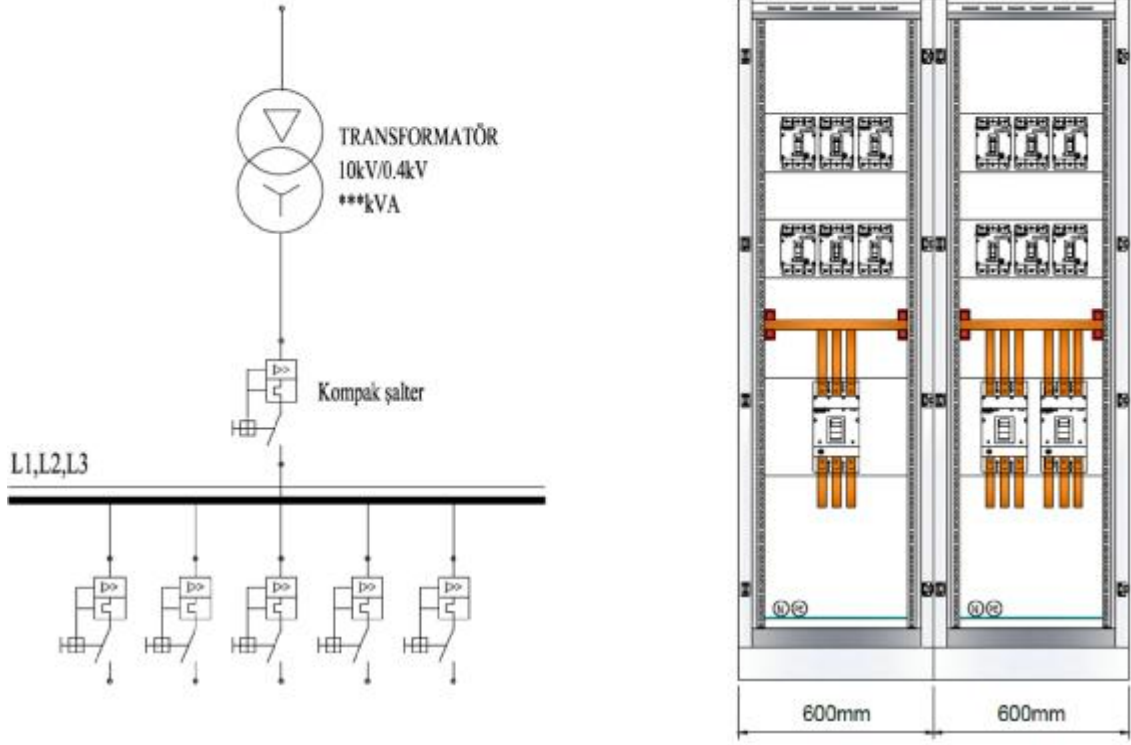


**Şekil 2.4:** Orta gerilim giriş çıkış hücresi tek hat ve hücre görünüşü.

Trafolarla 400V değerine düşürülen gerilim kullanıcılara ana dağıtım panoları ile dağıtılır. Ana dağıtım panoları hücreler ve trafolar ile beraber köşklerde olabileceği gibi, tesisin özelliklerine göre tesis içinde pano odalarında olabilmektedir. Trafolar, köşklerde ve direk üstlerinde yağ genişleme depolu, bina trafo odalarında ise kuru tip olarak tercih edilmektedir. Bu seviyede tesisin gücüne göre kompanzasyon da yapılarak reaktif güç ihtiyacı karşılanmaktadır.

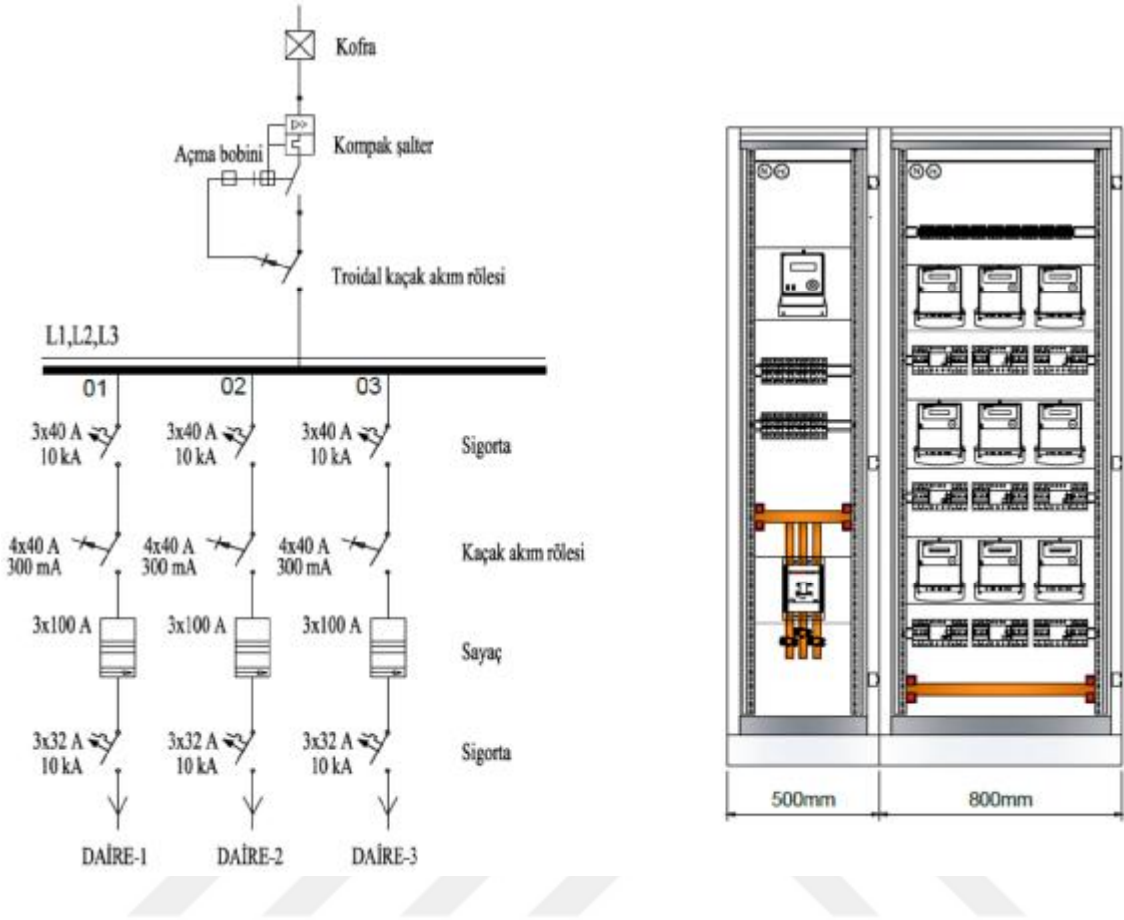
Ana dağıtım panosundan konutların kofralarına gelen enerji direk olarak sayaç dağıtım panolarına ve son olarak dairelerin sigorta kutularına kadar taşınmaktadır. Konutların yapılarına

göre jeneratör ve trafolar ayrı olarak tesis edilebilmektedir. Bu durumda sayaç panolarından önce konut içi ana dağıtım panosu tesis edilmektedir. Bu panoda şebeke ve jeneratör otomatik enerji transferi yapılarak asansör panoları, motor kontrol (mcc) panoları, sayaç panoları, kompanzasyon, yangın panoları ve kesintisiz güç kaynağı (ups) panoları beslenmektedir.



**Şekil 2.5:** Alçak gerilim ana dağıtım tek hat ve pano görünüşü.

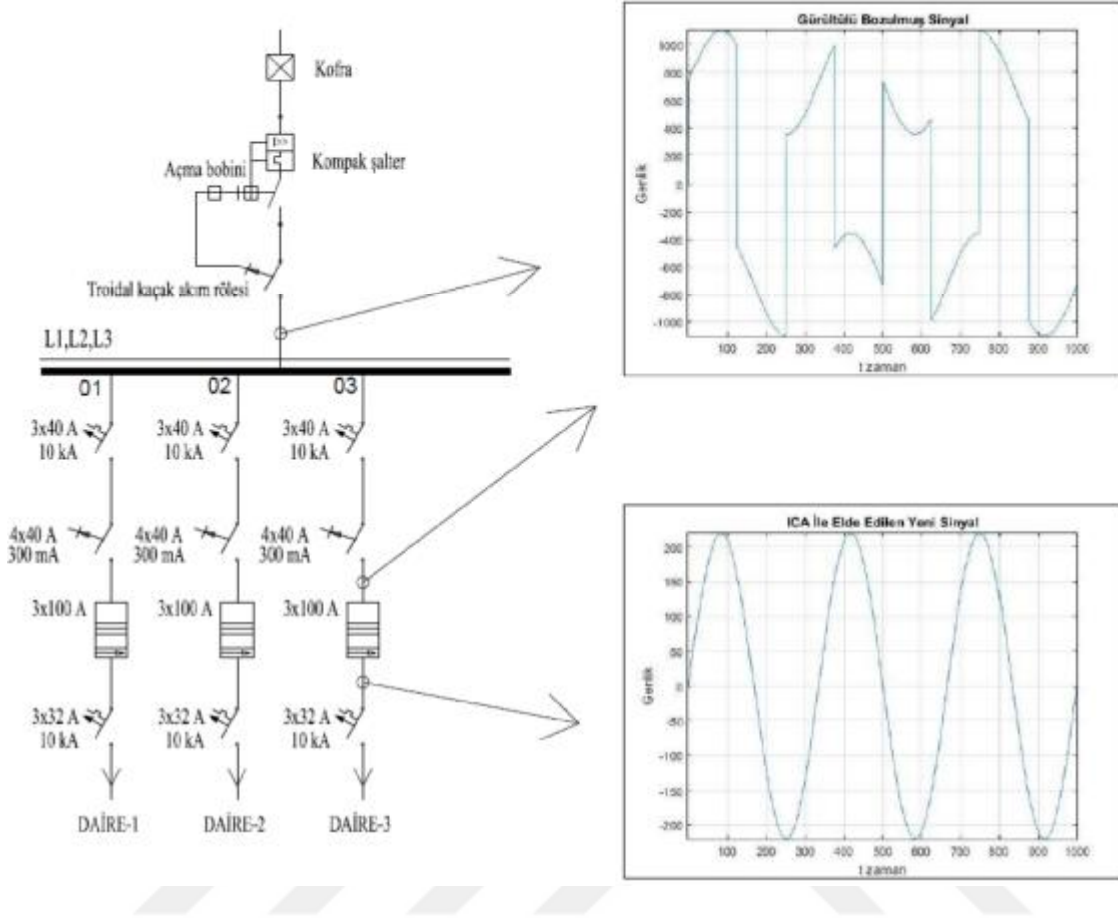
Şekil 2.6 da dokuz sayaçlı bir tesisin sayaç panosu, tek hat şeması ve pano görünüş çizimi bulunmaktadır. Elektrik, sayaçların üst bölümünde kalan klemens bağlantı noktalarından tüketicilere ulaştırılmaktadır. Bu klemenslerden tüketiciler beslendiği için sayaç normal işlevini yerine getirmekte ve tüketimi kayıt altına almaktadır. Sayacın önünde ve sonrasında bulunan sigortalar kısa devre ve aşırı akıma karşı koruma sağlarken, kaçak akım koruma röleleri insan ve yangın tehlikesine karşı koruma sağlamaktadır. 30mA canlı korumasına yönelik, 300mA ise sistem ve yangın tehlikesine karşı koruma için tercih edilmektedir.



**Şekil 2.6:** Alçak gerilim sayaç tek hat ve pano görünüşü.

Tüketicilerin sayaç sonrası klemenslerden elektrik almak yerine sayaç öncesinden elektriği yasal olmayan bir şekilde kullanması kaçak elektrik kullanımı olarak adlandırılmaktadır. Kaçak elektrik kullanımında teknik olarak sağlıklı bir bağlantı detayı oluşmadığı için yangın ve kısa devre tehlikesi meydana gelebilmekte, arıza ve kaza riskleri artmaktadır. Bilinçsiz olarak sayaç öncesinden alınan enerji, kullanılması gereken koruma cihazlarını da devre dışı bırakabildiğinden tehlikelere yol açmaktadır.

Bu çalışmada amaç tüketicilerin bu yöntemi kullanmasını teknik olarak engellemek ve sayaçtan sonra elektrik kullanımı zorunlu hale getirmektir. Şekil 2.7 de sayaç öncesinde ve sonrasında elde edilmek istenen elektrik sinyal şekilleri gösterilmiştir. Sayaç öncesinde bulunan elektrik kullanılamaz ölçüde olduğu için tüketici sayaçtan sonra elde edilen temiz enerjiyi kullanmak zorunda kalacaktır. Bu enerji sayaç ile birlikte ölçümü yapılarak elde edilmelidir. Tasarlanan sistemin ekipmanları ve yazılımı sayaç ile birleşik yapıda olmalıdır ve tüm parçalar sayacın içinde mühürlü bölmede kullanıcının erişemeyeceği bir yerde olmalıdır.



**Şekil 2.7:** Tasarlanan sistemin elektrik sinyali.

Mevcut yönetmeliklere istinaden kaçak elektrik kullanımını önlemek amacıyla şebekeye gürültü sinyali eklemek kanuna aykırı bir durumdur. Tez kapsamında ele alınan sistemin uygulanabilirliği için teknik altyapı ile beraber hukuki değişimler de yapılmalıdır. Elektrik şirketleri kullanıcılara kaliteli enerji sunmak zorundadırlar. Bu şartlar altında kaçak elektrik kullananlar tespit edilip yasal işlem yapılmaktadır. 14.03.2013 tarihli 4628 sayılı elektrik piyasası kanununda elektrik şirketlerinin sağlaması gereken yasal koşullar belirtilmiştir.

Bu kanunun amacı; elektriğin yeterli, kaliteli, sürekli, düşük maliyetli ve çevreye uyumlu bir şekilde tüketicilerin kullanımına sunulması için, rekabet ortamında özel hukuk hükümlerine göre faaliyet gösteren, mali açıdan güçlü, istikrarlı ve şeffaf bir elektrik enerjisi piyasasının oluşturulması ve bu piyasada bağımsız bir düzenleme ve denetimin yapılması sağlanmasıdır [6].



### 3. MALZEME VE YÖNTEM

Bir enerji sisteminde sinyalin frekans ve genliğinin doğru bir şekilde elde edilebilmesi bozucu dış sinyallere bağlıdır. Bu sinyaller gürültü (distortion) olarak adlandırılır. Gürültüler kaotik veya düzenli olabilir. Önceden davranışı tahmin edilebilir sinyaller doğrusal davranışlı olarak nitelendirilebilir. Kaotik sinyaller ise önceden davranışı tahmin edilemeyen belirli bir periyot ve genliğe sahip olmayan değişken sinyallerdir.

Bu bölümde bir sistemi bozan sinyaller ile bunları benzetim yöntemiyle elde etme yöntemleri incelenmiştir. Bu bozulmuş sinyallerin en doğru bir biçimde yeniden elde edilmesi ve alternatif yöntemleri detaylıca incelenmiştir.

Enerji sistemlerinde sinyalleri hızlı ve doğru bir şekilde tahmin etmek çok önemlidir. Bu amaçla Discrete Fourier Transform (DFT), Orthogonal filtreler, Kalman filtresi, Bağımsız Bileşen Yöntemi, vb. birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerde asıl amaç gürültülü sinyalden elde edilen sinyal ile gerçek sinyal arasındaki hata farkını en aza indirmektir. Bu amaçla ortalama hatanın karesi (mean square error) hesaplaması yapılır [7].

Bu yöntemlerde genel olarak çeşitli algoritmalar kullanılarak sonucu bulmaya yönelik yaklaşımlar yapılır. Fastica, Infomax, Jade, Radical ve Sobi gibi farklı yaklaşımlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Her bir yöntemde kullanılan denklemler veya referans alınan değer ve döngüler farklıdır.

Fastica en hızlı algoritma olarak değerlendirilmesine karşın başlangıç değerlerine göre sistem cevapları değişmektedir. Kullanılan bilgisayar kapasitesi açısından en fazla kullanım Fastica algoritmasında olmaktadır. Infomax algoritmasındaki paralellizm yaklaşımı matematiksel olarak kolay bir çözüm değildir. Sobi yaklaşımı iyi sonuçlar vermektedir. Jade yaklaşımının dezavantajı ise işlem süresi ve hızıdır, ancak bu algoritma diğerlerine oranla daha az hafıza birimi kullanmaktadır [8].

Sistemlerin başlangıç parametreleri, trafo nüvesindeki manyetik akı, ferromanyetik malzemelerin karakterleri, trafo sargı bağlantı şekli, enerji hattının kapasitesi, vb. doğrusal olmayan sistemlere örnektir. Bu sistemlerin modellenmesi karmaşık yapıdan dolayı zor olup, özellikle kaotik ferrozonans vb. durumlarda meydana gelen gürültüler aşırı gerilim ve akımlara neden olarak sistem güvenilirliğini azaltırlar. Tez çalışmasında kaotik sistemleri

benzetim yoluyla elde etmek için FDO (Zorlanmış Duffing Osilatörü, Force Duffing Oscillator) eşitlikleri kullanılmıştır [7].

### 3.1. KAOTİK SİNYALLER

Kaotik zaman dizileri, başlangıç şartlarına olan duyarlılığın yanında geniş bantlı, gürültü ve benzeri periyodik olmayan bir yapıya sahiptirler. Bu nedenle kaotik sistemler evrendeki birçok sorunun cevabını taşımaktadır [9].

Kaotik zaman dizileri bilimsel anlamda ilk defa Fransız filozof Henry Poincare tarafından 20. yüzyılın başlarında astronomi çalışmaları sırasında, karmaşık bir sistemin kararlılığı ile ilgili olan çalışmalarda kullanılmıştır [10].

Günümüzde kaotik hareket analizi; ekonomi, biyoloji, kimya, bilişim, tıp, mühendislik, çevre bilim ve meteoroloji alanlarında geniş olarak yapılmakta ve uygulama alanı bulmaktadır. Çevre bilimciler meteorolojik gözlemler, karbon emisyonu, iklim değişikliği gibi verilerle küresel ısınmanın nasıl olacağını; ekonomistler faiz oranları ile borsada meydana gelen dalgalanmalarda ekonomik verilerin nasıl değişeceğini; yer bilimciler sismik dalgalarla depremin zamanını; biyologlar ise çevre şartlarından nesli tükenmekte olan bir türün popülasyonunun nasıl değişeceğini tahmin ederek bu süreçleri kontrol altına almak istemektedirler [9].

Literatürde kaotik, zamanla değişimi öngörülemez sinyalleri üreten birçok matematiksel denklem bulunmaktadır. Bu denklemler kullanılarak doğadaki olaylar matematiksel olarak ifade edilebilir ve analizlerde kullanılabilir. Lorenz, Chua, Van der Pol, Duffing, Rössler, Henon denklemleri en önemli kaotik sinyal üreten sistemlerdir. Bu denklemlerin hepsinde kaotik sinyal üretebilmek için yakalanması gereken denklem sabitleri vardır.

Lorentz sistemi; Lorentz tarafından üç boyutlu model analizi olarak geliştirilmiştir. Geniş bir frekans bölgesinde rastgele periyodik olmayan sinyaller üretir. (a=10, b=28 ve c=2.66 değerlerinde kaotik sinyaller üretmektedir.)

$$\begin{aligned}
\frac{dx}{dt} &= -ax + ay \\
\frac{dy}{dt} &= bx - y - xz \\
\frac{dz}{dt} &= -cz + xy
\end{aligned}
\quad a, b, c > 0 \quad (3.1)$$

Van der Pol sistemi literatürde yer alan bir diğer kaotik sinyal üreticidir. ( $\mu=1$ ,  $\gamma=0.97$ ,  $m=0.5$  değerlerinde kaotik sinyal elde edilir.)

$$\begin{aligned}
\frac{dx}{dt} &= y + mx - mx^3 \\
\frac{dy}{dt} &= -x
\end{aligned}
\quad m > 0 \quad (3.2)$$

Rössler sistemi; kimyasal reaksiyonların dinamiği ile ortaya çıkmıştır. ( $a=0.2$ ,  $b=0.2$  ve  $c=5.7$  değerlerinde kaotik sinyal üretmektedir.)

$$\begin{aligned}
\frac{dx}{dt} &= -y - z \\
\frac{dy}{dt} &= x + ay \\
\frac{dz}{dt} &= b + zx - cz
\end{aligned}
\quad a, b, c > 0 \quad (3.3)$$

Henon sistemini, Fransız matematikçi Henon iki boyutlu sistemlerin analizi için ortaya koymuştur. ( $a=1.4$  ve  $b=0.3$  değerlerinde kaotik sinyal elde edilmektedir.)

$$\begin{aligned}
x_{t+1} &= 1 + y_t - ax_t^2 \\
y_{t+1} &= bx_t
\end{aligned}
\quad a, b > 0 \quad (3.4)$$

### 3.1.1. Zorlanmış Duffing Osilatörü

Zorlanmış Duffing osilatörü (Forced Duffing Oscillator) kaotik sinyal üreten ve benzetim yoluyla elde edebilen bir modeldir. Kaotik olması önceden tahmin edilememesi anlamına gelir. Doğadan elde edilen çoğu veri bu şekilde olmaktadır. Bilgisayar ortamında kaotik sinyallerin üretilmesi ve benzetim yoluyla elde edilmesi için bu yöntem kullanılabilir.

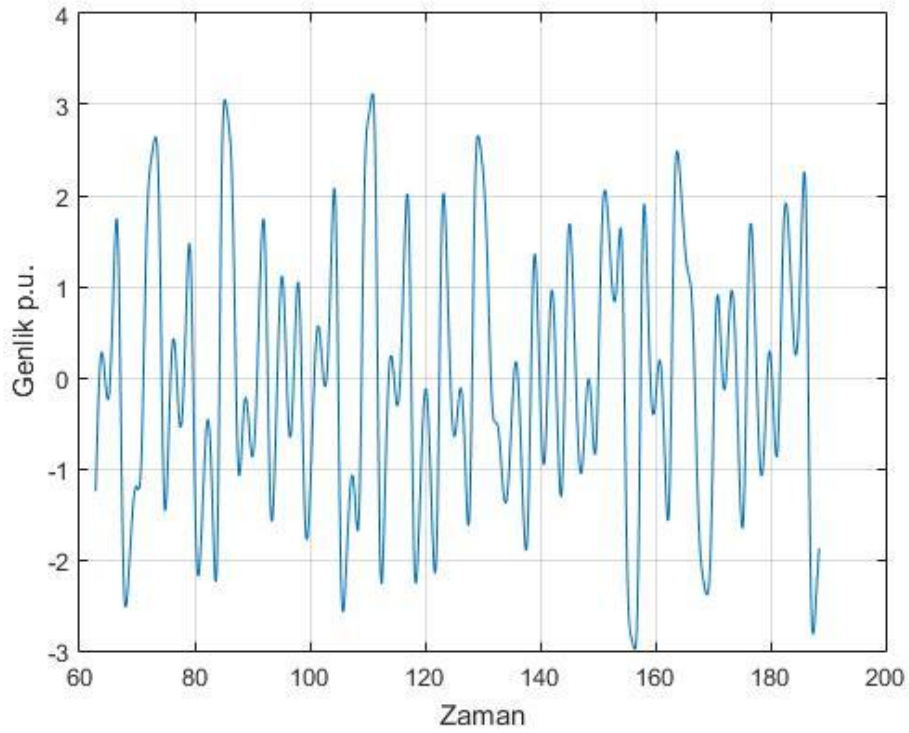
3.5 denklemini üzerinden gerekli sadeleştirmeler ve varsayımlar yapılarak 3.6 denklemini elde edilir.

$$\ddot{x} + d\dot{x} + (bx^3 \pm w_0^2x) = y \cos(\omega t + f) \quad (3.5)$$

$b$  ve  $w_0$  bire eşit,  $f$  sifira eşit,  $y = 1$  olarak kabul edilirse,

$$\ddot{x} = x - x^3 - d\dot{x} + y \cos(\omega t) \quad (3.6)$$

Bu yöntem ile elde edilen sinyaller doğrusal olmayan, önceden kestirilemeyen bir gürültü kaynağı olarak kullanılabilir.



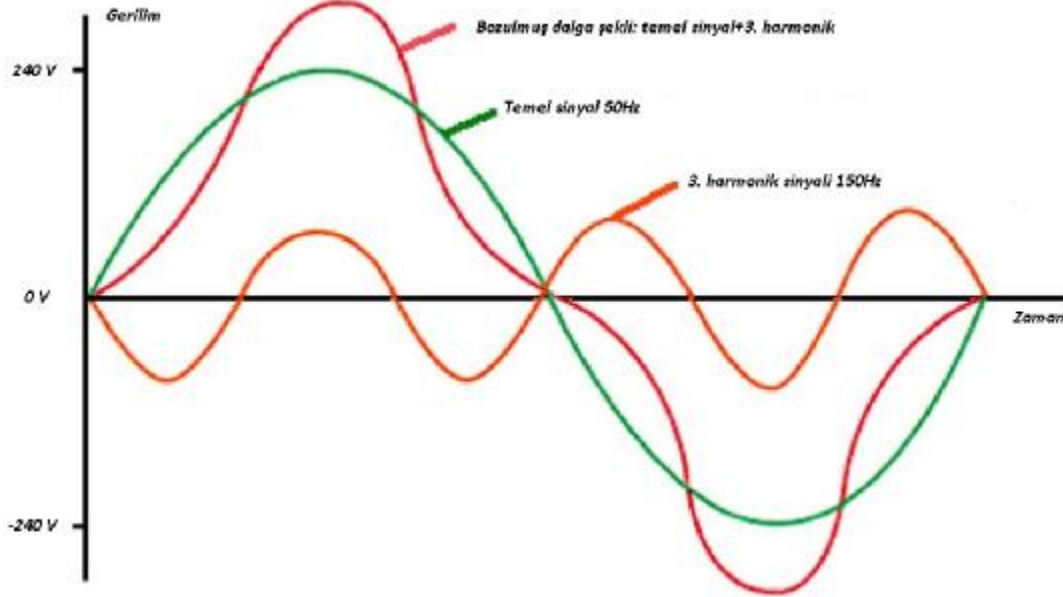
**Şekil 3.1:** FDO ile elde edilen kaotik sinyal örneği [19].

Şekil 3.1'de elde edilen kaotik ve periyodik olmayan sinyalin Matlab [19] kodları ek 3'de verilmiştir. Zaman eksenini matlab programında sinyalin oluşturulması için alınan örnek sayısıdır.

### 3.1.2. Harmonikler

Güç elektroniği devreleri içeren yani yarı iletken teknolojisine sahip elektrik cihazlarının kullanımı, şebeke dalga şeklinin bozulmasına ve harmoniklerin üretilmesine yol açmaktadır.

Elektrik sistemlerindeki yükleri, doğrusal ve doğrusal olmayan yükler olarak iki farklı grupta toplayabiliriz. Şebekedeki harmonik kirlilik, sistemdeki doğrusal olmayan yüklerden kaynaklanır. Doğrusal yükler, akım ve besleme gerilimi dalga şekli ile aynı formda olan yüklerdir, dolayısıyla dirençler, endüktanslar ve kondansatörler harmonik üretmezler. Doğrusal olmayan yükler, akım dalga şekli, besleme gerilimi dalga şeklinden farklı olan yüklerdir. Elektronik hız kontrol cihazları, ark fırınları, tristör kontrollü doğrultucular (redresörler), kaynak makinaları, statik konvertörler (ups), floresan lambalar, elektronik balastlar ve bilgisayarlar harmonik üretirler [11].



**Şekil 3.2:** 50 Hz şebeke sinyali ve 3. harmonik sinyali.

Elektriksel sinyallerde genellikle tek sıralı (3, 5, 7, 9, ... n gibi) harmonikler görülür. Harmonik sıralama (n) harmonik dalganın frekansını belirleyen çarpandır. Harmonik sıralama yükseldikçe harmonik dalganın frekansı artarken genlik değeri düşer. Toplam harmonik bozulma THD olarak adlandırılır ve 3.7 formülü ile hesaplanır.

$$THD\% = 100 \cdot \frac{\sqrt{H_2^2 + H_3^2 + \dots + H_n^2}}{H_1} \quad (3.7)$$

Sistemde harmonik oluşmasıyla birlikte efektif akım değeri de artar. Artan akım ile birlikte sistemdeki kablolarda, transformatör ve elektrik makinaları sargılarında ısınma gözlenir. Transformatörlerde efektif akım artışı ile bakır kayıpları meydana gelirken, frekans değerine bağlı olarak demir kayıpları da gözlenir. Demir kayıpları histeresis ve Fuko kayıplarının toplamından oluşur. Harmonik akım sonucu elektrik makinalarının veriminde azalma ve çıkış değerlerinde düşme meydana gelir. Sargılarda ısınma ile birlikte makinaların servis ömrü azalır. Üçüncü harmoniğin ölçüldüğü tesislerde nötr iletkeni üzerinden üçüncü harmonik akımının üç katı kadar akım akar. Sistemde gerilim düşümleri, izolasyon malzemelerinde delinmeler ve sayaçlarda hatalı ölçümler harmonik kaynaklı olarak meydana gelebilir. Harmoniklerden en çok etkilenen elemanlar kondansatörlerdir. Kondansatörün kapasitif direnci frekans arttıkça azalır. Harmonik bileşenlerden dolayı sistemde meydana gelen yüksek frekanslı efektif akımlar kondansatörlerin aşırı yüklenmesine neden olmaktadır. Kondansatör elemanlarını korumak amacıyla seri bağlı harmonik filtreler kullanılarak akım sınırlandırılır. Kondansatörler doğrusal yük olduklarından harmonik üretmezler, ancak şebekede varolan harmoniklerin genliklerini artırır.

$$Z = \frac{1}{C\omega} = \frac{1}{C' 2\pi f} \quad (3.8)$$

Harmonik kaynaklı diğer bir etki ise rezonans olayıdır. Şebekeden çekilen akımın endüktif ve kapasitif bileşenlerinin eşit olması sonucunda devrede sadece omik yük etkili olur. Bu duruma rezonans ve gerçekleştiği frekans değerine de rezonans frekansı denir. Rezonans frekansında devrede sadece omik direnç olduğundan aşırı akımlar meydana gelir. Paralel ve seri olarak iki türlü devre yapısında rezonans oluşabilir. Rezonans frekansı 3.9 formülü ile hesaplanır. 'L' sistemdeki toplam endüktans, 'C' ise toplam kapasite olmak üzere;

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \quad (3.9)$$

şeklinde gösterilir.

### 3.2. BAĞIMSIZ BİLEŞEN YÖNTEMİ

ICA olarak adlandırılan bu yöntem son zamanlarda geliştirilerek kaotik sistemlerin analizinde kullanılmaktadır. Tez kapsamında gerilim ve frekans değerlerini yüksek doğruluk ile elde etmek amacıyla bu yöntem detaylı olarak incelenmiştir. Analiz sonucunda bozucu etkiler ile formu değişen sinyallerin yeniden en az hata ile elde edilmesi amaçlanmaktadır.

Bu yöntemde ‘blind’ olarak adlandırılan elde edilen sinyaller kullanılarak, ‘source’ yani kaynağın aslına ulaşmak amaçlanır. (3.10) ve (3.11) ICA modelini göstermektedir.  $s_i$  orijinal sinyali,  $a_{ij}$  gürültüye bağlı olarak değişen karıştırıcı parametresini,  $X(t)$  ve  $X(t+t)$  elde edilen gürültülü sinyalleri göstermektedir. Bu yöntemde elde edilen kaynak sinyallerinin non-gaussian, karıştırıcı matrisin ise kare olduğu kabul edilir. Gauss dağılımı bu yöntem için gerekli, istatistiksel açıdan bağımsız verileri barındırmamakta, dolayısıyla Gauss dağılıma sahip kaynak sinyallerinde bu yöntem sonuç vermemektedir. Bağımsız bileşenlerin Gauss dağılımından farklı özellik göstermesi normal dışılık (non-gaussianity) olarak adlandırılır. Karıştırıcı matrisin kare olması kaynak sayısı ile bağımsız bileşen sayısının eşit olmasını sağlamaktadır. Bu varsayım işlem kolaylığı ve W ayrıştırma matrisine daha yakın değerlerde ulaşmayı sağlamaktadır. Bu yöntemin açıklanmasında Hyvarinen, A. ’nın çalışmasından faydalanılmıştır [17].

$$X(t) = a_{11}s_1 + a_{12}s_2 \quad (3.10)$$

$$X(t+t) = a_{21}s_1 + a_{22}s_2 \quad (3.11)$$

Bu model (3.12) deki gibi matris formunda yazabilir. Bu denklemde sadece elde edilen gürültülü sinyal X verisi bulunmakta, A ve S genel varsayımlar altında tahmin edilmektedir.

$$X = AS \quad (3.12)$$

S gerçek sinyali, A matrisinin tersi alınarak elde edilebilir. A matrisini elde edebilmek için sırayla merkezleme (centering) ve beyazlatma (whitening) işlemleri uygulanır. Bu işlemlerden sonra ayrıştırma matrisi olarak adlandırılan W kullanılır.

$$S = WX \quad W = A^{-1} \quad (3.13)$$

Bağımsız bileşenler yönteminin algoritması iki parçadan oluşur.

Nongaussianity olarak adlandırılan normal dışılık ölçüsünün belirlenmesinde; klasik ve hassas yöntem olarak kurtosis, hesap zorluğuna karşın sonuçların daha iyi olması bakımından diferansiyel entropi ve pratik çözüm olarak entropi yaklaşımları kullanılır.

Optimizasyon algoritmasının belirlenmesinde; granyen metodu olarak infomax ve sabit noktalı algoritma olarak fastica yaklaşımları kullanılır.

Denklem (3.13) de  $W$  değerini belirlememiz gerekmektedir. Bunun için  $R=W^T S$  doğrusal birleşimi tanımlanarak dikkate alınır.  $A$  karıştırıcı matrisi tam olarak bilinmediğinden  $W$  vektörü de tam olarak belirlenmemektedir. Bunun için iyi bir yaklaşım yapmak gerekir.

$V=A^T W$  değişken dönüşümü yapılarak,

$$\begin{aligned} R &= W^T S \\ S &= AX \text{ ® } R = W^T AX \\ R &= V^T X \\ W^T S &= V^T X \end{aligned} \tag{3.14}$$

$R=W^T S$  eşitliğinin normal dışılığını maksimum yaparak bağımsız bileşenlerden biri bulunur.  $R$  normal dışılığını bulabilmek için sistemin basıklığı (kurtosis) veya düzenliliği (negentropy) incelenir.

### 3.2.1. Basıklık

Basıklık (Kurtosis) normal dışılığı belirlemede kullanılır. Negatif basıklık sub-normal, pozitif basıklık süper normal olarak isimlendirilir. Basıklık normal dağılan (gauss) dağılımı için sıfırken normalden farklı dağılıma sahip değişkenler için sıfırdan farklıdır.

$$Kurt(R) = E(R^4) - 3 \frac{E(R^2)^2}{E(R^2)} \tag{3.15}$$

Denklem (3.15)'de  $R$  rastgele değişkeni birim varyanslı olduğundan normal dağılım için eşitliğin sağ tarafı sıfır çıkmaktadır. Normal dağılım için  $E(R^2) = 1$  beklenen değeri hesaplanır.



Standart normal dağılımda (3.16) denkleminde 3 değeri çıkarılır, dolayısıyla normal dağılım için hesaplanan kurtosis değeri sifıra eşit çıkacaktır. Aşağıdaki formüllerde  $m$  ortalama değeri,  $s$  standart sapmayı ifade etmektedir.

$$Kurt(R) = k = \frac{E(x - m)^4}{s^4} \quad (3.16)$$

$$Kurt(R) = k_1 = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{\left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right)^2} \quad (3.17)$$

### 3.2.2. Düzenlilik

Düzenlilik (Negentropy) bir sistemin düzenliliğini ölçer, entropy ise zıt anlamda sistemin düzensizliğini belirtir. Değişken tahmin edilemez, yani kaotik oldukça entropy değeri artar. Vektörel büyüklüklerin düzensizliği diferansiyel entropy olarak adlandırılır. Değişken normal dağılıyorsa negentropy değeri sifıra eşittir, diğer durumlarda sifırdan büyük değerler alır. Bu yöntemin en kötü yanı hesaplama zorluğudur.

$$H(Z) = - \sum_i P(Z = a_i) \log P(Z = a_i) \quad \text{Entropy} \quad (3.18)$$

$$H(Z) = - \int f(Z) \log f(Z) dZ \quad \text{Diferansiyel entropy} \quad (3.19)$$

$$J(Z) = H(Z_{gauss}) - H(Z) \quad \text{Negentropy} \quad (3.20)$$

$$H(Z_{gauss}) = \frac{1}{2} \log |\det \hat{\mathbf{a}}| + \frac{n}{2} [1 + \log 2\pi] \quad (3.21)$$

Denklem (3.21)'de  $H(Z_{gauss})$  Z'nin kovaryans matrisinin rastgele gauss vektörüdür. N ifadesi ise Z'nin derecesini belirtir.

### 3.2.3. Bağımsız Bileşen Yöntemi Algoritması

Elde edilen veriler 'X' gözlem matrisi olarak gösterilir. Bu veriler kaynak verileri 'S' ve dış ortamdaki gelen bozucu etkilerin 'A' toplamıdır.

$$X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_M \end{pmatrix} \quad (M \times N) \quad (3.22)$$

Merkezleştirme (centering); verilerin (X) sıfır ortalamalı olarak elde edilmesidir. Bunun için bütün verilerden ortalama değer çıkarılarak gözlem matrisi sıfır ortalamalı olarak düzenlenir.

$$x_m = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M x_j \quad \text{Ortalama değerlerin bulunması} \quad (3.23)$$

$$x_m = E\{x\}$$

$$x_m = x - x_m \quad \text{Sıfır ortalamalı değerlerin elde edilmesi} \quad (3.24)$$

$$X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_M \end{pmatrix} \quad (M \times N) \quad (3.25)$$

Beyazlaştırma (whitening) için, Kovaryans matrisi bulunur. Kovaryans matrisi ile ilişiksiz (uncorrelated) ve birim varyanslı form elde edilmiş olur. Kovaryans matrisi birim matrise eşit çıkacaktır.  $Cv=I$  eşitliğinden yararlanarak öz değer ayrıştırma yöntemi uygulanır.  $I$  öz değerleri,  $v$  ise öz vektörleri göstermektedir. Eigen-value decomposition (EVD) olarak adlandırılan bu yöntemde,  $E$  öz vektörlerin oluşturduğu ortogonal matris,  $D$  öz değerlerin olduğu diagonal değerlerdir. Özdeğerler  $D = \text{diag}(I_1, I_2, \dots, I_N)$  şeklinde öz değerlerin köşegen elemanlarından elde edilir.

$$C = X X^T \quad \text{Kovaryans matrisi} \quad (3.26)$$

$$E(C) = I \quad E(X X^T) = E D E^T \quad \text{Kovaryans matrisinin EVD hesabı} \quad (3.27)$$

$$z = E D^{-1/2} E^T X \quad \text{Beyazlatma işlemi} \quad (3.28)$$

Beyazlatma işleminden sonra yeni bir karıştırıcı matris elde edilir. Bu matrisin en önemli özelliği ortogonal olmasıdır. Ayrıca bu matris ile tahmin edilmesi gereken parametre sayısı

indirgenmiş olmaktadır. Bunun anlamı orijinal A matrisinin  $n^2$  parametresini belirlemek yerine yeni elde edilen  $\tilde{A}$  matrisini elde etmek, çözüm için yeterli olacaktır.

$$z = ED^{-1/2}E^TAs = \tilde{A}s \quad (3.29)$$

$$E(\tilde{A}\tilde{A}^T) = \tilde{A}E(ss^T)\tilde{A}^T = \tilde{A}\tilde{A}^T = I \quad (3.30)$$

Başlangıç rastgele vektörünü belirlemek için normal dışılığı maksimum yapmayacak bir w belirlenir. W matrisini tahmin etmek için farklı yöntemler kullanılabilir. Fastica yöntemi üzerinden işlemlere devam ederek w matrisinin normal dışılığını maksimum yapan noktası belirlenir. Normal dışılık negentropy yaklaşımı  $J(w^T x)$  ile ölçülür.  $w^T x$  varyansı bire eşit olduğu durumda W'nin normu da bire eşit olacaktır.

$$\|w\| = 1 \quad (3.31)$$

W yakınsayınca kadar (3.32) 'g' doğrusal olmayan vektörlerden biri kullanılarak sırası ile (3.33), (3.34) ve (3.35) işlemlerine ve iterasyona devam edilir.  $a_1$  uygun bir sabittir ve genellikle 1 olarak seçilir.

$$\begin{aligned} g(y) &= \tanh(a_1 y) \\ g(y) &= y * \exp(-y^2 / 2) \\ 1 \leq a_1 \leq 2 \end{aligned} \quad (3.32)$$

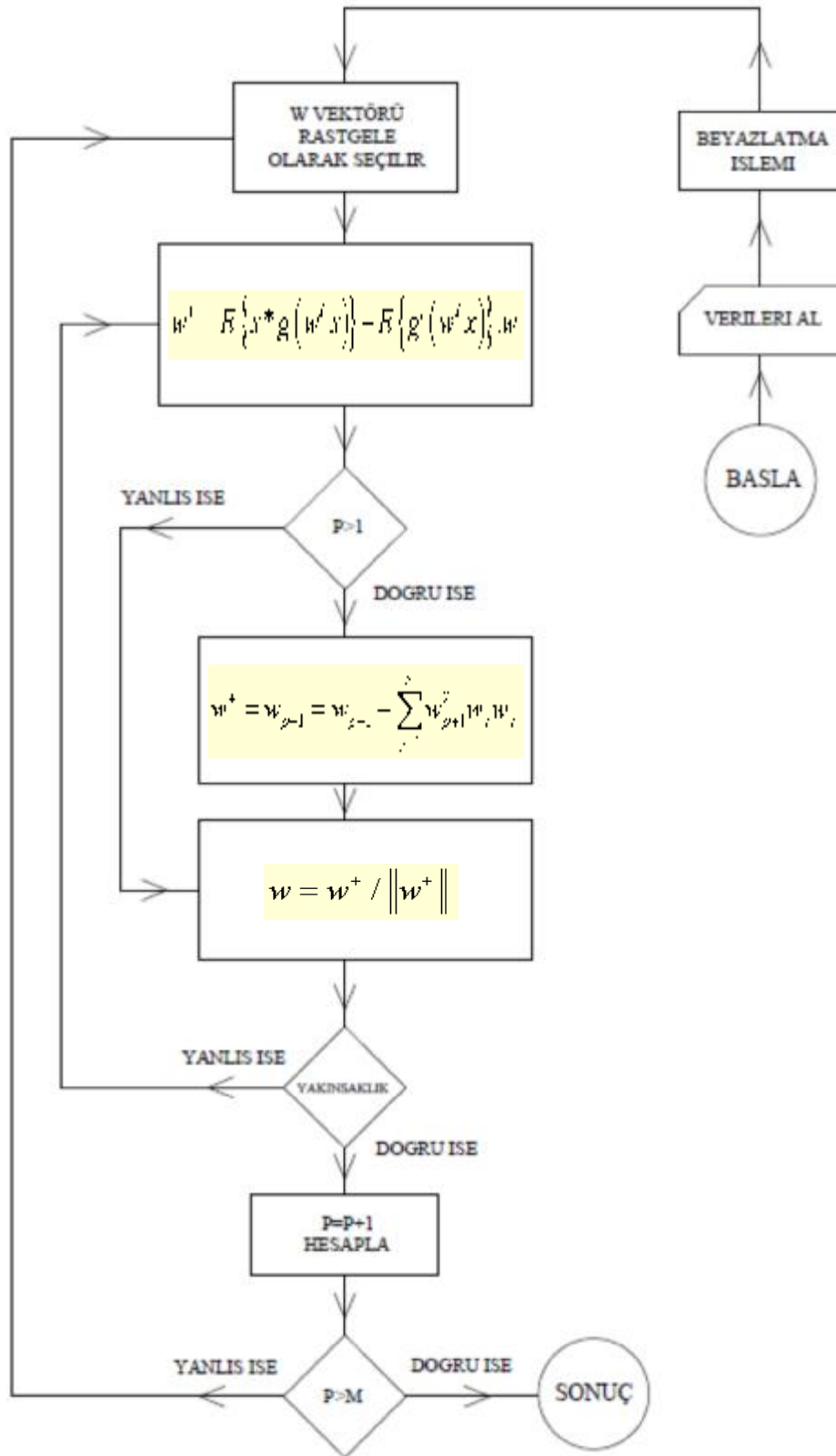
$$w^+ = E\{x * g(w^T x)\} - E\{g'(w^T x)\}.w \quad (3.33)$$

Bulunması istenen m adet bağımsız bileşen için  $p \leq m$  şartı sağlandığı sürece devam edilir.

$$w^+ = w_{p+1} = w_{p+1} - \sum_{j=1}^p w_{p+1}^T w_j w_j \quad (3.34)$$

$$w = w^+ / \|w^+\| \quad (3.35)$$

$$s = [w_1 w_2 w_3 \dots w_n] x \quad \text{Bağımsız bileşen s elde edilir.} \quad (3.36)$$



Şekil 3.3: Bağımsız bileşenler yöntemi algoritması.

### 3.2.4. Bağımsız Bileşen Yöntemi Uygulama Alanları

Bu yöntemin en klasik uygulaması, ‘cocktail-party’ problemi olarak bilinen, kalabalık bir ortamdaki birçok ses kaynağı (insan) arasından bir tanesini elde etmedir. Karışık olarak elde edilen sinyaller içinden bağımsız bileşen yöntemi kullanılarak istenen ses kaynağı en yakın hata ile ayırt edilebilmektedir. Zamana bağlı olarak elde edilen farklı noktadaki kayıt verileri işlenir.

Tıp alanında Magnetoencephalography (MEG) beyin aktivitelerini yüksek çözünürlükte ölçmek için kullanılan bir tekniktir. Elde edilen sinyaller ile normal dışı elde edilen sinyaller karşılaştırılarak hastalıkların teşhisi yapılabilmektedir. Bu ölçümlerde bozucu etkilerin genlikleri ölçülmek istenen beyin sinyallerinin genliklerinden büyük olabilmekte ve ölçümü hatalı kılabilir. 1998 yılında beyin dalgaları ile diğer dalgaları birbirinden ayırt etmek için bağımsız bileşen yöntemi yeni bir metot olarak kullanılmıştır. Bir kask yardımı ile 61 noktadan kayda alınan sinyaller deneğin hareketlerine göre işlenmiş, deneğin göz kırpması, çığnemesi gibi bilinçli hareketler yapması istenerek beyin dalgaları bu hareketlerin karşılıkları olarak modellenenmiştir.

ICA yöntemi finans sektöründe gizli faktörleri bulma ve analizinde kullanılmaktadır. Günlük stok durumu, kur oranları ve zaman ile değişimleri bu yöntem ile izlenebilmektedir. 140 hafta boyunca 40 merkez kayıt altına alınarak yapılan araştırmada tatillerin, yılbaşların, çevresel etmenlerin popüler konuların, insan kişisel durumlarının gizli faktörlerin analizinde önemli rol oynadığı gözükmektedir [12].

Fotoğraflardaki hataların azaltılmasında bu yöntem kullanılır. Önceki örneklerden farklı olarak zamana göre kıyaslama yerine görüntülerin yerlerine göre bağımsız bileşen yöntemi uygulanır. Bir fotoğraf kümesi ele alınarak tüm pikseller gözden geçirilerek hatalar ayıklanır.

Haberleşme alanında da yaygın olarak bu yöntem kullanılmaktadır. ‘Blind’ olarak adlandırılan istenmeyen sinyallerin ayırt edilerek gerçek sinyalin elde edilmesinde kullanılır. Haberleşmede ise Code Division Multiple Access (CDMA) modeli olarak tanımlanmaktadır.

### 3.3. DENEYSEL MOD AYRIŞIMI YÖNTEMİ

Deneysel mod ayrışımı yöntemi ve Hilbert spektrumu, Huang'ın 1998 yılında deneysel mod ayrışımı (EMD) yöntemini bulmasından sonra hızla bilim ve mühendislik alanlarında geliştirilmiştir. Bu yöntemin en temel özelliği bir sinyali 'Intrinsic Mode Function' (IMF), temel mod fonksiyonları olarak adlandırılan parçalara ayırmasıdır. İlave olarak temel mod fonksiyonlarının Hilbert spektral analizi farklı zaman skalalarında ve yerleşimlerinde frekans bilgisi sağlamaktadır. En gerekli adım temel mod fonksiyon sinyallerinin, asıl sinyal içinden belli bir zaman dilimi dikkate alınarak ortaya çıkarılmasıdır. Huang 1998 yılında veri-uyumlu algoritmayı (data-adapted), verilen bir sinyalden sinus sinyalini elde ederek ortaya atmıştır [13].

#### 3.3.1. Deneysel Mod Ayrışımı Yöntemi Algoritması

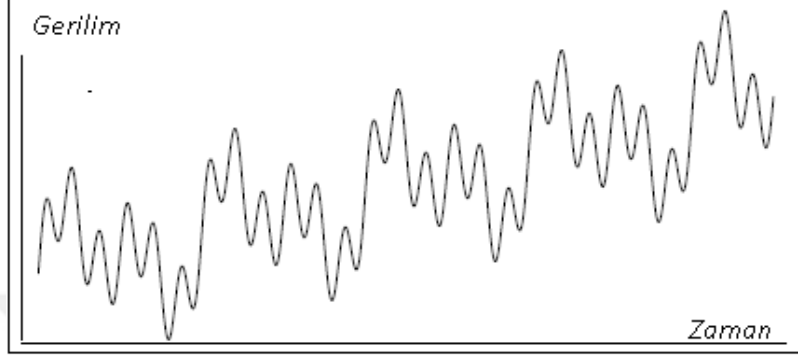
Deneysel mod ayrışımı yöntemi algoritmasında ilk olarak yerel uç noktaları tanımlanır. Alt zarf ve üst zarf (lower and upper envelope) olarak adlandırılan iki adet fonksiyon elde edilir. İkinci adımda bu iki sinyalin ortalaması alınarak orijinal sinyalin frekansından daha düşük bir frekansta sinyal elde edilir. Son olarak orijinal sinyalden elde edilen sinyalin ortalaması çıkarılır. Huang elde edilen sinyali asıl temel mod fonksiyonu olarak adlandırır. Temel mod fonksiyonun iki temel özelliği vardır. Uç nokta ve sıfır geçiş nokta sayısı birden farklı, yerel ortalama ise sıfır olmalıdır. Bu iki şart sağlanmaz ise bir sonraki iterasyonda aynı işlemler artan (residue) sinyal olarak adlandırılan işarete uygulanır. Bu döngüsel işlemler eleme (shifting) olarak adlandırılır. Döngüler ayarlanan bir tolerans değerinin altına düşene kadar devam eder. Döngünün sona erdirilmesi için 3.37 formülü işletilir [13].

$$\max_t \frac{|h_i(t) - h_{i-1}(t)|}{h_{i-1}(t)} < tol \quad (3.37)$$

Dış ortamdan elde edilen gerçek sinyaller incelendiğinde, alçak ve yüksek frekanslar içerdiği gözlenir. Bu yöntemin örnek üzerinden açıklanmasında Kim, D. 'nin çalışmasından faydalanılmıştır [14].  $x(t)$  sinyalini dikkate alınırsa;

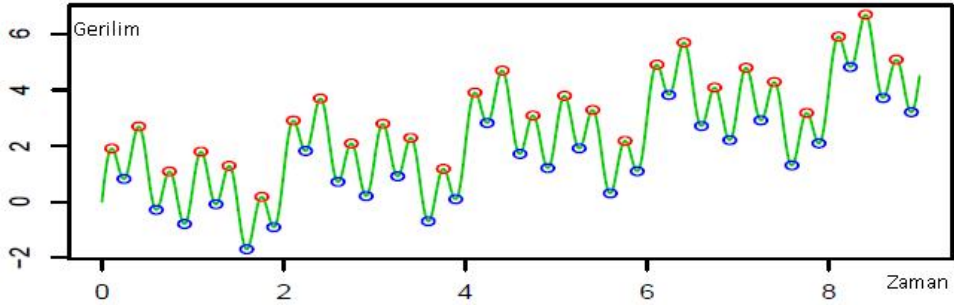
$$x(t) = 0.5t + \sin(pt) + \sin(2pt) + \sin(6pt) + e \quad (3.38)$$

Gösterim kolaylığı için hatayı yok sayılırsa,  $x(t)$  sinyali dört adet bileşenden oluştuğu görülebilir. En yüksek frekanslı bileşen  $\sin(6\pi t)$ , en düşük frekanslı bileşen ise  $0.5t$  sinyalidir. Şekil 3.4 de bu bileşenlerden oluşan 3.38 denklemindeki sinyal gösterilmiştir.

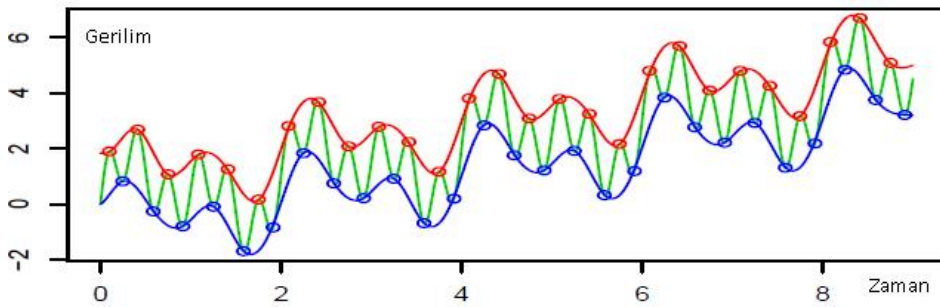


Şekil 3.4: Dört adet bileşenden oluşan  $x(t)$  sinyali.

İlk olarak  $x(t)$  sinyalinin lokal uç noktaları belirlenir. Lokal maksimumlar ve lokal minimumlar birleştirilerek şekil 3.6 de gösterilen iki ayrı fonksiyon elde edilir. Bu fonksiyonlar alt ve üst zarf olarak adlandırılır.

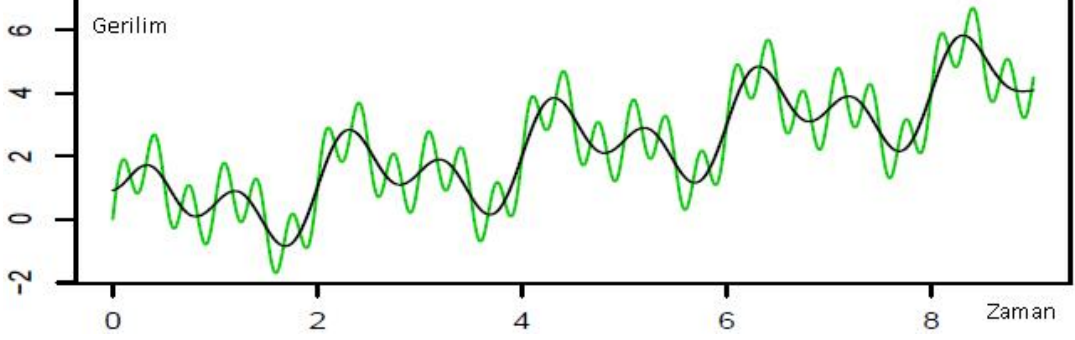


Şekil 3.5: Lokal uç değerleri.



Şekil 3.6: Alt ve üst zarf fonksiyonları.

Alt ve üst uç değer fonksiyonlarının ortalaması alınarak  $x(t)$  sinyalinden daha düşük frekanslı bir sinyal elde edilir.

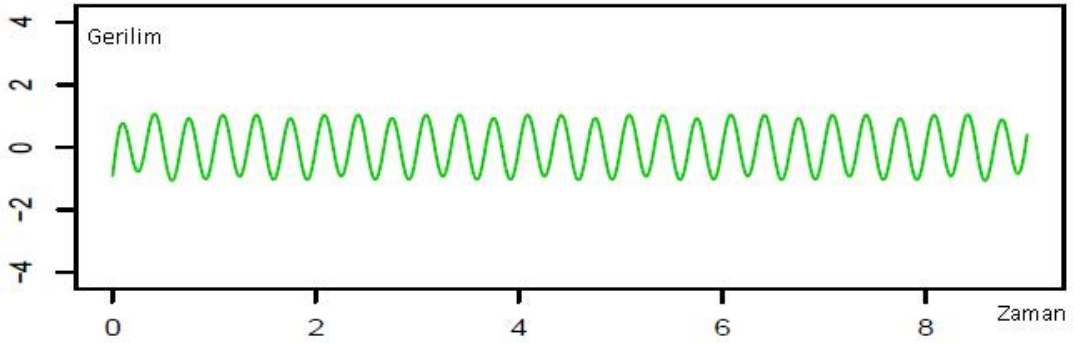


**Şekil 3.7:** Alt ve üst zarf fonksiyonlarının ortalaması.

Ortalama alma işlemi 3.39 formülünden yararlanarak hesaplanır. Alt ve üst zarflardan oluşan iki fonksiyon  $e_{\max_k}$  ve  $e_{\min_k}$  olarak gösterilmektedir.

$$em_k = (e_{\max_k} + e_{\min_k}) / 2 \quad (3.39)$$

Elde edilen zarfın ortalama değer sinyali  $x(t)$  orijinal sinyalinden çıkarılır. Şekil 3.8 de gösterilen en yüksek frekanslı birinci bileşen elde edilir.



**Şekil 3.8:** Birinci temel mod fonksiyon sinyali.

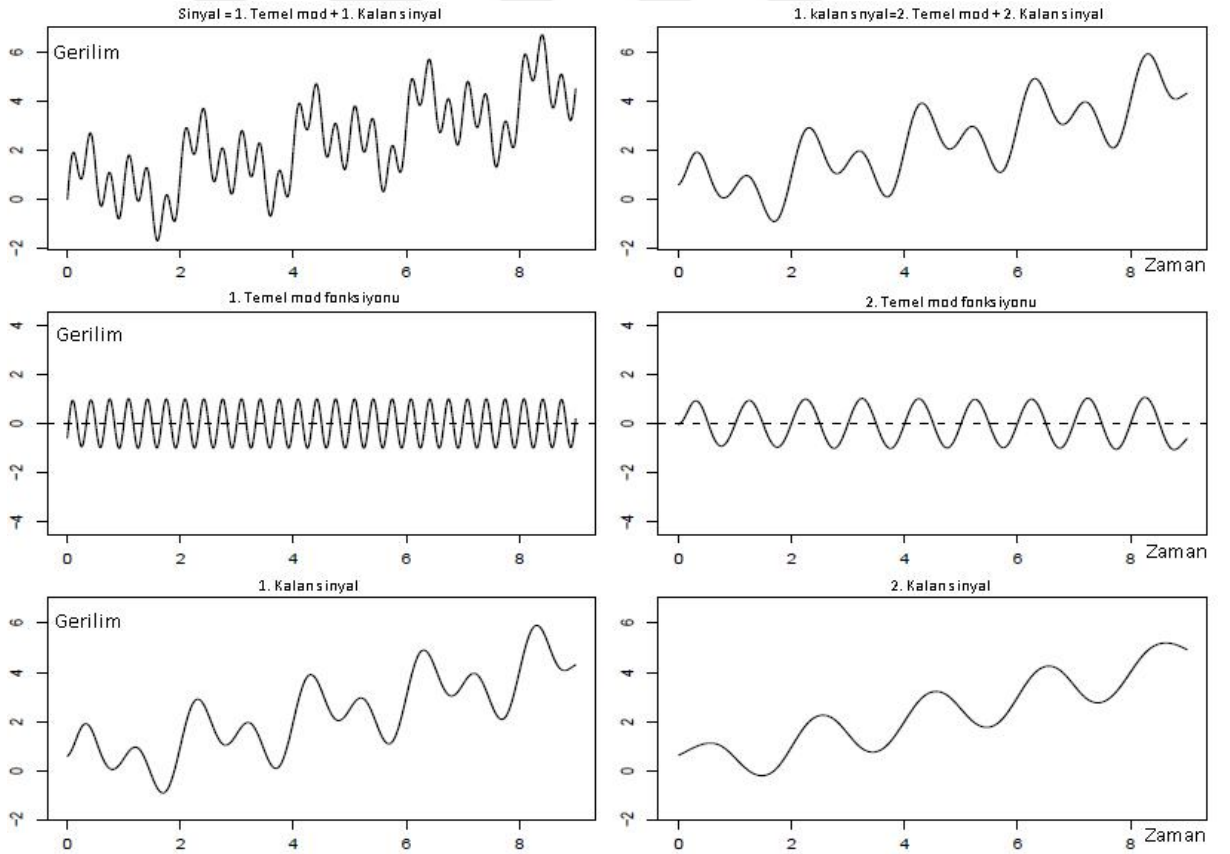
Bu algoritma ile işlenen bir iterasyonda elde edilen sinyalin, temel mod fonksiyonu olma garantisi yoktur. Birinci temel mod fonksiyon sinyali üzerinden yeni baştan yukarıdaki işlemler tekrarlanır. Bu döngüsel yöntem 'sifting' olarak adlandırılır. Bu döngüsel işlemler ile daha simetrik, ortalaması sıfıra doğru yaklaşan, tüm maksimumları pozitif ve tüm minimumları negatif değerler alan sinyaller üretilir. Döngüler sürecinde yüksek frekanslı sinyalden düşük frekanslı bileşen çıkarılır. İlk elde edilen temel mod fonksiyon sinyali en yüksek frekanslı



bileşendir. ‘Residue’ (artan) sinyali  $r = x - imf_1$  şeklinde elde edilir. Bu sinyal farklı frekans değerlerine sahip birden fazla sinyali barındırabilir. Bir sonraki döngüde artan sinyal  $r$  üzerinden işlemler tekrarlanır. Bu sefer elde edilecek sinyal  $imf_1$  sinyalinden daha düşük frekanslı bileşen  $imf_n$  olacaktır. Bu işlemleri 3.40 denklemleri ile ifade edebilir.

$$x(t) = \sum_{i=1}^n imf_i(t) + r(t) \quad (3.40)$$

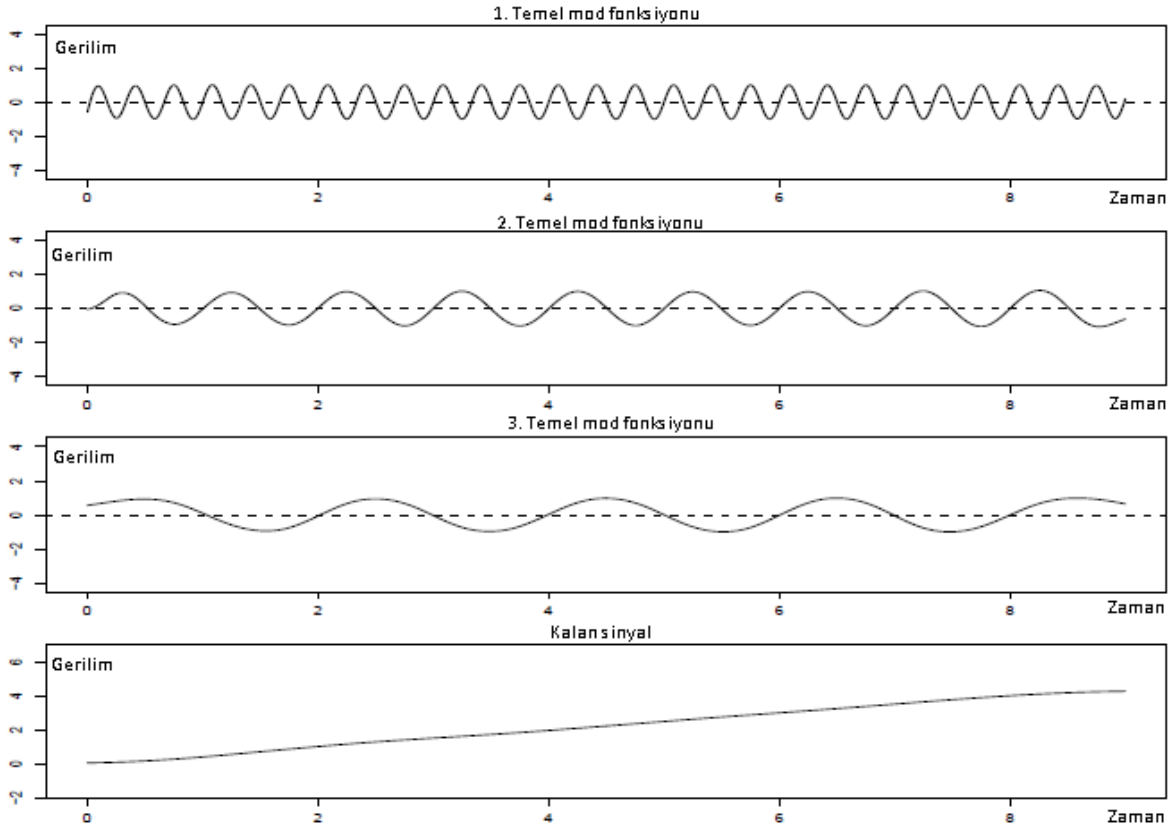
İlk iki döngüde elde edilen temel mod fonksiyon ve artan sinyalleri şekil 3.9’da gösterilmiştir. Orjinal sinyal birinci temel mod fonksiyonu ile artan sinyallerinin toplamıdır. İkinci döngüde ilk döngüde elde edilen artan sinyal üzerinden işlemler tekrarlanır. İkinci temel mod fonksiyon ve artan sinyallerinin toplamı da birinci artan sinyalini vermektedir.



**Şekil 3.9:** İlk iki döngü için artan ve temel mod fonksiyon sinyalleri.

$x(t)$  sinyali dört adet bileşenden oluşmaktadır. Şekil 3.10’da elde edilen bileşenler temel mod fonksiyon sinyalleridir. Sırası ile ilk temel mod fonksiyon sinyali en yüksek frekanslı  $\sin(6\pi t)$

, ikinci temel mod fonksiyon sinyali  $\sin(2\pi t)$ , üçüncü temel mod fonksiyon sinyali  $\sin(\pi t)$  fonksiyonudur. En son olarak dördüncü temel mod fonksiyon sinyali artan sinyal olarak adlandırılır ve  $0.5t$  fonksiyonudur. Bir sinyalin temel mod fonksiyon olması için gereken iki koşul sağlanmadığı için döngü artan sinyal ile sonlandırılmıştır.



Şekil 3.10: Elde edilen temel mod fonksiyonları.

### 3.3.2. Deneysel Mod Ayırışımı Yöntemi Uygulama Alanları

Bu yöntemin uygulama alanları iki kategoride toplanır. İlk kategori lineer olmayan klasik eşitliklerin numerik çözümlerini içerir. Diğer kategori doğal ortam ve laboratuvar ortamındaki uygulamaları içermektedir. Numerik uygulamalara örnek olarak Duffing, Lorenz ve Rössler eşitliği gösterilebilir. Bu eşitliklerin avantajları sistemlerin sadelik ve basitliğidir. Bu eşitlikler için tüm gerekli veriler ve parametreler zaten detaylı olarak çalışılmıştır. Ekvator bölgesinde yükseltiyeye bağlı olarak oluşan dalga şekilleri, deprem kayıtları ve rüzgârlar ikinci kategori uygulama alanlarına girmektedir. Mekanik olarak üretilen suni dalgaların ve doğadaki dalga şekillerinin rüzgâr ile gelişimi bu yöntem ile modellenmektedir. Tsunami dalgalarını tespit etmek amacıyla gel git dalgalarının modellenmesi yapılmaktadır. Elde edilen veriler kayıt altına

alınarak olağandışı dalga oluşumları tespit edilmeye çalışılmaktadır. Tüm deprem dalgaları geçicidir, bu yüzden sabit olmayan (non-stationary) şeklinde adlandırılırlar. Bu tip sinyaller Fourier analizi ile işlenmektedir. Doğada meydana gelen doğrusal olmayan anlık sinyalleri işlemek için Fourier analizinin kullanımı bazı zorlukları getirmektedir. Elde edilen verilerin dağılım, bozulma, enerji-frekans dağılımları gibi detay bilgilere ulaşamamaktadır. Ayrıca laboratuvar ortamında üretilen rüzgâr sistemlerinin modellenmesinde de EMD yöntemi ve Hibert spektrum analizi kullanılmaktadır [15].



## 4. BULGULAR

### 4.1. BAĞIMSIZ BİLEŞEN YÖNTEMİ UYGULAMASI

#### 4.1.1. Bozucu Sinyal ‘Kare Dalga’ ile ICA Uygulaması

Çalışma kapsamında ilk aşamada 50 Hz’lik şebeke sinyali, Matlab [19] programı kullanılarak şekil 4.1’de görüldüğü üzere 1000 adet örnek ile modellenmiştir. Genlik 220 V değerini temsil edecek şekilde, zaman ise gösterim kolaylığı açısından saniye yerine 10 periyodu kapsayan 1000 örnek şeklinde gösterilmiştir. Bu sinyal kaynak giriş sinyali olarak sistemde değerlendirilmiştir.

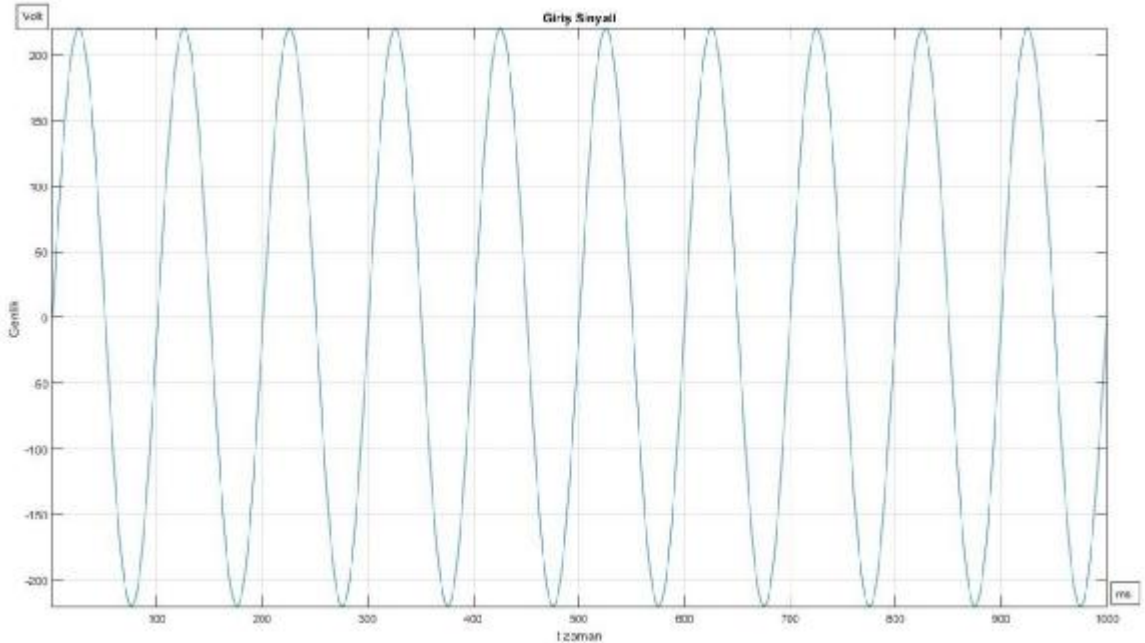
$$T_{\text{Şebeke}} = \frac{1}{50\text{Hz}} = 20\text{ms}$$

$$DT_{\text{Örnek}} = \frac{20\text{ms}}{100} = 0.2\text{ms}$$

$$f_{\text{Örnek}} = \frac{1}{t_{\text{giriş}}} = \frac{1}{0.2\text{ms}} = 5.000\text{Hz}$$

Giriş sinyali

(4.1)



Şekil 4.1: Orijinal kaynak giriş sinyali.

Modellemek istenilen sistemde, giriş sinyalinin düzgün bir sinüs olarak değil, aksine kullanıcının veya çıkış cihazlarının kullanamayacağı ölçüde gürültü ile bozulmuş bir sinyal

şeklinde elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla öncelikle 50 Hz'i temsil eden sinus dalgası (2.500Hz örnekleme frekansı sonucu 20 periyot süresinde 1000 örnek olacak şekilde) kare bir dalga ile bozulmuştur. Kare dalga şekil 4.2 da gösterilmiştir.

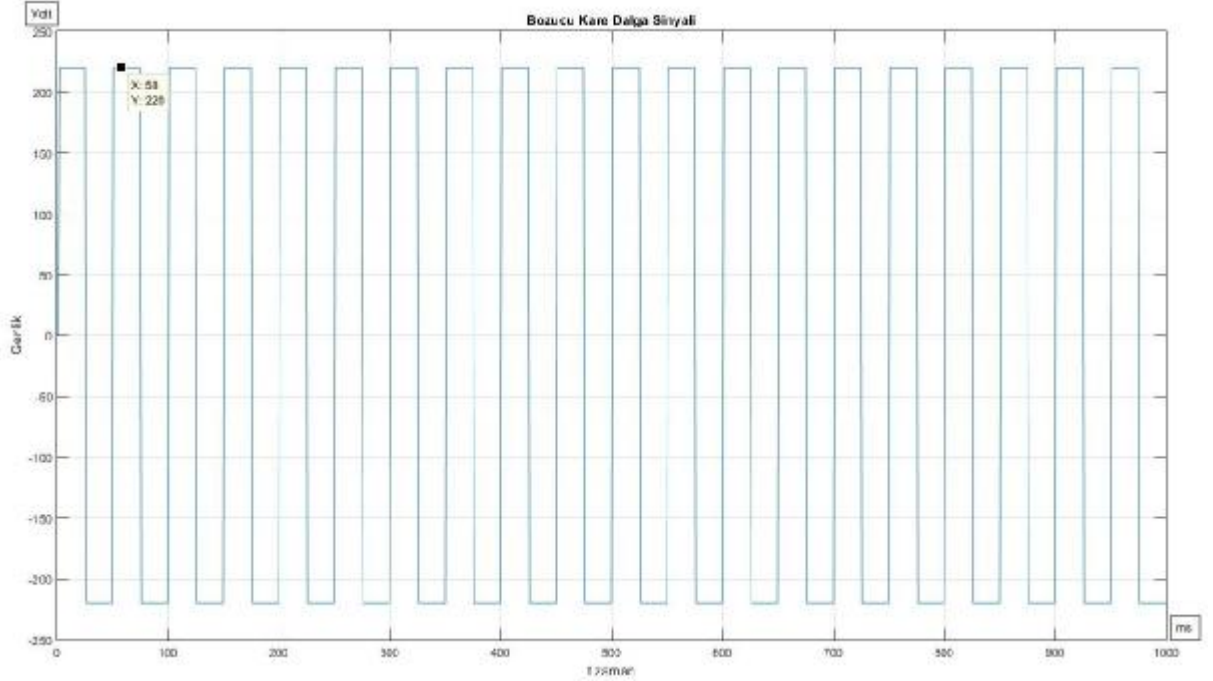
$$T_{\text{Şebeke}} = \frac{1}{50\text{Hz}} = 20\text{ms}$$

$$DT_{\text{Örnek}} = \frac{20\text{ms}}{50} = 0.4\text{ms}$$

Bozucu kare dalga sinyali

(4.2)

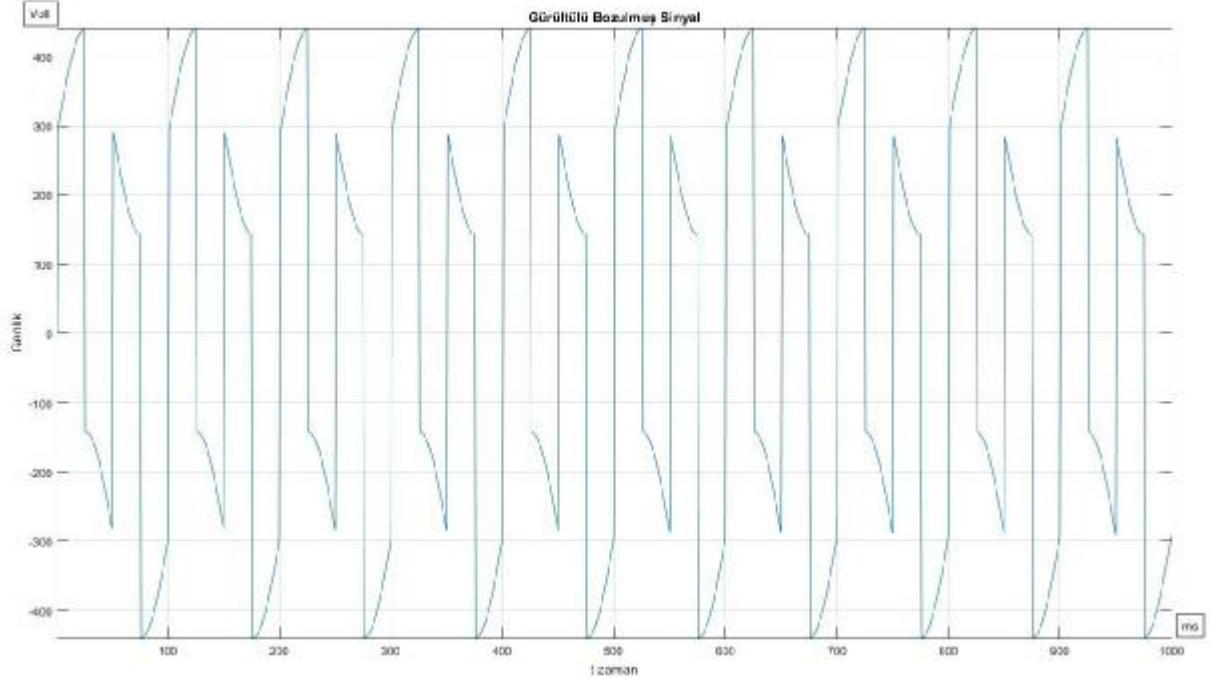
$$f_{\text{Örnekleme}} = \frac{1}{DT_{\text{Örnek}}} = \frac{1}{0.4\text{ms}} = 2.500\text{Hz}$$



**Şekil 4.2:** Bozucu kare dalga sinyali.

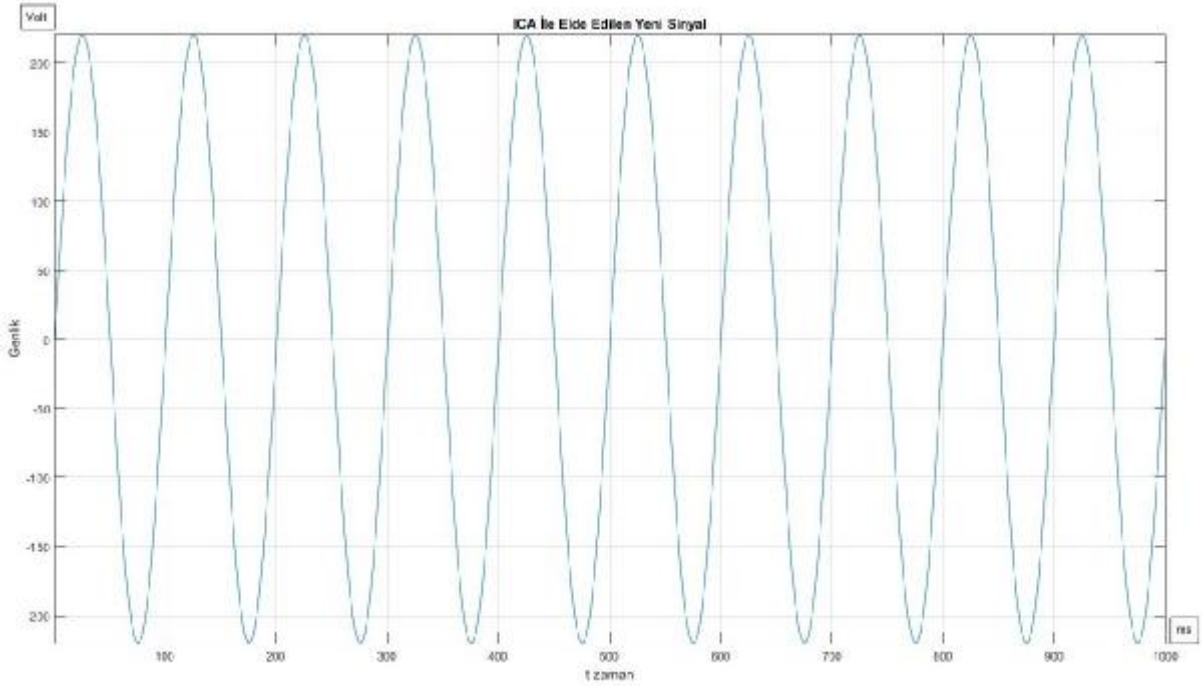
Şekil 4.3 de bu bozulan sinyalin genliğinin yaklaşık 400V değerlerine ulaştığı, dalga şeklinin de anlık pikler şeklinde değişken genliklere sahip olduğu gözükmektedir. Burada amaç, sinyali mümkün olabildiğince kullanılamaz hale getirerek, periyodik yapıdan çıkarıp, şekil ve genliğini bozmaktır. Kompleks bir gürültü sinyali, uygulama anında kaçak elektrik kullanımını caydırıcı bir hale getirmeye imkan sağlayacaktır. Ayrıca bu tip bir şebeke sinyali öngörülebilir olmamasından dolayı, kaçak elektrik kullanımına yönelik üretilebilecek cihazların kullanımını da imkansız hale getireceği düşünülmektedir. Bu amaçla sinyali bozarken yeniden elde edebileceğimiz ölçüleri de iyi değerlendirmek gerekmektedir. Bağımsız bileşen veya benzeri

başka bir algoritma ile bu sinyalin sayıktan sonra temiz bir sinüs dalgasına dönüştürülmesi gerekmektedir.



**Şekil 4.3:** Orijinal giriş sinyalinin kare dalga ile bozulması.

Bağımsız bileşen yöntemini kullanarak şekil 4.4 de gösterilen sinyal elde edilebilmektedir. Bu sinyalin kaynak sinyaline olan benzerliği, önerilen yöntemin başarısının bir göstergesidir. Elbette teorik olarak yaklaşık aynı değerlere sahip bir giriş sinyali üretilebilse bile, uygulama anında bu değerleri elde etmek kolay görünmemektedir. Zamana bağlı olarak faz kayması, genlik değeri ve sistemin cevap sürelerinin değişiklik göstermesi beklenmektedir.



**Şekil 4.4:** Bağımsız bileşen yöntemi ile elde edilen yeni sinyal.

Bağımsız bileşen yönteminde kullanılabilecek en önemli iki algoritma Kurtosis ve Negentropy algoritmalarıdır. Bu yöntemlerin detayları malzeme ve yöntemler başlığı altında detaylı olarak açıklanmıştır. Tablo 4.1 ve 4.2 de Matlab programında bu iki algoritmayı kullanılarak sonuca kaç döngüde ve ne kadar yakınsadığı gösterilmiştir. Bağımsız bileşen analizinde ilk  $w$  matrisi tahmin edilerek kurtosis veya negentropy algoritmaları işletilir. Bu işlem sonucunda elde edilen yeni  $w$  matrisi üzerinden döngüler devam eder ve işlemler tekrarlanır. Aşağıdaki tablolarda yakınsama durumu olarak gösterilen değerler  $w$  matrisleri arasındaki farkın maksimum değerleridir.

**Tablo 4.1:** Kurtosis algoritması ile yakınsama durumu - Bozucu sinyal kare dalga osilatörü.

Döngü sayısı	Değerlendirilen matrisler	Yakınsama durumu
döngü 001	$\max(1 -  \langle w001, w000 \rangle ) =$	0.04302
döngü 002	$\max(1 -  \langle w002, w001 \rangle ) =$	0.0001588
döngü 003	$\max(1 -  \langle w003, w002 \rangle ) =$	1.203e-11
döngü 004	$\max(1 -  \langle w004, w003 \rangle ) =$	5.551e-16

Kurtosis ve Negentropy yöntemlerinde dört döngü gibi kısa sürelerde yakınsama sınırına ulaşılmaktadır. Bu sınırın Matlab programında değiştirilmesi mümkündür. Koverians yakınsama sınırı olarak programda yer alan 'TOL' parametre değeri  $1e-15$  olarak

değerlendirilmiştir. Program daha küçük değerlerde sonuç üretememekte, yani tolerans değeri  $1e-18$  girildiğinde tanımlanan maksimum döngü sayısı kadar işlem yapmakta ve daha yakın bir değere ulaşamamaktadır. Programda maksimum döngü sayısı 100 olarak değerlendirilmiştir. Bu döngü sayısına ulaşana kadar sistem yakınsamaz ise şekil 3.3 de gösterilen algoritmaya göre yeni bir W rastgele matrisi seçilerek işlemler tekrar edilmektedir.

**Tablo 4.2:** Negentropy algoritması ile yakınsama durumu-Bozucu sinyal kare dalga osilatörü.

Döngü sayısı	Değerlendirilen matrisler	Yakınsama durumu
döngü 001	$\max(1 -  \langle w001, w000 \rangle ) =$	0.04897
döngü 002	$\max(1 -  \langle w002, w001 \rangle ) =$	2.055e-06
döngü 003	$\max(1 -  \langle w003, w002 \rangle ) =$	1.148e-11
döngü 004	$\max(1 -  \langle w004, w003 \rangle ) =$	1.443e-15

Kurtosis ve Negentropy yöntemleri ile elde edilen yakınsama sonuçları değerlendirildiğinde, Kurtosis yönteminin aynı döngü sayısında daha düşük değerlere ulaşarak biraz daha yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. İki algoritma için de 4 döngü işlem süresi 0,32s, 100 döngü 0,38s, 1000 döngü 1,24s civarlarında ölçülmektedir.

#### 4.1.2. Bozucu Sinyal ‘Duffing Osilatörü’ ile ICA Uygulaması

Bu bölümde elde edilen veriler, sinusoidal sinyalin kare dalga ile bozulması ve bağımsız bileşen yöntemi ile yeniden ayrıştırılması sonucu elde edilmiştir. Bu aşamada giriş sinyaline kare dalgadan farklı olarak kaotik bir sinyal uygulayarak önerilen algoritmanın başarısı incelenmiştir. Kaotik sinyali oluşturmak amacıyla zorlanmış Duffing osilatörü, giriş şebeke sinyali olarak ise aşağıda özellikleri belirtilen ve şekil 4.5’de gösterilen sinyal kullanılmıştır.

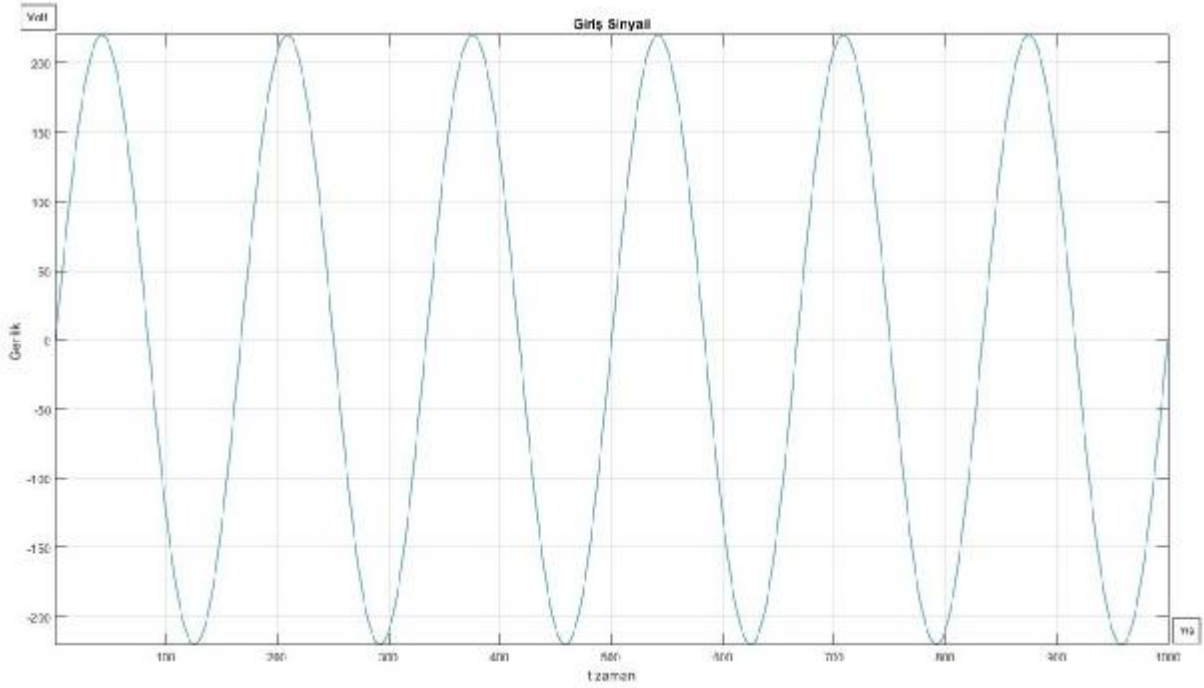
$$T_{\text{Şebeke}} = \frac{1}{50\text{Hz}} = 20\text{ms}$$

$$DT_{\text{Örnek}} = \frac{20\text{ms}}{166.6} = 0.12\text{ms}$$

Giriş sinyali (4.3)

$$f_{\text{Örnekleme}} = \frac{1}{DT_{\text{Örnek}}} = \frac{1}{0.12\text{ms}} = 8.300\text{Hz}$$





**Şekil 4.5:** Orijinal kaynak giriş sinyali.

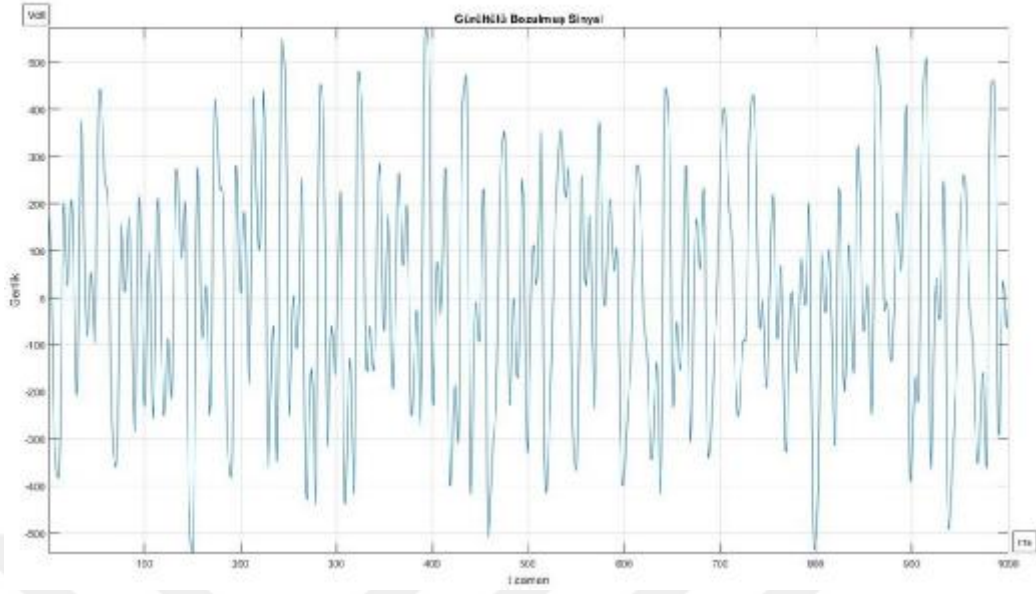
Ek 3’de verilen Duffing osilatör kodlarından faydalanarak kaotik bir sinyal üretilmiş ve önceki diğer bütün sinyaller gibi 1000 adet örnekten oluşması sağlanmıştır. Kaotik Duffing sinyalini üretmek için Matlab ‘ode45’ fonksiyonu kullanıldı. Duffing sinyali olarak aşağıda özellikleri belirtilen ve şekil 4.6’da gösterilen sinyal kullanılmıştır.

$$T_{\text{Şebeke}} = \frac{1}{50\text{Hz}} = 20\text{ms}$$

$$DT_{\text{Örnek}} = \frac{20\text{ms}}{11.1} = 1.8\text{ms}$$

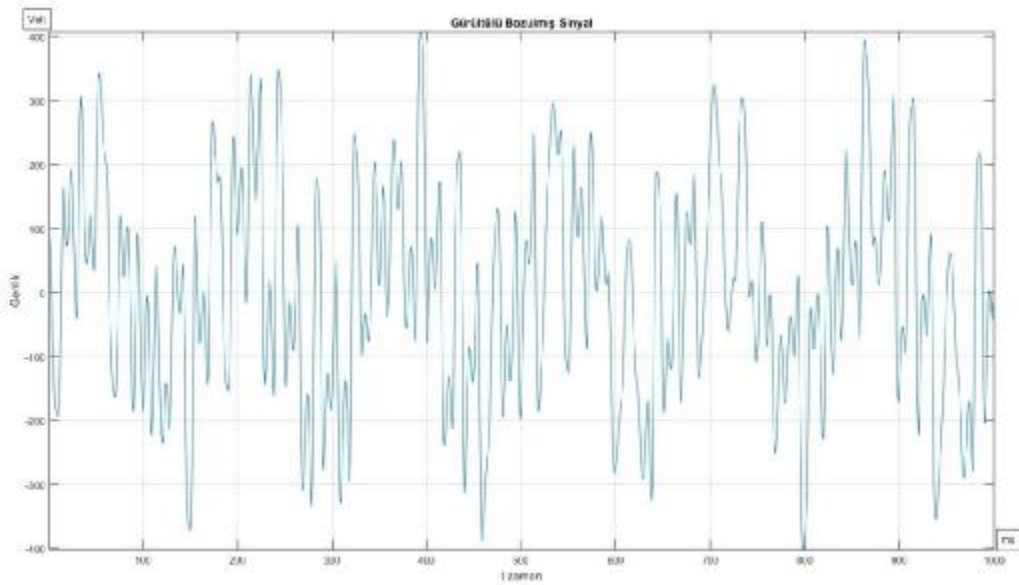
$$f_{\text{Örnekleme}} = \frac{1}{t_{\text{giriş}}} = \frac{1}{1.8\text{ms}} = 555\text{Hz}$$

Bozucu Duffing dalga sinyali (4.4)



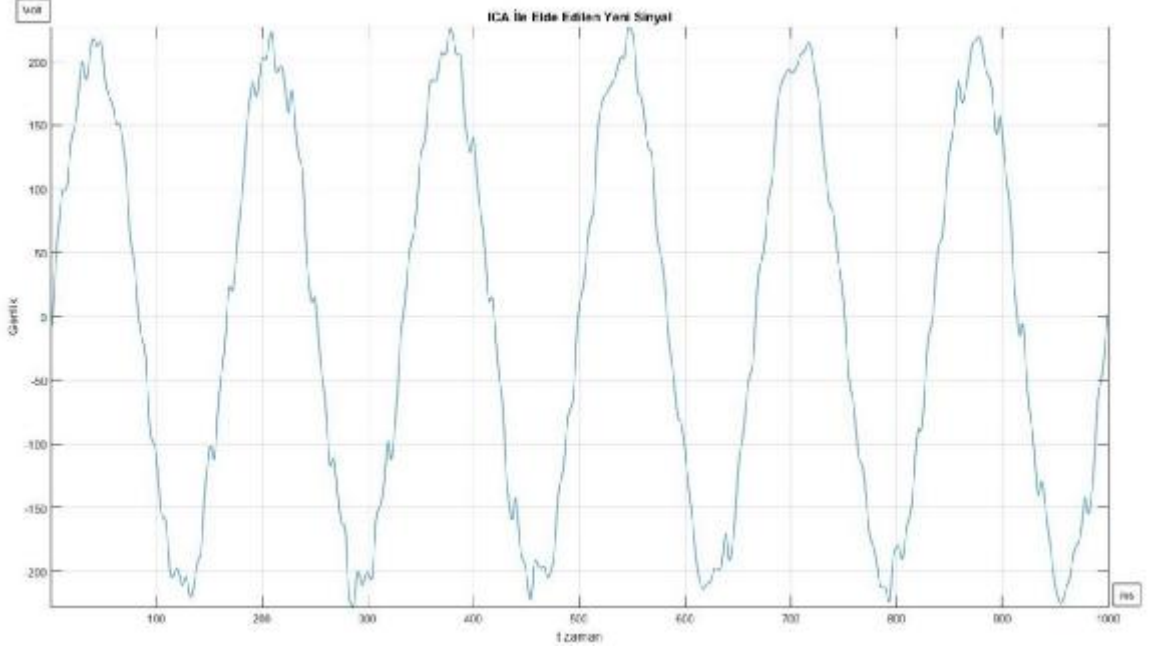
**Şekil 4.6:** Bozucu duffing osilatörü sinyali.

Kaotik sinyal nedeniyle bozulan şebeke giriş sinyali şekil 4.7’de gösterilmiştir. Duffing osilatörü ile bozulan sinyal periyodik olmayan ve önceden kestirelemez bir yapıdadır. Sinyalin genlik değerleri ve dalga şekli tüketicilerin cihazlarının kullanımına imkan vermemektedir. Elde edilen sinyallerin genlik değerleri, kaotik sinyale özgü bazı katsayıların değiştirilmesiyle ayarlanabilmektedir. Yapılan çalışma sonucunda, Duffing osilatörü ile bozulan giriş sinyalinin, kolaylıkla temizlenerek gerçek sinüse yakın bir sinyal elde edilmesinin önüne geçilmesi amaçlanmaktadır.



**Şekil 4.7:** Orijinal giriş sinyalinin Duffing osilatörü ile bozulması.

Bağımsız bileşen yöntemi Kurtosis algoritması ile yeniden elde edilen sinyal şekil 4.8’de gösterilmektedir. Kaynak giriş sinyali ile aynı faz, frekans ve genlik değerleri elde edilebilmekte, ancak kaotik sinyalin genlik ve frekans değerinin değişken olması nedeniyle elde edilen sinyalin dalga şeklinde küçük bozulmalar meydana gelmektedir. Bu aşamada kullanılan Matlab kodları ek 5 olarak çalışmaya eklenmiştir.



**Şekil 4.8:** Bağımsız bileşen yöntemi Kurtosis alg. ile elde edilen yeni sinyal.

Kurtosis ve Negentropy algoritmaları ile elde edilen sonuçların yakınsamaları tablo 4.3 ve 4.4’de gösterilmiştir. Kurtosis algoritması ile sekiz döngüde yakınsama sınırına ulaşılmıştır. Negentropy algoritmasında on iki döngüde yakınsama sınırına ulaşılmıştır. Yakınsama sınırı yine  $1e-15$  olarak ayarlanmıştır.

**Tablo 4.3:** Kurtosis algoritması ile yakınsama durumu - Bozucu sinyal Duffing osilatörü.

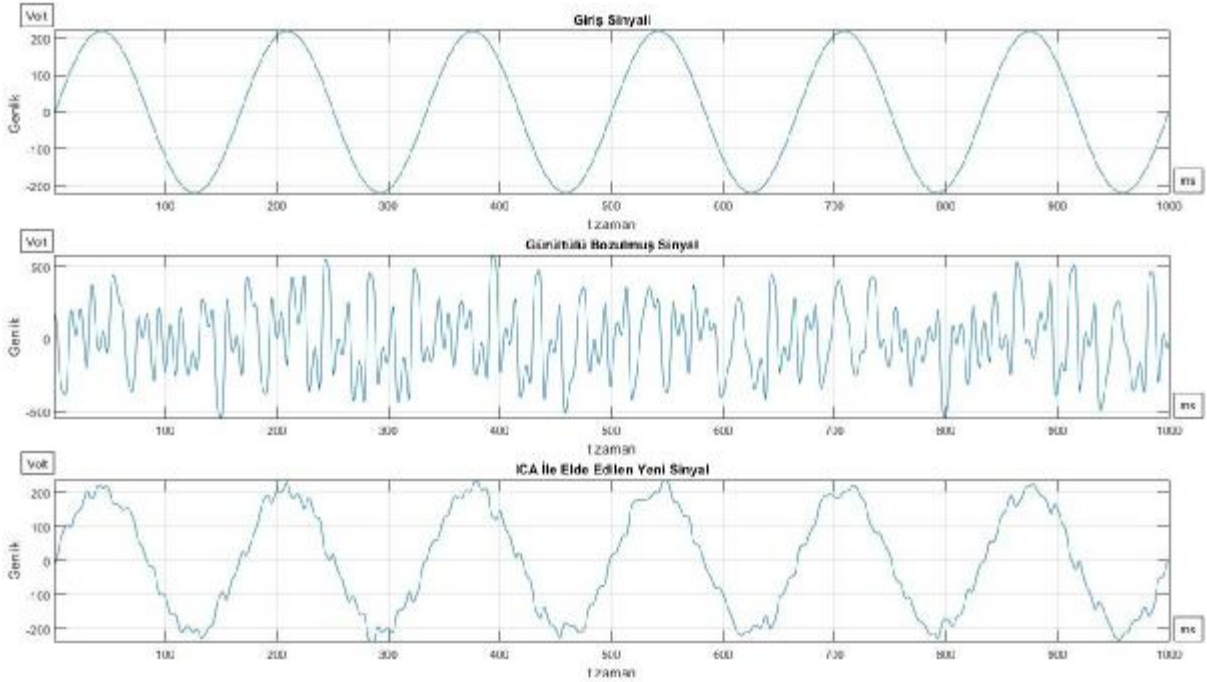
Döngü sayısı	Değerlendirilen matrisler	Yakınsama durumu
döngü 001	$\max(1 -  \langle w001, w000 \rangle ) =$	0.1058
döngü 002	$\max(1 -  \langle w002, w001 \rangle ) =$	0.0005509
döngü 003	$\max(1 -  \langle w003, w002 \rangle ) =$	2.927e-06
döngü 004	$\max(1 -  \langle w004, w003 \rangle ) =$	1.334e-08
döngü 005	$\max(1 -  \langle w005, w004 \rangle ) =$	6.168e-11
döngü 006	$\max(1 -  \langle w006, w005 \rangle ) =$	2.849e-13
döngü 007	$\max(1 -  \langle w007, w006 \rangle ) =$	1.221e-15
döngü 008	$\max(1 -  \langle w008, w007 \rangle ) =$	1.11e-16

Kurtosis algoritması ile elde edilen sonuçlar Negentropy algoritmasına göre daha iyi sonuç vermiştir. Elde edilen sinyalin faz, frekans ve genlik değerleri, giriş sinyali ile aynıdır. Kullanılan her iki algortmada da elde edilen sinyalde anlık gerilim sıçramaları meydana gelmektedir. İşlem süreleri Kurtosis algoritmasında 3.52s, Negentropy algoritmasında ise 3.55s olarak ölçülmüştür. Kurtosis algoritmasında işleme alınan denklem logaritmik olmadığı için sonuçlara biraz daha hızlı ve kolay ulaşılmaktadır.

**Tablo 4.4:** Negentropy algoritması ile yakınsama durumu - Bozucu sinyal duffing osilatörü.

<b>Döngü sayısı</b>	<b>Değerlendirilen matrisler</b>	<b>Yakınsama durumu</b>
döngü 001	$\max(1 -  \langle w001, w000 \rangle ) =$	0.1406
döngü 002	$\max(1 -  \langle w002, w001 \rangle ) =$	7.022e-05
döngü 003	$\max(1 -  \langle w003, w002 \rangle ) =$	4.45e-06
döngü 004	$\max(1 -  \langle w004, w003 \rangle ) =$	2.918e-07
döngü 005	$\max(1 -  \langle w005, w004 \rangle ) =$	1.897e-08
döngü 006	$\max(1 -  \langle w006, w005 \rangle ) =$	1.236e-09
döngü 007	$\max(1 -  \langle w007, w006 \rangle ) =$	8.048e-11
döngü 008	$\max(1 -  \langle w008, w007 \rangle ) =$	5.241e-12
döngü 009	$\max(1 -  \langle w009, w008 \rangle ) =$	3.415e-13
döngü 010	$\max(1 -  \langle w010, w009 \rangle ) =$	2.243e-14
döngü 011	$\max(1 -  \langle w011, w010 \rangle ) =$	1.554e-15
döngü 012	$\max(1 -  \langle w012, w011 \rangle ) =$	-2.22e-16

Negentropy algoritması ile elde edilen simulasyon sonuçları şekil 4.9'da gösterilmiştir.



**Şekil 4.9:** Duffing osilatörü ile bozulmuş sinyalin Negentropy algoritması ile elde edilmesi.

Kare dalga ile bozulan sinyalin yeniden elde edilmesinde sonuçlar gerçek değere çok daha yakın çıkmakta ve dalga şeklinde bozulmalar olmamaktadır. Bozucu sinyal ne kadar kaotik ve karmaşık olursa, ICA uygulaması sonucu elde edilen verilerde de o oranda bozulmalar meydana gelmektedir.

#### 4.1.3. Bozucu Sinyal 'Harmonik' ile ICA Uygulaması

Bu aşamada daha önce sırayla kare dalga ve Duffing osilatörü ile bozulan sinyallerin analizine ek olarak, harmonik bileşenlerin eklenmesi sonucu bozulan sinyallerin bağımsız bileşen yöntemi ile yeniden elde edilmesi amaçlanmıştır. Harmonik bileşenler temel sinyalin üzerine tek haneli bileşenler ile eklenerek şebeke sinyalini bozmaktadırlar.

$$y = \sin(t) \quad \text{Şebeke sinyali} \quad (4.5)$$

Denklem 4.5'de gösterilen temel şebeke sinyaline üçüncü harmonik eklenirse denklem 4.6 sinyali elde edilir.

$$y = \sin(t) + \frac{\sin(3t)}{3} \quad \text{3. Harmonik} \quad (4.6)$$

Aynı şekilde beşinci harmonik eklendiğinde denklem 4.7 sinyali elde edilmektedir.

$$y = \sin(t) + \frac{\sin(3t)}{3} + \frac{\sin(5t)}{5} \quad \text{5. Harmonik} \quad (4.7)$$

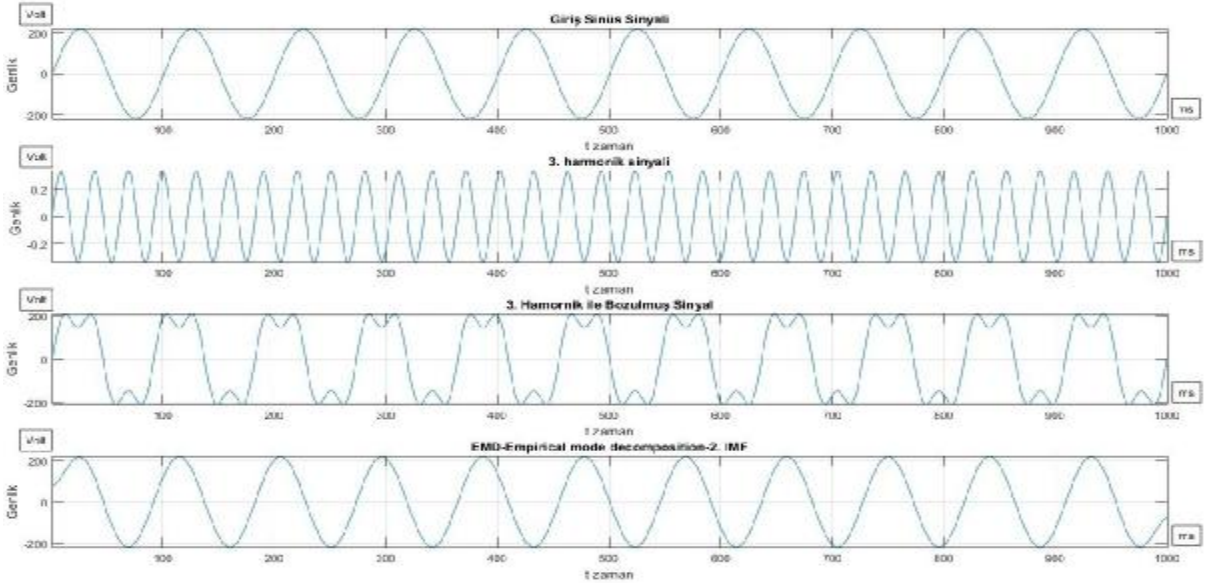
Giriş sinyali olarak 1000 örnekten oluşan 10 periyodluk aşağıdaki sinüs dalgası işleme alınınca şekil 4.10 deki verilere ulaşılmaktadır.

$$T_{\text{Şebeke}} = \frac{1}{50\text{Hz}} = 20\text{ms}$$

$$DT_{\text{Örnek}} = \frac{20\text{ms}}{100} = 0.2\text{ms} \quad \text{Giriş sinyali} \quad (4.8)$$

$$f_{\text{Örnekleme}} = \frac{1}{t_{\text{giriş}}} = \frac{1}{0.2\text{ms}} = 5.000\text{Hz}$$

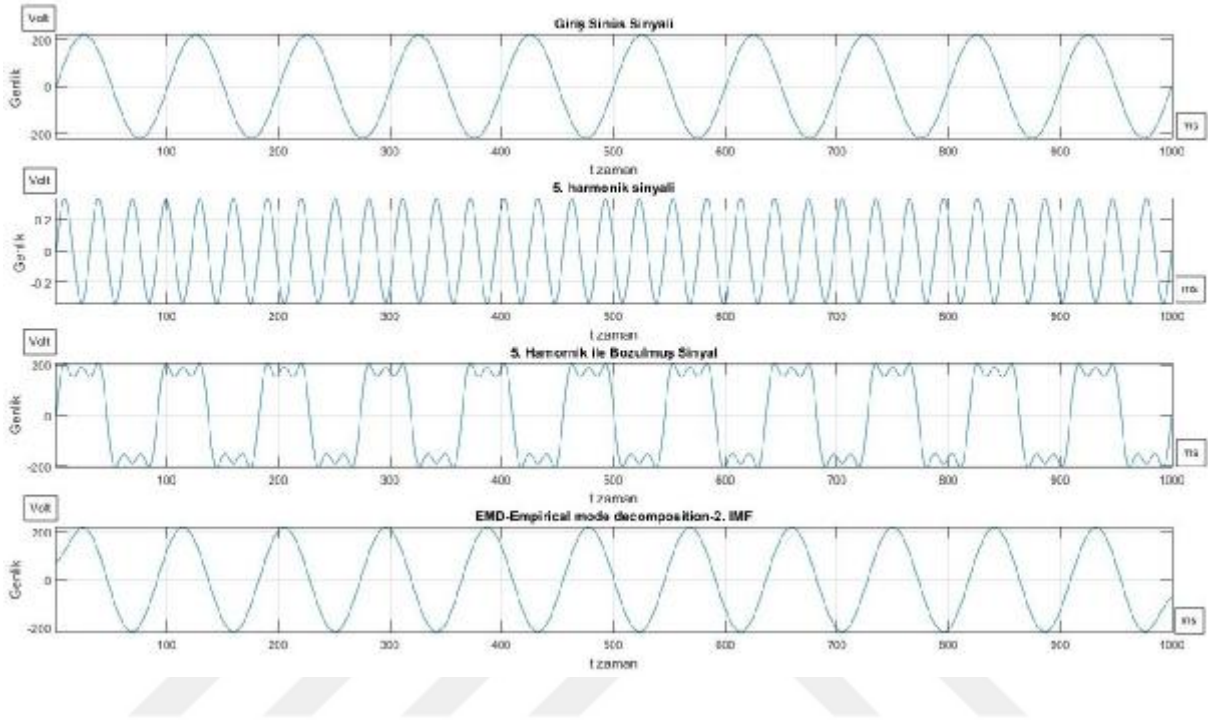
Temel şebeke frekansını temsil eden sinyal, 3. harmonik sinyali ve harmonik eklenerek bozulan sinyal şekil 4.10'da ayrı ayrı gösterilmiştir. Harmonikli yeni sinyale bağımsız bileşen yöntemi uygulanması sonucunda, genlik ve frekans olarak giriş sinyaline benzer sinyal elde edilebilmektedir..



**Şekil 4.10:** 3. Harmonik eklenmiş sinyalin bağımsız bileşen yöntemi ile elde edilmesi.

Harmonik bileşenler tek haneli olarak 3., 5., 7., ....., 63. bileşenlere kadar şebekeye eklenerek istenmeyen akım, gerilim ve frekans dalgalanmalarına neden olmaktadır. 5. harmonik için de aynı şekilde bağımsız bileşen yöntemi tekrarlandığında, 3. harmonikte olduğu gibi gerilim,

akım ve frekans açısından şebeke sinyaline benzer sinyal elde edilmektedir. Şekil 4.10 ve 4.11’de elde edilen Matlab simulasyon sonuçları gösterilmiştir. Harmonik sinyallerin dereceleri arttıkça frekanslarının arttığı ve genliklerinin azaldığı izlenmiştir.



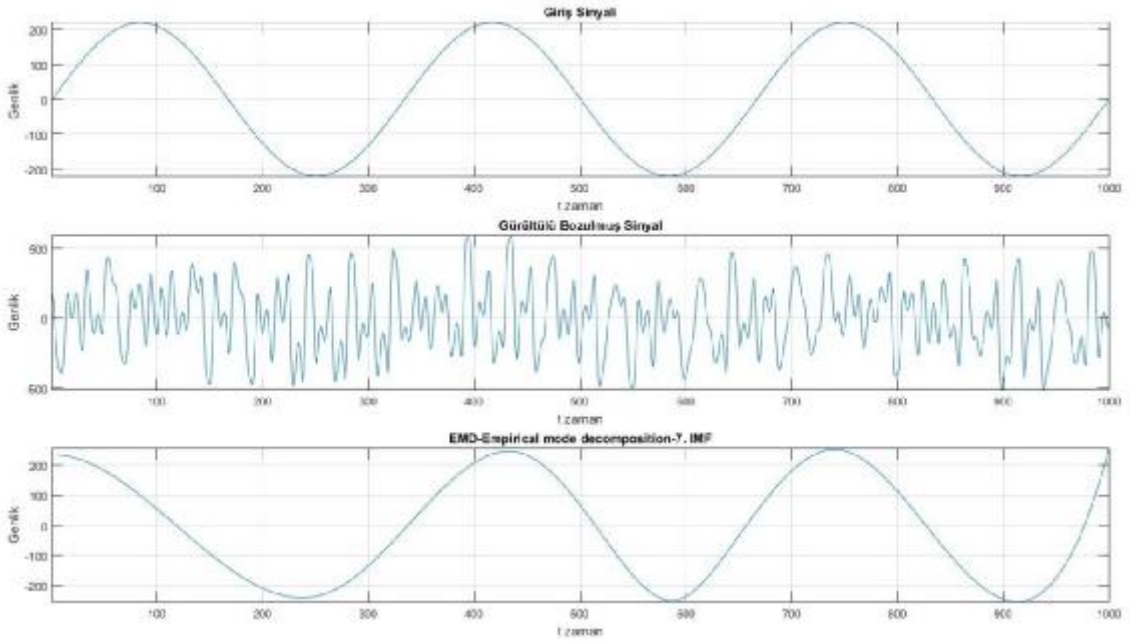
Şekil 4.11: 5. Harmonik eklenmiş sinyalin bağımsız bileşen yöntemi ile elde edilmesi.

## 4.2. DENEYSEL MOD AYRIŞIMI YÖNTEMİ UYGULAMASI

### 4.2.1. Bozucu Sinyal ‘Duffing Osilatörü’ ile EMD Uygulaması

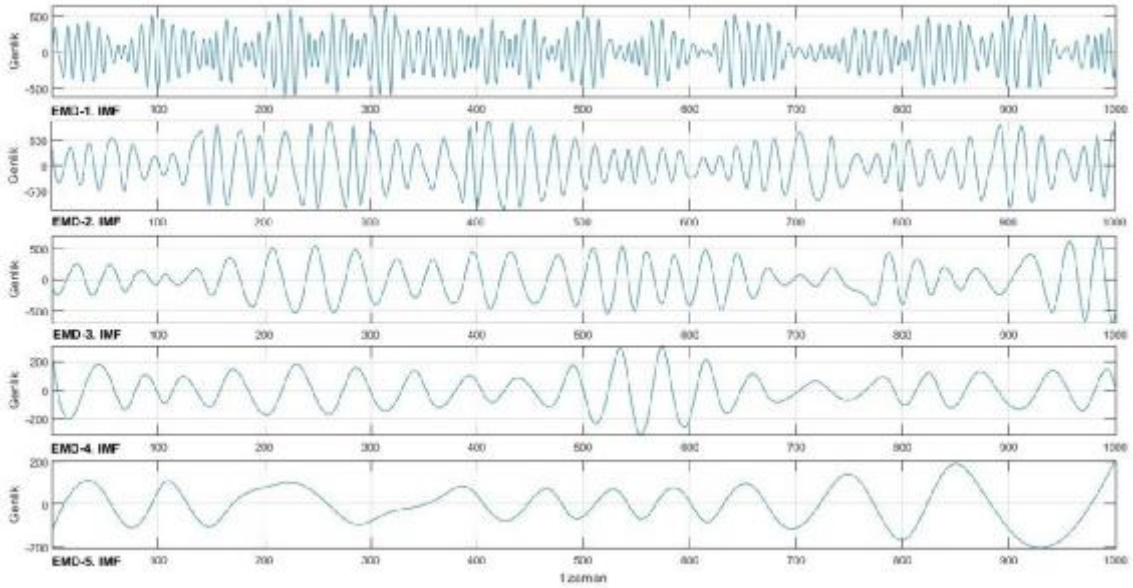
Bu bölümde, bağımsız bileşen yöntemi ile elde edilen verilerin, farklı bir yöntem olan ‘deneysel mod ayrışımı’ algoritması [16] kullanılarak elde edilmesi amaçlanmıştır. Duffing osilatörü ile bozulan bir sinyalin, farklı bir yöntem kullanarak daha doğru ve gerçeğe yakın bir şekilde elde edilebileceği öngörülmüştür. Deneysel mod ayrışımı yöntemi daha yeni ve bilinmeyen bir yöntem olduğu için bu algoritma üzerinden teorik sonuçlar elde edildi.

Giriş sinyali olarak 1.000 örnek içeren 3 periyodlu 16.666 Hz sinüs dalgası değerlendirildi. Bozucu sinyal olarak yine kaotik bir sinyal olan Duffing osilatörü ile giriş sinyalinin genlik ve frekansı bozulmuştur. Sistemin gözlenebilirliği için üç örnek frekanslı olarak işleme alınmıştır. Matlab simulasyonu ile şekil 4.12 sonuçları elde edilmektedir.



**Şekil 4.12:** Duffing osilatörü ile bozulmuş sinyalin emd ile elde edilmesi.

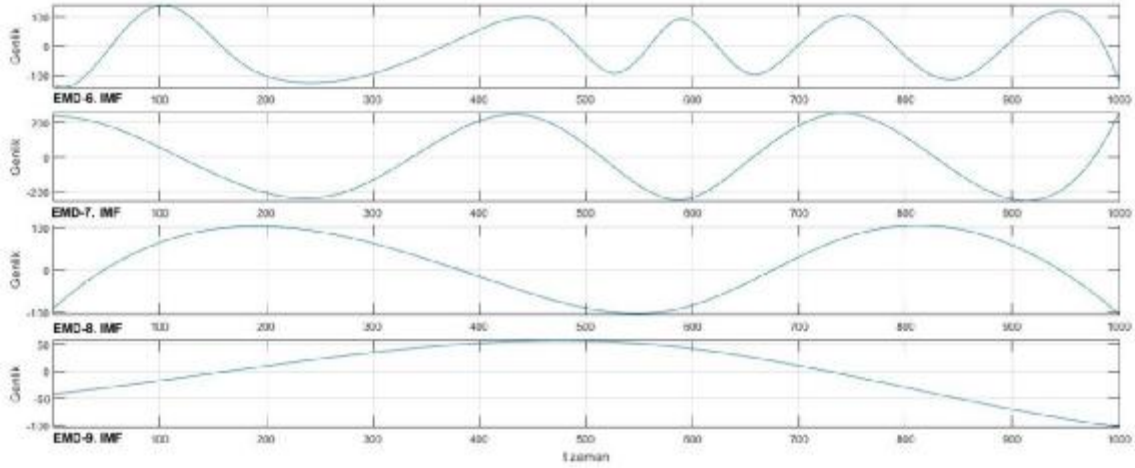
Deneysel mod ayrışımı sonucunda dokuz adet temel mod fonksiyon sinyali elde edilmektedir. Bunlardan bir tanesi giriş sinyali olmalıdır. Yedinci temel mod fonksiyon sinyali giriş sinyaline en yakın olanıdır. Frekans başta ve sonda hatalı olmasına karşın sinyal bütününde giriş sinyali ile aynıdır. Bozulmuş sinyalin genlik değerleri 500 V değerlerine çıkmasına karşın, elde edilen yedinci temel mod fonksiyon sinyali, giriş sinyali ile aynı 220 V değerini yakalamıştır



**Şekil 4.13:** 1'den 5'e kadar elde edilen temel mod fonksiyonları.



Tüm temel mod fonksiyon sinyallerinin toplamı bozucu sinyali vermektedir. Kaotik sinyal içindeki farklı frekans bileşenlerine sahip sinyaller bu yöntem ile ayrı ayrı elde edilmektedir. Teorik olarak belirtildiği üzere ilk temel mod fonksiyon sinyali yüksek frekanslı, sırası ile diğer temel mod fonksiyon sinyalleri ise düşük frekanslı olarak elde edilmektedir. Şekil 4.13 ve şekil 4.14 elde edilen temel mod fonksiyon sinyallerini göstermektedir.

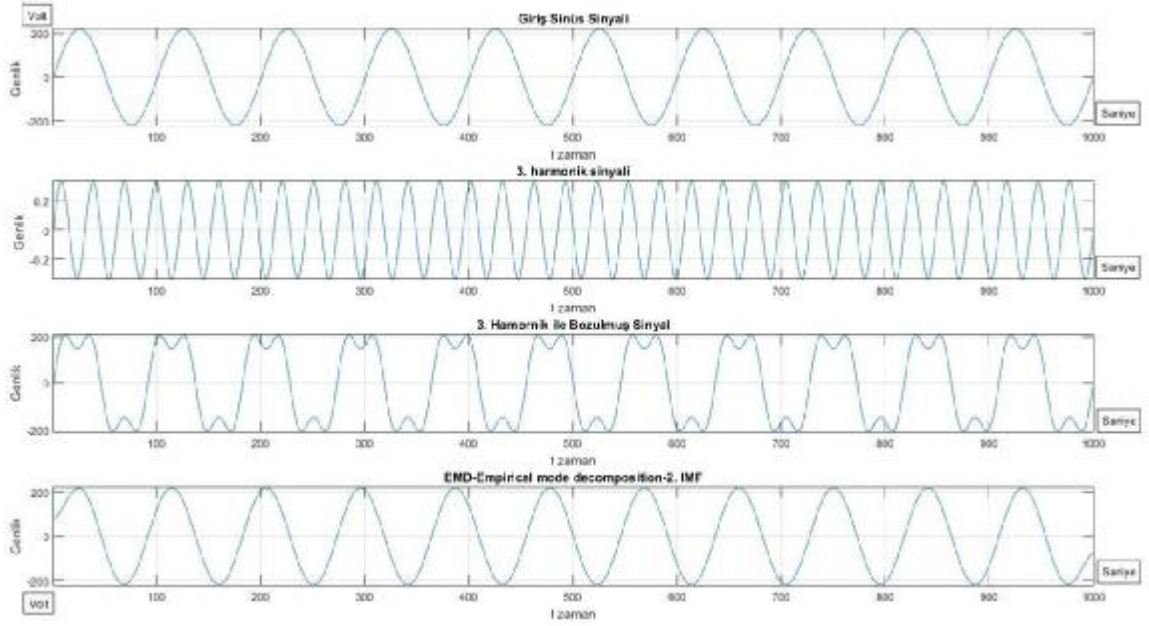


**Şekil 4.14:** 6'dan 9'a kadar elde edilen temel mod fonksiyonları.

Yazılan Matlab kodu ile elde edilen Duffing osilatör verileri emd sistemine uygulanmakta, sonuçlar bir excel dosyasına yazdırılmakta ve bütün temel mod fonksiyonları ayrı sütunlar halinde kayıt altına alınmaktadır. Veriler 1000x9 matris şeklinde excel programında depolanmaktadır. Bu verileri kullanımı sonucunda, ek 8 deki kodlar üzerinden şekil 4.13 ve şekil 4.14'deki sonuçlar elde edilmektedir.

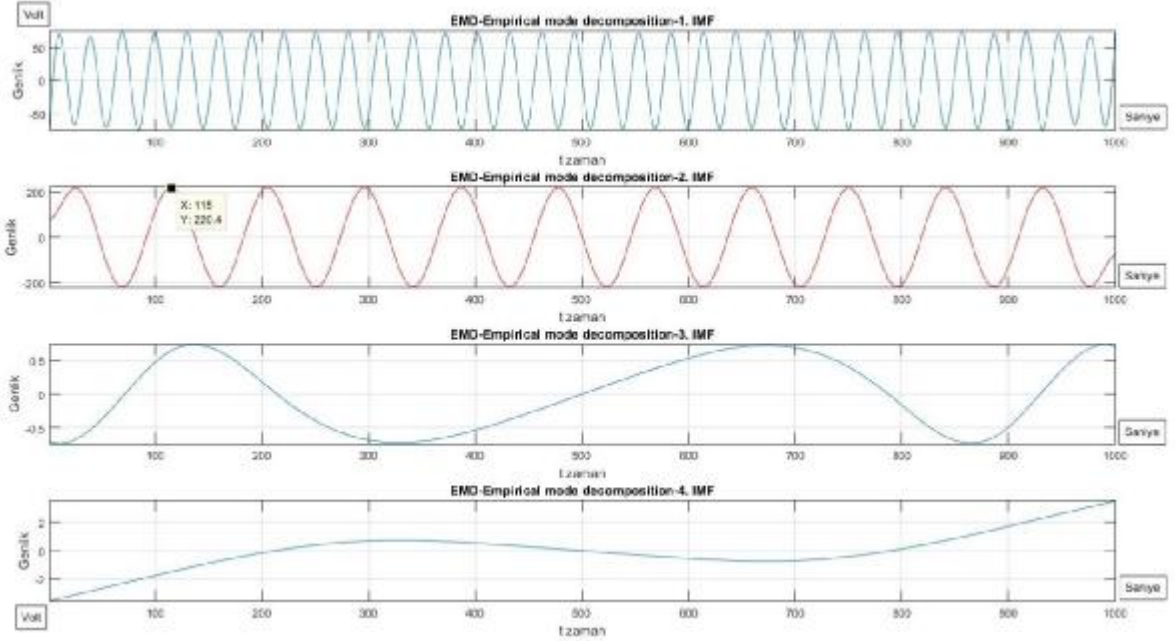
#### 4.2.2. Bozucu Sinyal 'Harmonik' ile EMD Uygulaması

Harmonik ile bozulan şebeke sinyali deneysel mod ayrışım yöntemi ile elde edilmek istenmektedir. Giriş sinyali olarak denklem 4.8'de özellikleri verilen 1000 örnek 10 periyodlu 5.000 Hz sinüs dalgası, bozucu sinyal olarak da üçüncü harmonik bileşeni işleme alınmaktadır. Elde edilen sonuçlar şekil 4.15'de gösterilmiştir.



**Şekil 4.15:** 3. Harmonik ile bozulmuş sinyalin emd ile elde edilmesi.

Deneysel mod ayrışım işlemi sonucunda dört adet temel mod fonksiyonu oluşmaktadır. Şekil 4.16'da bütün temel mod fonksiyonları gösterilmiştir. İkinci temel mod fonksiyonu giriş sinyaline en yakın frekans ve genlik değerlerine sahip olduğundan bu elde edilmek istenen sinyaldir.



**Şekil 4.16:** 1'den 4'e kadar elde edilen temel mod fonksiyonları.

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Tez kapsamında kaçak elektrik kullanımını önlemek veya azaltabilmek amacıyla çeşitli matematiksel yöntemler incelenmiştir. Çalışmanın amaç ve ihtiyacını ortaya çıkarmak için elektrik dağıtım sistemi, kayıp ve kaçak konuları hakkında genel bilgiler verilmiştir. Toplumların gelişmişlik, eğitim ve kültürel yapıları ile yakın ilişkili olan elektriğin kaçak kullanımı problemi vurgulanmıştır. Çözüm yolu olarak matematiksel yöntemler incelenmiştir.

Ülkemizdeki ve gelişmiş ülkelerdeki kayıp-kaçak elektrik oranları karşılaştırıldığında, kaçak elektrik kaybında istenilen seviyede olmadığımız belirtilmiştir. Elektrik üretim ve iletim kayıpları %2-3 oranları için kabul edilebilir seviyeler olarak belirtilmektedir. Kaçak elektrik kayıpları bölgelere göre değişkenlik göstermekle beraber istenilen seviyelerin çok üstündedir. Ülkemizde kaçak elektrik kullanımına karşı cezai işlem uygulanmakta ve teknik olarak önüne geçebilecek bir sistem bulunmamaktadır. Bu durum dikkate alınarak tüketicilerin sayaçtan sonra elektrik kullanımını zorunlu kılmak amaçlanmıştır. Bu sayede sayaç üzerinden harcanan elektrik kayıt altına alınacaktır. Şebeke sinyalinin tüketicilerin kullanamayacağı ölçüde bozulması ve sayaçtan önce elektrik alınması teknik olarak imkansız hale gelebilecektir. Sayaçtan önce kaçak olarak alınan elektrik tüketiciler için kullanılabilir olmayacaktır.

Matematiksel yöntemler olarak bağımsız bileşen analizi ve deneysel mod ayrışımı yöntemleri teorik olarak açıklanmıştır. Bilgisayarda benzetim yoluyla yapılan denemelerde şebeke sinyalinin bozulması ve yeniden uygun yöntemlerin kullanılmasıyla aynı formun korunarak elde edilmesi amaçlanmıştır. Şebeke sinyali lineer ve kaotik sinyaller ile bozulmuş, daha sonra bağımsız bileşen analizi ve deneysel mod ayrışımı yöntemleri ile bozulan bu sinyal yeniden elde edilmiştir. Bozucu sinyal olarak periyodik kare dalga sinyallerinin yanı sıra kaotik ve harmonik sinyaller özellikle dikkate alınmıştır. Kaotik sinyalleri modellemek için Duffing osilatörü kullanılmıştır.. Bu sinyallerin matlab programında simülasyonları yapılmıştır. Elde edilen sinyaller ve matlab kodları detaylı olarak çalışmaya eklenmiştir.

Bağımsız bileşen analizi ve deneysel mod ayrışımı yöntemi ile bozulan şebeke sinyalleri farklı algoritmalar kullanılarak yeniden elde edilmiştir. Bozulan sinyaller iki yöntem ile şebeke sinyaline yakın değerlerde elde edilmiştir. Bu iki yöntemin de özgün matematiksel yöntemler olduğu gösterilmiştir.

Giriş sinyali olarak 5 kHz frekanslı sinüs, bozucu sinyal olarak 2.5 kHz frekanslı kare dalga işleme alınmıştır. Bağımsız bileşen yöntemi Kurtosis ve Negentropy algoritmaları ile 4 döngüde giriş sinyali çok yakın olarak elde edilmiştir.

Giriş sinyali olarak 8.3 kHz frekanslı sinüs, bozucu sinyal olarak 555 Hz frekanslı Duffing sinyali işleme alınmıştır. Bağımsız bileşen yöntemi Kurtosis algoritması 8 döngüde, Negentropy algoritması 12 döngüde giriş sinyalini elde etmiştir. Elde edilen yeni sinyalin geriliminde 10-20 V seviyelerinde bozulmalar izlenmiştir. Temel olarak sinüs sinyali düzgün olarak elde edilmiştir.

Giriş sinyali olarak 5 kHz frekanslı sinüs, bozucu sinyal olarak 3. ve 5. Harmonik sinyalleri ayrı ayrı işleme alınmıştır. Bağımsız bileşen yöntemi ile giriş sinyali çok yakın olarak elde edilmiştir.

Giriş sinyali olarak 16.6 kHz frekanslı sinüs, bozucu sinyal olarak 555 Hz frekanslı Duffing sinyali işleme alınmıştır. Deneysel mod ayrışımı yöntemi ile giriş sinyali yeniden elde edilmiştir. Elde edilen yeni sinyalde frekans değerlerinde bozulmalar izlenmiştir. Temel olarak sinüs sinyali düzgün olarak elde edilmiştir.

Giriş sinyali olarak 5 kHz frekanslı sinüs, bozucu sinyal olarak 3. Harmonik sinyali işleme alınmıştır. Deneysel mod ayrışımı yöntemi ile giriş sinyali çok yakın olarak elde edilmiştir.

Elektriğin bozulması ve yeniden elde edilmesi fikrinin uygulanabilirliği için elektrik üretim, dağıtım ve benzeri birçok alanda sistemlerin yeniden tasarlanması gerekmektedir. Çalışma kapsamında matematiksel olarak özgün yöntemler ile gerekli benzetimler yapılmış, matematiksel altyapı verilmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1]. Enerji piyasası düzenleme kurumu., 2016, *Elektrik piyasası 2015 yılı gelişim raporu*, Strateji geliştirme dairesi başkanlığı, VI-5-43.
- [2]. Pustu, M., 2013, *Transformatörlerde kayıplar*, Güç transformatörleri ve saha testleri, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, Ankara, ISBN: 978-605-01-0500-1, 25-26.
- [3]. Bal, M. 2010, *Yüksek gerilim enerji iletiminde korona kayıpları*, Yüksek lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [4]. Rumeli, A., 1969, İzolatörlerde kirlenme ve atlama problemi, *Elektrik mühendisliği*, 156, 7-9.
- [5]. Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi, 2014, *OECD Ülkelerinde İletim Dağıtım Kayıpları*, <http://www.tedas.gov.tr>, [Ziyaret tarihi: 20 Eylül 2017].
- [6]. Enerji piyasası kanunu, Madde 1. 2013, Kanun numarası 6446. Sayı 28603. Cilt 53.
- [7]. Uğur, M. Cekli, S. Uzunoğlu, C. 2014, Amplitude and frequency detection of power system signals with chaotic distortions using independent component, *Electric power systems research*, ISSN: 0378-7796, 43-49.
- [8]. Alvares, G. Calderon, H. 2017, A comparison of sobi, fastica, jade, and infomax algorithms, *Proceedings of the 8th international multi-conference on complexity, informatics and cybernetics*, Florida, USA, 21.
- [9]. Pamuk, N. 2013, Dinamik sistemlerde kaotik zaman dizilerinin tespiti, *BAÜ fen bilimleri enstitüsü dergisi*, Cilt 15, 77-91.
- [10]. Isham, V. 1992, Discussion on the meeting on chaos, *Journal of royal statistical society*, 54, 2, 451-454.
- [11]. Schneider Elektrik. 2004, *Merlin Gerin Alçak gerilim kompanzasyon çözümleri ve harmonikler*. 4-5.
- [12]. Hyvärinen, A. Oja, E. 2000, Independent Component Analysis, *Algorithms and Applications Neural Networks Research Centre Helsinki University of Technology*, Finland Neural Networks, 16-19.
- [13]. Kim, D. Seok Oh, H. 2009, A package for empirical mode decomposition and Hilbert spectrum, *Contributed research articles, the r journal vol 1/1*, Ankara, ISBN: 2073-4859, 40-42.
- [14]. Kim, D. 2006, *Introduction to empirical mode decomposition with application to scientific data*, 6-12.

- [15]. At Al, H. 1998, The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis, *Proc. R. Soc. London. A., Math. Phys. Eng. Sci.* Vol. 454, no. 1971, 948-991.
- [16]. Rato, R. T., Ortigueira, M. D., and Batista, A., August 2008, G., *Mechanical Systems and Signal Processing*, <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/21409-empirical-mode-decomposition?requestedDomain=www.mathworks.com>, [Ziyaret tarihi: 02 Aralık 2017].
- [17]. Hyvärinen, A. Oja, E. Karhunen, J. 2001, *Independent Component Analysis*, John Wiley, New York. 105-197.
- [18]. Türkiye Elektrik Dağıtım ve Tüketim İstatistikleri, 2015, *2014 yılı OECD ülkeleri elektrik enerji üretim, ithalat, ihracat, kayıplar ve tüketimleri*, <https://teias.gov.tr/tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri/2015>, [Ziyaret tarihi: 20 Eylül 2017].
- [19]. Binous, H., 2007, *Forced duffing oscilator*, <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/16731-forced-duffing-oscillator?focused=5095903&tab=function>, [Ziyaret tarihi: 01 Ekim 2017].

## EKLER

## EK 1. 2014 yılı OECD ülkeleri elektrik enerji üretim, ithalat, ihracat, kayıplar ve tüketimleri [18].

ÜLKELER	COUNTRIES	BRÜT ÜRETİM GROSS GENERATION		İTHALAT IMPORTS	İHRACAT EXPORTS	İÇ TÜKETİM OWN USE	DİĞER TÜKETİM OTHER USE		ARZ SUPPLY	İLETİM-DAĞITIM KAYIPLAR TRANSMISSION/DISTRIBUTION LOSSES		ENERJİ SEKTÖRÜ- ENERGY INDUSTRY*	NET TÜKETİM NET CONSUMPTION
		ÜRETİM GROSS	BRÜT ÜRETİM GROSS				TÜKETİM OTHER USE	TÜKETİM OTHER USE		ENERJİ SEKTÖRÜ- ENERGY INDUSTRY*			
1 AVUSTURALYA	AUSTRALIA	248,30				14,83	6,0	0,6	233,41	11,87	5,1	13,49	208,06
2 AVUSTURYA	AUSTRIA	65,42	26,71	17,44		3,08	4,7	5,47	66,15	3,28	5,0	2,40	60,47
3 BELÇİKA	BELGIUM	72,69	21,79	4,19		2,72	3,7	1,63	85,94	3,88	4,5	1,43	80,63
4 KANADA	CANADA	656,23	12,81	58,42		19,27	2,9	0,21	591,14	58,20	9,8	29,53	503,41
5 ŞİLİ	CHILE	73,72				1,34	1,8		72,38	4,82	6,7	0,69	66,87
6 ÇEK CUMHURİYETİ	CZECH REPUBLIC	88,02	11,84	28,14		6,12	7,1	1,38	62,23	3,85	6,2	2,18	56,20
7 DANİMARKA	DENMARK	32,18	12,70	9,85		1,37	4,3	0,13	33,54	1,97	5,9	0,94	30,63
8 ESTONYA	ESTONIA	12,45	3,73	6,48		1,43	11,5		8,26	0,84	10,2	0,51	6,91
9 FİNLANDYA	FINLAND	68,09	21,62	3,66		2,64	3,9	0,24	83,18	2,77	3,3	1,27	79,14
10 FRANSA	FRANCE	562,78	7,87	75,06		23,36	4,2	7,98	464,25	36,38	7,6	16,28	412,59
11 ALMANYA	GERMANY	627,80	40,44	74,32		35,84	5,7	8,00	550,06	24,16	4,4	13,07	512,84
12 YUNANİSTAN	GREECE	50,47	9,46	0,64		3,77	7,5	0,19	55,33	4,15	7,5	1,69	49,50
13 MACARİSTAN	HUNGARY	29,37	19,08	5,89		2,24	7,6	0,00	40,52	3,63	9,0	1,16	35,72
14 İZLANDA	ICELAND	18,12		0,70		0,45	2,5	0,20	17,48	0,50	2,9	0,52	16,46
15 İRLANDA	IRELAND	26,31	2,85			1,01	3,8	0,50	26,96	2,04	7,6	0,18	24,73
16 İSRAİL	ISRAEL	60,81		4,84		1,99	3,3		53,98	1,74	3,2	0,88	51,36
17 İTALYA	ITALY	279,83	46,75	3,03		10,68	3,8	2,33	310,54	19,45	6,3	9,59	281,50
18 JAPONYA	JAPAN	1,040,68				33,80	3,2	7,94	998,94	45,41	4,5	13,38	940,15
19 KORE	KOREA	550,93				20,93	3,8	6,64	523,36	18,27	3,5	12,21	492,88
20 LÜKSEMBURG	LUXEMBOURG	2,97	6,86	2,07		0,03	1,0	1,50	6,34	0,12	1,9	6,22	6,22
21 MEXİKA	MEXICO	301,50	2,12	2,65		11,45	3,8		289,52	4,32	14,3	4,58	243,64
22 HOLLANDA	NETHERLANDS	103,42	32,88	18,13		4,64	4,5		113,50	4,93	4,3	5,59	102,98
23 YENİ ZEELANDA	NEWZEALAND	43,55				1,31	3,0		42,24	2,85	6,7	0,60	38,80
24 NORVEÇ	NORWAY	142,33	6,35	21,93		0,71	0,5	1,90	124,14	8,59	6,9	7,14	108,41
25 POLONYA	POLAND	159,06	13,51	11,34		13,85	8,7	0,82	146,56	10,25	7,0	10,45	125,86
26 PORTEKİZ	PORTUGAL	52,80	7,25	6,34		1,28	2,4	1,08	51,35	5,21	10,1	0,94	45,20
27 SLOVAKYA	SLOVAK REPUBLIC	27,40	12,86	11,86		2,39	8,7	0,36	26,75	0,67	2,6	0,93	24,16
28 SLOVENYA	SLOVENIA	17,44	7,25	10,00		0,95	5,4	0,36	13,38	0,82	6,1	0,10	12,46
29 İSPANYA	SPAIN	278,75	12,31	15,72		10,37	3,7	5,20	259,77	26,39	10,2	6,41	226,97
30 İSVEÇ	SWEDEN	153,66	13,85	29,48		3,71	2,4	1,96	132,38	7,33	5,5	2,85	122,19
31 İSVİÇRE	SWITZERLAND	71,77	28,53	34,02		1,76	2,5	2,36	62,15	4,70	7,6	1,93	57,46
32 TÜRKİYE	TURKEY	251,96	7,95	2,70		12,51	5,0		244,71	37,33	15,7	7,47	205,44
33 İNGİLTERE	UNITED KINGDOM	338,93	23,24	2,72		16,52	4,9	3,88	339,04	28,01	8,3	7,47	303,56
34 ABD	USA	4,339,21	66,51	13,30		216,82	5,0	26,23	4,149,38	255,32	6,2	106,26	3,787,79
OECD	OECD	10,846,94	479,32	474,72		485,16	4,5	88,55	10,277,83	680,06	6,6	276,62	9,321,15
DÜNYA	WORLD	23,903,35	717,77	690,06		1,258,66	5,3	123,09	22,549,31	1,968,53	8,7	739,75	19,841,03

## EK 2. Türkiye elektrik üretim, tüketim ve kayıpların yıllara göre gelişimi [18].

YILLAR YEARS	BRÜT ÜRETİM GROSS GEN	ARTIŞ % INCREASE	İÇ İHTİYAÇ INTERNAL CONSUMPTION	% NET ÜRETİM NET GEN	İTHALAT IMPORTS	SEBEKEYE VERİLEN <sup>(1)</sup> SUPPLIED TO THE NETWORK <sup>(1)</sup>	LETİM TRANSMISSION	% DAĞITIM DISTRIBUTION	SEBEKE KAYBI		NETWORK LOSSES		% İHRACAT <sup>(2)</sup> EXPORTS <sup>(2)</sup>	NET TÜKETİM NET CONS.	ARTIŞ % INCREASE	
									% İHTİYAÇ CONSUMPTION	% LETİM TRANSMISSION	% DAĞITIM DISTRIBUTION	% TOPLAM TOTAL				% TOPLAM TOTAL
1993	73807,5	9,6	3943,1	5,3	69864,4	212,9	70077,3	1634,9	2,3	8616,7	12,3	10251,6	14,6	588,7	59237,0	9,7
1994	78321,7	6,1	4539,1	5,8	73782,6	31,4	78140,0	1800,3	2,4	10042,7	13,6	11843,0	16,0	570,1	61400,9	3,7
1995	86247,4	10,1	4388,8	5,1	81858,6	0	81858,6	2034,9	2,5	11733,9	14,3	13768,8	16,8	695,9	67393,9	9,8
1996	94861,7	10,0	4777,3	5,0	90084,4	270,1	90354,5	2461,7	2,7	13393,1	14,8	15854,8	17,5	343,1	74156,6	10,0
1997	103295,8	8,9	5050,2	4,9	98245,6	2492,3	100737,9	2935,5	2,9	15646,4	15,5	18581,9	18,4	271,0	81885,0	10,4
1998	111022,4	7,5	5523,2	5,0	105499,2	3298,5	108797,7	3337,1	3,1	17457,8	16,0	20794,9	19,1	298,2	87704,6	7,1
1999	116439,9	4,9	5738,0	4,9	110701,9	2330,3	113032,2	2985,1	2,6	18559,9	16,4	21545,0	19,1	285,3	91201,9	4,0
2000	124921,6	7,3	6224,0	5,0	118697,6	3791,3	122488,9	3181,8	2,6	20574,1	16,8	23755,9	19,4	437,3	98295,7	7,8
2001	122724,7	-1,8	6472,6	5,3	116252,1	4579,4	120831,5	3374,4	2,8	19954,3	16,5	23328,7	19,3	432,8	97070,0	-1,2
2002	129399,5	5,4	5672,7	4,4	123726,8	3588,2	127315,0	3440,7	2,7	20491,2	16,1	23931,9	18,8	435,1	102948,0	6,1
2003	140580,5	8,6	5332,2	3,8	135248,3	1158,0	136406,3	3330,7	2,4	20722,0	15,2	24052,7	17,6	587,6	111766,0	8,6
2004	150698,3	7,2	6487,1	3,7	145065,7	463,5	145529,2	3422,8	2,4	19820,2	13,6	23243,0	16,0	1144,3	121141,9	8,4
2005	161956,2	7,5	6487,1	4,0	155469,1	635,9	156105,0	3695,3	2,4	20348,7	13,0	24044,0	15,4	1798,1	130262,9	7,5
2006	176299,8	8,9	6756,7	3,8	169543,1	573,2	170116,3	4543,8	2,7	19245,4	11,3	23789,2	14,0	2235,7	144091,4	10,6
2007	191558,1	8,7	8218,4	4,3	183397,7	864,3	184204,0	4523,0	2,5	22123,6	12,0	26646,6	14,5	2422,2	155135,2	7,7
2008	198418,0	3,6	8656,1	4,4	189761,9	789,4	190551,3	4388,4	2,3	23093,1	12,1	27481,5	14,4	1122,2	161947,6	4,4
2009	194812,9	-1,8	8193,6	4,2	186619,3	812,0	187431,3	3973,4	2,1	25018,0	13,3	28991,4	15,5	1545,8	156894,1	-3,1
2010	211207,7	8,4	8161,6	3,9	203046,1	1143,8	204189,9	5690,5	2,8	24531,2	12,0	30221,7	14,8	1917,6	172050,6	9,7
2011	229395,1	8,6	11837,4	5,2	217557,7	4555,8	222113,5	4189,3	1,9	28180,1	12,7	32369,4	14,6	3644,6	186099,5	8,2
2012	239496,8	4,4	11789,5	4,9	227707,3	5826,7	233534,0	6024,7	2,6	29632,3	12,7	35657,0	15,3	2963,6	194923,4	4,7
2013	240154,0	0,3	11177,0	4,7	228977,0	7429,4	236406,4	5639,4	2,4	31495,1	13,3	37134,5	15,7	1226,7	198045,2	1,6
2014	251962,8	4,9	12513,9	5,0	239448,8	7953,3	247402,2	6271,2	2,5	31059,9	12,6	37331,1	15,1	2696,0	207375,1	4,7
2015	261783,3	3,9	11883,8	4,5	249899,5	7135,5	257035,0	5338,1	2,1	31190,2	12,1	36528,3	14,2	3194,5	217312,2	4,8



**EK 3. FDO ile elde edilen kaotik sinyal örneğinin matlab kodu.**

Dosya adı: MainDuffing.m

```
close all
clear
clc

global gamma omega epsilon GAM OMEG

gamma=0.1;
omega=1;
epsilon=0.25;
OMEG=2;
GAM=1.5;

[t x]=ode45(@duffing,0:2*pi/OMEG/100:4000,[0 1]);

figure(1)
axis tight
title('time series')
plot(t(2000:6000),x(2000:6000,1));grid on;
```

Dosya adı: duffing.m

```
function xdot=duffing(k,x)

global gamma omega epsilon GAM OMEG

xdot(1)=-gamma*x(1)+omega^2*x(2)-epsilon*x(2)^3+GAM*cos(OMEG*k);
xdot(2)=x(1);

xdot=xdot';

end
```

#### EK 4. Bağımsız bileşen yöntemi ile kaynak sinyalin elde edilmesi matlab kodu-Bozucu sinyal kare dalga osilatörü.

```

% Proje adı:      tez.m
%
% Açıklama:      ICA ile sinyal analizi
%
% Yazar:         Halil Hulusi HOŞGÖR
%                halilhulusihosgor@hotmail.com
%
% Tarih:         26.09.2017

%% ICA Uygulaması
clc
close all
clear

%%%%%% Sabit değerler %%%%%%
rng(42);
n   = 1000;           % örnekleme sayısı
T   = [3, 4];        % sinyallerin periyodu
SNR = 50;            % Sinyal gürültü oranı
d   = 2;             % karışım sinyali sayısı
r   = 2;             % bağımsız bileşen sayısı
TOL = 1e-15;         % koverjans yakınsama sınırı
MAX_ITERS = 100;     % max iterasyon

%%%%%% Giriş sinyali %%%%%%
t   = @(n,T) linspace(0,1,n) * 2 * pi * T;
Ztrue(1,:) = 220*sin(t(n,T(1)));      % Sinusoid
Ztrue(2,:) = 220*sign(sin(t(n,T(2)))); % Square

%%%%%% Gürültülü sinyal %%%%%%
normRows = @(X) bsxfun(@rdivide,X,sum(X,2));
A = normRows(rand(2,2));
Zmixed = A * Ztrue*2;

%%%%%% ICA İŞLEMİ %%%%%%

% Algoritma seçimi (Kurtosis veya Negentropy)
if ~exist('flag','var') || isempty(flag)
    flag = 1;
end
if ~exist('type','var') || isempty(type)
    type = 'kurtosis';
end

if strncmpi(type,'kurtosis',1)
    USE_KURTOSIS = true;
    algoStr = 'kurtosis';
elseif strncmpi(type,'negentropy',1)
    USE_KURTOSIS = false;
    algoStr = 'negentropy';
else
    error('Unsupported type ''%s''',type);
end

```

```

##### MERKEZLEME VE BEYAZLATMA İŞLEMLERİ#####

% Ortalama Hesaplama
mu = mean(Zmixed,2);
% Merkezleme işlemi
Zc = bsxfun(@minus,Zmixed,mu);

% Kovaryans hesaplama
R = cov(Zc');
% Beyazlatma işlemi
[U, S, ~] = svd(R,'econ');
T = U * diag(1 ./ sqrt(diag(S))) * U';
Zcw = T * Zc;

% Satırları birim formda normalize etme
normRows = @(X) bsxfun(@rdivide,X,sqrt(sum(X.^2,2)));

% Perform Fast ICA
if flag
    fmt = sprintf('%0%dd',ceil(log10(MAX_ITERS + 1)));
    str = sprintf('döngü %s: max(1 - |<w%s, w%s>|) =
%.4g\n',fmt,fmt,fmt);
    fprintf('***** Fast ICA (%s) *****\n',algoStr);
end
W = normRows(rand(r,size(Zmixed,1))); % Rastgele başlangıç vektörü
k = 0;
delta = inf;
while delta > TOL && k < MAX_ITERS
    k = k + 1;

    Wlast = W; % Save last weights
    Sk = permute(W * Zcw,[1, 3, 2]);
    if USE_KURTOSIS
        % Kurtosis
        G = 4 * Sk.^3;
        Gp = 12 * Sk.^2;
    else
        % Negentropy
        G = Sk .* exp(-0.5 * Sk.^2);
        Gp = (1 - Sk.^2) .* exp(-0.5 * Sk.^2);
    end
    W = mean(bsxfun(@times,G,permute(Zcw,[3, 1, 2])),3) - ...
        bsxfun(@times,mean(Gp,3),W);
    W = normRows(W);
    [U, S, ~] = svd(W,'econ');
    W = U * diag(1 ./ diag(S)) * U' * W;

    % Yakınsamayı güncelle
    delta = max(1 - abs(dot(W,Wlast,2)));
    if flag
        fprintf(str,k,k,k - 1,delta);
    end
end
if flag
    fprintf('\n');
end

```

```
##### Bağımsız Bileşenler #####
Zica = W * Zcw;
Zfica = 155.4*Zica;

##### Çıktı Sonuçları #####

% Giriş Sinyali
subplot(3,1,1)
plot(Ztrue(1,:))
title('Giriş Sinyali');
grid on;
axis tight;
xlabel('t zaman');
ylabel('Genlik ');

% Gürültülü Bozulmuş Sinyal
subplot(3,1,2)
plot(Zmixed(1,:))
title('Gürültülü Bozulmuş Sinyal');
grid on;
axis tight;
xlabel('t zaman');
ylabel('Genlik');

% ICA ile Elde Edilen Yeni Sinyal
subplot(3,1,3)
plot(Zfica(2,:))
title('ICA ile Elde Edilen Yeni Sinyal');
grid on;
axis tight;
xlabel('t zaman');
ylabel('Genlik');
```

## EK 5. Bağımsız bileşen yöntemi ile kaynak sinyalin elde edilmesi matlab kodu-Bozucu sinyal duffing osilatörü.

```

% Proje adı:      tez_ICA.m
%
% Açıklama:      ICA ile sinyal analizi
%
% Yazar:         Halil Hulusi HOŞGÖR
%                halilhulusihosgor@hotmail.com
%
% Tarih:         26.11.2017

%% ICA Uygulaması
clc
close all
clear

%%%%% Sabit değerler %%%%%
rng(42);
n   = 1000;           % örnekleme sayısı
T   = [3, 5];        % sinyallerin periyodu
SNR = 50;            % Sinyal gürültü oranı
d   = 2;              % karışım sinyali sayısı
r   = 2;              % bağımsız bileşen sayısı
TOL = 1e-14;         % koverjans yakınsama sınırı
MAX_ITERS = 100;     % max iterasyon

%%%%% Duffing sinyali parametre değerleri %%%%%
global gamma omega epsilon GAM OMEG
gamma=0.1;
omega=1;
epsilon=0.25;
OMEG=2;
GAM=1.5;

%%%%% Duffing sinyali %%%%%
[p m]=ode45(@duffing,0:2*pi/OMEG/10:4000,[0 1]);

%%%%% Giriş sinyali %%%%%
t = @(n,T) linspace(0,1,n) * 2 * pi * T;
Ztrue(1,:) = 220*sin(t(n,T(1)));           % Sinusoid
Ztrue(2,:)=150*m(2000:2999,1);           % Duffing

%%%%% Gürültülü sinyal %%%%%
normRows = @(X) bsxfun(@rdivide,X,sum(X,2));
A = normRows(rand(2,2));
Zmixed = A * Ztrue;

%%%%% ICA İŞLEMİ %%%%%

% Algoritma seçimi (Kurtosis veya Negentropy)
if ~exist('flag','var') || isempty(flag)
    flag = 1;
end
if ~exist('type','var') || isempty(type)
    type = 'kurtosis';

```

```

end

if strcmpi(type, 'kurtosis', 1)
    USE_KURTOSIS = true;
    algoStr = 'kurtosis';
elseif strcmpi(type, 'negentropy', 1)
    USE_KURTOSIS = false;
    algoStr = 'negentropy';
else
    error('Unsupported type ''%s'', type);
end

%%%%% MERKEZLEME VE BEYAZLATMA İŞLEMLERİ%%%%%

% Ortalama Hesaplama
mu = mean(Zmixed, 2);
% Merkezleme işlemi
Zc = bsxfun(@minus, Zmixed, mu);

% Kovaryans hesaplama
R = cov(Zc');
% Beyazlatma işlemi
[U, S, ~] = svd(R, 'econ');
T = U * diag(1 ./ sqrt(diag(S))) * U';
Zcw = T * Zc;

% Satırları birim formda normalize etme
normRows = @(X) bsxfun(@rdivide, X, sqrt(sum(X.^2, 2)));

% Perform Fast ICA
if flag
    fmt = sprintf('%0%dd', ceil(log10(MAX_ITERS + 1)));
    str = sprintf('Iter %s: max(1 - |<w%s, w%s>|) = %.4g\\n', fmt, fmt, fmt);
    fprintf('***** Fast ICA (%s) *****\\n', algoStr);
end
W = normRows(rand(r, size(Zmixed, 1))); % Rastgele başlangıç vektörü
k = 0;
delta = inf;
while delta > TOL && k < MAX_ITERS
    k = k + 1;

    Wlast = W; % Save last weights
    Sk = permute(W * Zcw, [1, 3, 2]);
    if USE_KURTOSIS
        % Kurtosis
        G = 4 * Sk.^3;
        Gp = 12 * Sk.^2;
    else
        % Negentropy
        G = Sk .* exp(-0.5 * Sk.^2);
        Gp = (1 - Sk.^2) .* exp(-0.5 * Sk.^2);
    end
    delta = mean(bsxfun(@times, G, permute(Zcw, [3, 1, 2])), 3) - ...
        bsxfun(@times, mean(Gp, 3), W);
    W = normRows(W);
    [U, S, ~] = svd(W, 'econ');
    W = U * diag(1 ./ diag(S)) * U' * W;
end

```

```

    % Yakınsamayı güncelle
    delta = max(1 - abs(dot(W,Wlast,2)));
    if flag
        fprintf(str,k,k,k - 1,delta);
    end
end
if flag
    fprintf('\n');
end

%%%%%% Bağımsız Bileşenler %%%%%%
Zica = W * Zcw;
Zfica = 150*Zica;

%%%%%% Çıktı Sonuçları %%%%%%

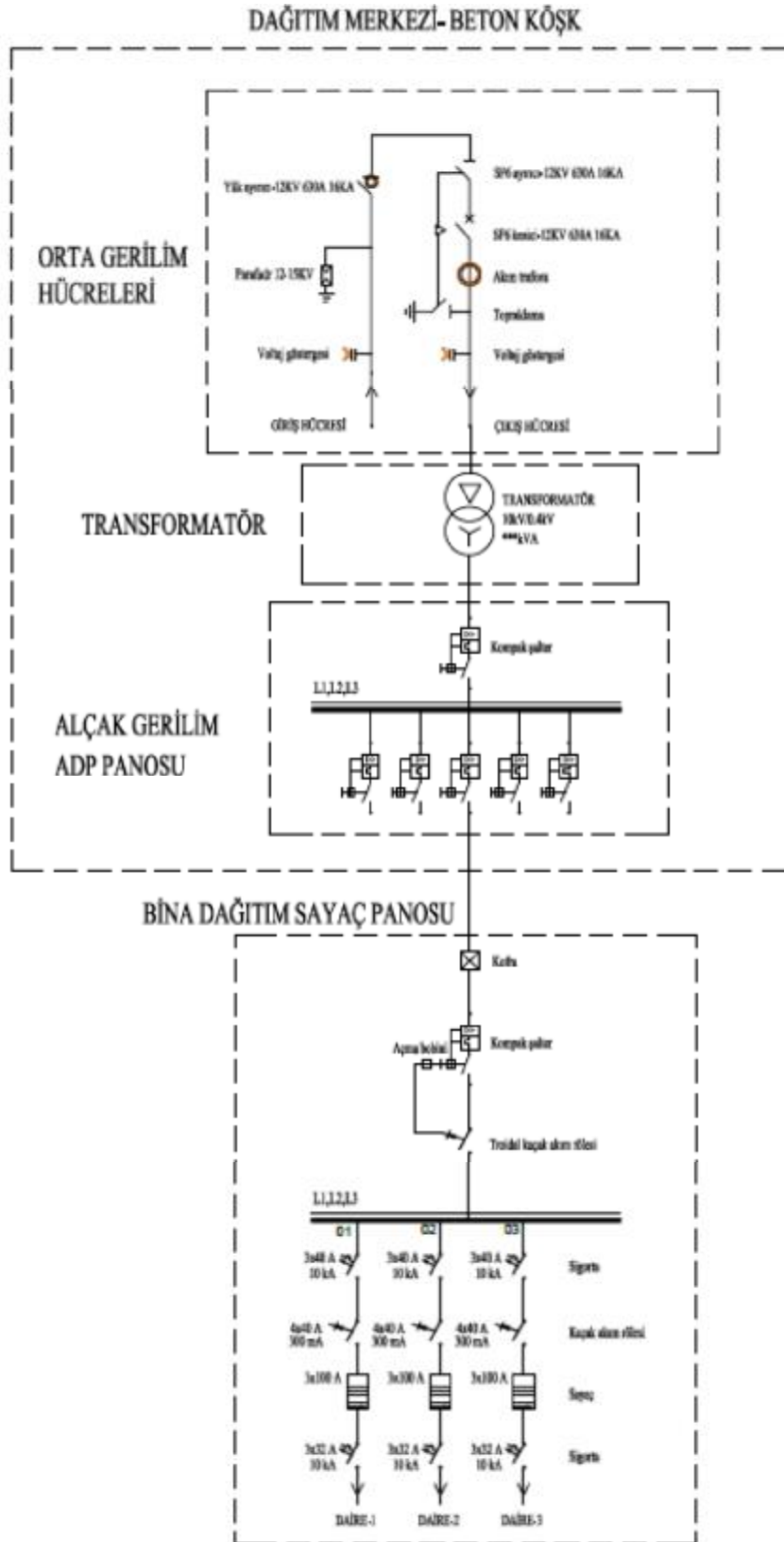
% Giriş Sinyali
subplot(3,1,1)
plot(Ztrue(1,:))
title('Giriş Sinyali');
grid on;
axis tight;
xlabel('t zaman');
ylabel('Genlik ');

% Gürültülü Bozulmuş Sinyal
subplot(3,1,2)
plot(Zmixed(1,:))
title('Gürültülü Bozulmuş Sinyal');
grid on;
axis tight;
xlabel('t zaman');
ylabel('Genlik');

% ICA ile Elde Edilen Yeni Sinyal
subplot(3,1,3)
plot(Zfica(2,:))
title('ICA ile Elde Edilen Yeni Sinyal');
grid on;
axis tight;
xlabel('t zaman');
ylabel('Genlik');

```

## EK 6. Elektrik dağıtım sistemi tek hat şeması.





## EK 7. Deneysel mod ayrıştırma yöntemi matlab kodu.

```

function rParabEmd = rParabEmd__L (x, qResol, qResid, qAlfa)
dbstop if warning
if(nargin~=4), error('rParabEmd__L: Use with 4 inputs. '), end
if(nargout>1), error('rParabEmd__L: Use with just one output. '), end
ArgCheck_s(x, qResol, qResid, qAlfa)
kc = x(:);
Wx= kc'*kc;
quntN = length(kc);
rParabEmd= rParabEmdCnt= 0;
qDbResid= 0;
quntOscCnt= quntNOsc_s(kc);
while ((qDbResid<qResid) && (quntOscCnt>2) )
    kImf = kc;
    rPMOri= rGetPMaxs_s(kImf);
    rPmOri= rGetPmins_s(kImf);
    rPM= rPMaxExtrapol_s(rPMOri, rPmOri, quntN);
    rPm= rPMinExtrapol_s(rPMOri, rPmOri, quntN);
    quntLM= length(rPM);    quntLm= length(rPm);
    if (abs(quntLM-quntLm)>2), disp('Debug: Max-Min count mismatch. '),end;
    if(sum(abs(diff(sign(rPM(1:min(quntLM,quntLm),1))-
rPm(1:min(quntLM,quntLm),1))))>0)
        disp('Debug: Max-Min sequence mismatch. ');
    end
    if(sum(abs(diff(sign(rPm(1:min(quntLM,quntLm),1))-
rPM(1:min(quntLM,quntLm),1))))>0)
        disp('Debug: Max-Min reverse sequence mismatch. ');
    end
    bTenv= spline(rPM(:,1), rPM(:,2), 1:quntN);
    bDenv= spline(rPm(:,1), rPm(:,2), 1:quntN)
    bBias= (bTenv+bDenv)/2;
    while true(1)
        WImf= kImf'*kImf;
        WBias= bBias*bBias';
        if WBias*WImf<0 , warning('rParabEmd__L: Ooops, negative energy
detected. '), end
        if WBias> 0, DbqResol= 10*log10(WImf/WBias); else DbqResol= Inf;
    end
    if (DbqResol>qResol), break, end
    kImf = kImf- qAlfa*bBias';
    rPMOri= rGetPMaxs_s(kImf);
    rPmOri= rGetPmins_s(kImf);
    rPM= rPMaxExtrapol_s(rPMOri, rPmOri, quntN);
    rPm= rPMinExtrapol_s(rPMOri, rPmOri, quntN);
    bTenv= spline(rPM(:,1), rPM(:,2), 1:quntN);
    bDenv= spline(rPm(:,1), rPm(:,2), 1:quntN);
    bBias= (bTenv+bDenv)/2;
end
kc = kc - kImf;
quntOscCnt= quntNOsc_s(kc);
rParabEmdCnt=rParabEmdCnt+1;
if (kc'*kc)>0
    qDbResid= 10*log10(Wx/(kc'*kc));
else
    qDbResid = Inf
end
end
end

```

```

if ((kc'*kc)/Wx)>(10^-12)
    rParabEmd=[rParabEmd; kc'];
    rParabEmdCnt=rParabEmdCnt+1;
    NumOscqResiduais= quntNOsc_s(kc);
end
rParabEmd= rParabEmd';
end
function ArgCheck_s(x, qResol, qResid, qAlfa)
[qL, qC] = size(x);
if ((qL*qC)~= max(qL,qC)), error('rParabEmd__L: Input signal must be a one
dim vector. '), end
if ((qL*qC)<= 1), error('rParabEmd__L: Input signal must be a vector. '),
end
[qL,qC] = size(qResol);
if ( ~(qL==1)&(qC==1)) , error('rParabEmd__L: Input resolution must be a
scalar. '), end
if ( qResol<=0 ), error('rParabEmd__L: Input resolution must strictly
positive. '), end
[qL,qC] = size(qResid);
if ( ~(qL==1)&(qC==1)) , error('rParabEmd__L: Input residual must be a
scalar. '), end
if ( qResid<=0 ), error('rParabEmd__L: Input residual must strictly
positive. '), end
[qL,qC] = size(qAlfa);
if ( ~(qL==1)&(qC==1)) , error('rParabEmd__L: qAlfa step must be a
scalar. '), end
if ( qAlfa<=0 ), error('rParabEmd__L: qAlfa step must be strictly
positive. '), end
end
function quntNOsc = quntNOsc_s (x)
y=0;    qisTop= false; qisDown= false;
for i=2:(length(x)-1)
    if( ((x(i-1)) < (x(i))) && ((x(i+1))< (x(i))) )
        y=y+1;
    end
    if( ((x(i-1)) > (x(i))) && ((x(i+1))> (x(i))) )
        y=y+1;
    end
    if( ((x(i-1)) < (x(i))) && ((x(i+1))==(x(i))) )
        qisTop= true; qisDown= false;
    end
    if( ((x(i-1)) == (x(i))) && ((x(i+1))< (x(i))) )
        if qisTop;    y=y+1; end;
        qisTop= false;
    end
    if( ((x(i-1)) > (x(i))) && ((x(i+1))==(x(i))) )
        qisTop= false; qisDown= true;
    end
    if( ((x(i-1)) == (x(i))) && ((x(i+1))> (x(i))) )
        if qisDown; y=y+1; end
        qisDown=false;
    end
end
quntNOsc= y;
end
function rPMaxExtrapol= rPMaxExtrapol_s(rPM, rPm, quntL)
rPM= sortrows(rPM);
rPm= sortrows(rPm);
kTopTiml= rPM(:,1); kTopVal= rPM(:,2);

```

```

kDwnTiml= rPm(:,1); kDwnVal= rPm(:,2);
if ( (kTopTiml(1)== 1) && (kDwnTiml(1)== 1) )
    disp ('rPMaxExtrapol_s: Poliextrema at signal''s start');
elseif ( (kTopTiml(1)<1) || (kDwnTiml(1)< 1) )
    disp ('rPMaxExtrapol_s: Invalid extrema at signal''s start');
else
    kTopTiml=[2-kDwnTiml(1); kTopTiml];
    kTopVal=[kTopVal(1); kTopVal];
end
if ( (kTopTiml(end)== quntL) && (kDwnTiml(end)== quntL) )
    disp ('rPMaxExtrapol_s: Poliextrema at signal''s end');
elseif ( (kTopTiml(end)> quntL) || (kDwnTiml(end)> quntL) )
    disp ('rPMaxExtrapol_s: Invalid extrema at signal''s end');
else
    kTopTiml=[kTopTiml; (2*quntL - kDwnTiml(end))];
    kTopVal=[ kTopVal; kTopVal(end)];
end
rPMaxExtrapol= sortrows([kTopTiml, kTopVal]);
end
function rPMinExtrapol= rPMinExtrapol_s(rPM, rPm, quntL)
rPM= sortrows(rPM);
rPm= sortrows(rPm);
kTopTiml= rPM(:,1); kTopVal= rPM(:,2);
kDwnTiml= rPm(:,1); kDwnVal= rPm(:,2);
if ( (kTopTiml(1)== 1) && (kDwnTiml(1)== 1) )
    disp ('rPMinExtrapol_s: Poliextrema at signal''s start');
elseif ( (kTopTiml(1)<1) || (kDwnTiml(1)< 1) )
    disp ('rPMinExtrapol_s: Invalid extrema at signal''s start');
else
    kDwnTiml=[2-kTopTiml(1); kDwnTiml];
    kDwnVal=[kDwnVal(1); kDwnVal];
end
if ( (kTopTiml(end)== quntL) && (kDwnTiml(end)== quntL) )
    disp ('rPMinExtrapol_s: Poliextrema at signal''s end');
elseif ( (kTopTiml(end)> quntL) || (kDwnTiml(end)> quntL) )
    disp ('rPMinExtrapol_s: Invalid extrema at signal''s end');
else
    kDwnTiml=[kDwnTiml; (2*quntL - kTopTiml(end))];
    kDwnVal=[ kDwnVal; kDwnVal(end)];
end
rPMinExtrapol= sortrows([kDwnTiml, kDwnVal]);
end
function rPMax= rGetPMaxs_s(aS)
kS= aS(:);
quntLenS=length(kS);
quntMaxCnt=0;
kSMNdx1= []; kSMVal=[];
kSPMTiml= []; kSPMVal=[];
if (quntLenS>2)
    for Cnt=2:(quntLenS-1)
        if ( ((kS(Cnt) > kS(Cnt+1))) && ((kS(Cnt) >= kS(Cnt-1))) ) ||
            ((kS(Cnt) >= kS(Cnt+1))) && ((kS(Cnt) > kS(Cnt-1))) )
            quntMaxCnt=quntMaxCnt+1;
            kSMNdx1= [kSMNdx1; Cnt]; kSMVal=[kSMVal; kS(Cnt)];
        end
    end
end
oldxv= -Inf; oldyv= -Inf;

```

```

intGapMax= max(kS)-min(kS);
for jj=1:quntMaxCnt
    ya= kS(kSMNdx1(jj)-1);
    yb= kS(kSMNdx1(jj));
    yc= kS(kSMNdx1(jj)+1);
    D= (-4*yb+2*ya+2*yc);
    if (D==0), xv= kSMNdx1(jj);
    else xv= kSMNdx1(jj)+(ya-yc)/D; end;
    D= (-16*yb+ 8*ya+ 8*yc);
    if (D==0), yv= yb;
    else yv= yb+ (2*yc*ya- ya*ya- yc*yc)/D; end;
    if ( (xv==oldxv) || (abs(yv-oldyv)/abs(xv-oldxv)) > (2*intGapMax) )
        xv= (xv+ oldxv)/2; yv= max(yv,oldyv);
        kSPMTim1(length(kSPMTim1))= xv; kSPMVal(length(kSPMVal))= yv;
    else
        kSPMTim1= [kSPMTim1; xv]; kSPMVal=[kSPMVal; yv];
    end
    oldxv= xv; oldyv= yv;
end
if quntMaxCnt>0
    if ( kS(1) >= kSPMVal(1) )
        kSPMTim1= [1; kSPMTim1]; kSPMVal=[kS(1); kSPMVal ]; end
    if ( kS(end) >= kSPMVal(end))
        kSPMTim1= [kSPMTim1; quntLenS]; kSPMVal=[kSPMVal; kS(end)];
end
end
if quntMaxCnt==0
    if ( kS(1) > kS(2) )
        kSPMTim1= [1; kSPMTim1]; kSPMVal=[kS(1); kSPMVal
end
    if ( kS(end) > kS(end-1))
        kSPMTim1= [kSPMTim1; quntLenS]; kSPMVal=[kSPMVal; kS(end)];
    end
end
if quntMaxCnt<0
    error('rGetPMaxs_s: Invalid MaxCnt value');
end
rPMax= sortrows([kSPMTim1, kSPMVal]);
end
function rPMin= rGetPMin_s(aS)
kS= aS(:);
quntLenS=length(kS);
quntMinCnt=0;
kSMNdx1= []; kSMVal=[];
kSPMTim1= []; kSPMVal=[];
if (quntLenS>2)
    for Cnt=2:(quntLenS-1)
        if ( ((kS(Cnt) < kS(Cnt+1))) && ((kS(Cnt) <= kS(Cnt-1))) ||
((kS(Cnt) <= kS(Cnt+1))) && ((kS(Cnt) < kS(Cnt-1))) )
            quntMinCnt=quntMinCnt+1;
            kSMNdx1= [kSMNdx1; Cnt]; kSMVal=[kSMVal; kS(Cnt)];
        end
    end
end
oldxv= -Inf; oldyv= -Inf;
intGapMax= max(kS)-min(kS);
for jj=1:quntMinCnt
    ya= kS(kSMNdx1(jj)-1);

```

```

yb= kS(kSMNdx1(jj));
yc= kS(kSMNdx1(jj)+1);
D= (-4*yb+2*ya+2*yc);
if (D==0), xv= kSMNdx1(jj);
else xv= kSMNdx1(jj)+(ya-yc)/D; end;
D= (-16*yb+ 8*ya+ 8*yc);
if (D==0), yv= yb;
else yv= yb+ (2*yc*ya- ya*ya- yc*yc)/D; end;
if ( (xv==oldxv) || (abs(yv-oldyv)/abs(xv-oldxv)) > (2*intGapMax) )
    xv= (xv+ oldxv)/2; yv= min(yv,oldyv);
    kSPMTim1(length(kSPMTim1))= xv; kSPMVal(length(kSPMVal))= yv;
else
    kSPMTim1= [kSPMTim1; xv]; kSPMVal=[kSPMVal; yv];
end
oldxv= xv; oldyv= yv;
end
if quntMinCnt>0
    if ( kS(1) <= kSPMVal(1) )
        kSPMTim1= [1; kSPMTim1]; kSPMVal=[kS(1); kSPMVal
    end
    if ( kS(end) <= kSPMVal(end))
        kSPMTim1= [kSPMTim1; quntLenS]; kSPMVal=[kSPMVal; kS(end)];
    end
end
if quntMinCnt==0
    if ( kS(1) < kS(2) )
        kSPMTim1= [1; kSPMTim1]; kSPMVal=[kS(1); kSPMVal];
    end
    if ( kS(end) < kS(end-1))
        kSPMTim1= [kSPMTim1; quntLenS]; kSPMVal=[kSPMVal; kS(end)];
    end
end
if quntMinCnt<0
    error('rGetPmins_s: Invalid MinCnt value');
end
rPMin= sortrows([kSPMTim1, kSPMVal]);
end

```

## EK 8. Deneysel mod ayrıştırma yöntemi temel mod fonksiyonlarının grafik gösterimi.

```

% Empirical mode decomposition
% IMF1
filename = 'duffing.xlsx';
sheet = 1;
IMF1 = 'A1:A1000';
subset1 = xlsread(filename,sheet,IMF1);
subset1_1=3.9*subset1;

subplot(5,1,1)
plot(subset1_1)
title('EMD-Empirical mode decomposition-1. IMF');
grid on;
axis tight;
xlabel('t zaman');
ylabel('Genlik');

% IMF2
filename = 'duffing.xlsx';
sheet = 1;
IMF2 = 'B1:B1000';
subset2 = xlsread(filename,sheet,IMF2);
subset2_2=3.9*subset2;

subplot(5,1,2)
plot(subset2_2)
title('EMD-Empirical mode decomposition-2. IMF');
grid on;
axis tight;
xlabel('t zaman');
ylabel('Genlik');

% IMF3
filename = 'duffing.xlsx';
sheet = 1;
IMF3 = 'C1:C1000';
subset3 = xlsread(filename,sheet,IMF3);
subset3_3=3.9*subset3;

subplot(5,1,3)
plot(subset3_3)
title('EMD-Empirical mode decomposition-3. IMF');
grid on;
axis tight;
xlabel('t zaman');
ylabel('Genlik');

```

## ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Halil Hulusi HOŞGÖR
Doğum Yeri	İstanbul
Doğum Tarihi	15.11.1987
Uyruğu	İ T.C. r Diğer:
Telefon	0536 280 82 49
E-Posta Adresi	<a href="mailto:halilhulusihosgor@hotmail.com">halilhulusihosgor@hotmail.com</a>
Web Adresi	

Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Erciyes Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Elektrik Elektronik Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2010

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı