

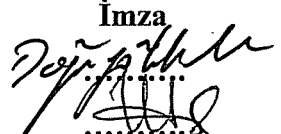
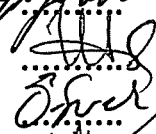
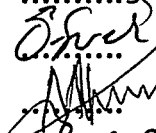


**BİR GÜÇ KALİTESİ PROBLEMİ OLAN  
KIRPIŞMANIN HİLBERT-HUANG  
DÖNÜŞÜMÜ KULLANILARAK BELİRLENMESİ  
VE KISA DÖNEM ŞİDDETİNİN HESAPLANMASI**

Yasemin ÖNAL  
Doktora Tezi

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı  
Eylül-2011

## JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Yasemin Önal'ın "Bir Güç Kalitesi Problemi Olan Kırışmanın Hilbert-Huang Dönüşümü Kullanılarak Belirlenmesi ve Kısa Dönem Şiddetinin Hesaplanması" başlıklı Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalındaki, Doktora tezi 09.09.2011 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı Soyadı	İmza
Üye( Tez Danışmanı ):	Prof. Dr. DOĞAN GÖKHAN ECE	
Üye	: Prof. Dr. ALAADDİN ŞAMILOV	
Üye	: Prof. Dr. ÖMER NEZİH GEREK	
Üye	: Doç. Dr. MEHMET KURBAN	
Üye	: Yard. Doç. Dr. N. SERDAR TUNABOYLU	

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

## ÖZET

**Doktora Tezi**

### **BİR GÜÇ KALİTESİ PROBLEMİ OLAN KIRPIŞMANIN HİLBERT-HUANG DÖNÜŞÜMÜ KULLANILARAK BELİRLENMESİ VE KISA DÖNEM ŞİDDETİNİN HESAPLANMASI**

**Yasemin ÖNAL**

**Anadolu Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Doğan Gökhan ECE  
2011, 115 Sayfa**

Kısa dönem kırpışma şiddeti (short term flicker severity-Pst), IEC standartlarında güç kalitesinin önemli ve geçerli bir endeksidir. Pst'nin doğru bir biçimde hesaplanması güç kalitesinin izlenmesinde önemli bir yoldur. Bu çalışmada, kırpışma değeri Pst'yi hesaplamaya yönelik yeni bir kırpışma ölçer (flickermeter) önerilmiştir. Önerilen yöntemde, kırpışma kestirim yöntemi olarak Hilbert-Huang Dönüşümüne (HHT) dayalı bir algoritma uygulanmıştır. Bu yöntemde, gerilim sinyali Görgül Kip Ayrışımı (Empirical Mode Decomposition-EMD) ve Öz Kip İşlevleri (Intrinsic Mode Function-IMF) bileşenlerine ayrıştırılmaktadır. Bu bileşenler gerilim kırpışmasının genliğinin ve frekansının hesaplanmasında kullanılmaktadır. Kırpışma değeri olan Pst ise bu genlik ve frekansın doğrusal olmayan bir fonksiyonu olduğundan istatistiksel yöntemler kullanılarak hesaplanmaktadır. Ayrıca IEC kırpışma ölçerin sayısal uyarlamasından elde edilen sonuçlar ile HHT'den elde edilen sonuçlar karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırmalar yöntemin gerilim kırpışmasının tespitinde ve Pst'nin hesaplanmasında başarılı sonuçlar verdiğini göstermektedir. HHT yönteminin sinüsoidal dalgaşeklinin zarfındaki değişimleri belirleyebilmesi nedeniyle, HHT yönteminin kırpışmaları bulmada ve Pst'nin hesaplanmasında verimli olduğu öngörülmüş ve deneysel olarak gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Hilbert-Huang Dönüşümü (HHT), Görgül Kip Ayrışımı (EMD), Kısa Dönem Kırpışma Şiddeti (Pst), Güç Kalitesi, Gerilim Kırpışması

## **ABSTRACT**

**PhD Dissertation**

### **DETECTION OF A POWER QUALITY PROBLEM OF FLICKER USING HILBERT-HUANG TRANSFORM AND SHORT TERM SEVERITY CALCULATION**

**Yasemin ÖNAL**

**Anadolu University  
Graduate School of Sciences  
Electrical and Electronics Engineering Program**

**Supervisor: Prof. Dr. Doğan Gökhan ECE  
2011, 115 pages**

Short term flicker severity (Pst) is an important measure of a power quality problem of flicker and it is defined in the power quality standards of IEC. Calculation of Pst is an accurate way of monitoring the flicker severity. In this work, a novel flickermeter is proposed to estimate the flicker value and Pst. In the proposed method, an algorithm based on Hilbert-Huang Transform (HHT) is applied to obtain the flicker severity. In this method, voltage signal is decomposed into Empirical Mode Decomposition (EMD) and Intrinsic Mode Function (IMF) components. These components are used in the calculation of the frequency and amplitude of voltage flicker. Flicker value Pst, which is a nonlinear function of this amplitude and frequency is calculated by using statistical methods. The results obtained from digital realization of the IEC flickermeter are compared with the results obtained from propose method of HHT. The comparison shows that the proposed method is very successful in estimating voltage flicker and in calculating Pst. It was observed and experimentally verified that the HHT method which can detect the variations in the envelope of the sinusoidal waveform is an efficient way of detecting flicker and calculating Pst.

**Keywords:** Hilbert-Huang Transformation (HHT), Empirical Mode Decomposition (EMD), Short Term Flicker Severity (Pst), Power Quality, Voltage Flicker

## TEŞEKKÜR

Tez alıőması sűresince öneri ve desteęini esirgemeyen danıőman sayın hocam Prof.Dr. Doęan Gökhan ECE'ye teőekkűrű bir borç bilirim.

Çalıőmalarım ile ilgili bilgilerini ve önerilerini paylaőan katkılarıyla beni yűnlendiren tez izleme komitesinde yer alan deęerli hocalarım Prof.Dr. Alaaddin ŐAMILOV'a, Prof.Dr. Őmer Nezih GEREK'e ve Doç.Dr. Mehmet KURBAN'a teőekkűr ederim.

Bana her konuda destek olan, her zaman yanımda olan ablama, çalıőmalarım sűresince hiçbir zaman maddi manevi desteęini esirgemeyen, sabır ve anlayıő gösteren eőim Metehan ŐNAL'a űzellikle teőekkűr ederim. Arkadaőım Abide Banu GŪNDŪZ'e her tűrlű desteęinden ve yardımından dolayı teőekkűr ederim.

Biricik oğlum Hakan Selçuk ÖNAL'a ithaf olunur.

Yasemin ÖNAL

09.09.2011

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	iii
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	iv
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	viii
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	xi
<b>SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	xiii
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
1.1. Yapılan Çalışmalar .....	4
1.2. Amaç ve Katkı .....	8
1.3. Çalışmanın İçeriği .....	10
<b>2. ELEKTRİK SİSTEMLERİNDE GÜÇ KALİTESİ</b> .....	12
2.1. Güç Kalitesi Bozucularının Çeşitleri.....	14
2.2. Güç Kalitesi Problemlerinin Özellikleri .....	15
2.2.1. Geçici dalgalanma.....	17
2.2.2. Kısa süreli değişimler .....	19
2.2.3. Uzun süreli değişimler .....	21
2.2.4. Dalga şeklinde bozulmalar .....	22
2.2.5. Gerilim dengesizliği.....	25
2.2.6. Frekans değişimleri.....	26
2.3. Gerilim Kırışması .....	26
2.3.1. Gerilim kırışmasının sebepleri.....	28
2.3.2. Gerilim kırışmasının kaynakları .....	30
2.3.3. Gerilim kırışmasının etkileri.....	31
2.4. Kırışma Değerlendirme Yöntemleri .....	33
2.4.1. IEEE kırışma standartları .....	34
2.4.2. IEC kırışma standartları .....	36
2.5. IEC Standartlarına Göre Kırışmanın Değerlendirilmesi.....	37
2.5.1. Kırışma ölçer .....	37

2.5.2. Simülasyon yöntemi.....	37
2.5.3. $P_{st}=1$ Eğrisinin kullanılması .....	37
2.5.4. Analitik yöntem .....	38
<b>3. KIRPIŞMA ÖLÇER</b>	<b>39</b>
3.1. IEC 61000-4-15 Kırpışma Ölçerin Yapısı .....	39
3.1.1. Giriş gerilim adaptörü ve kalibrasyon kontrol devresi .....	41
3.1.2. Kare çoklayıcıli demodülatör .....	42
3.1.3. Ağırlıklandırma filtreleri.....	43
3.1.4. Kare alma çoklayıcısı ve kayan ortalama filtresi.....	44
3.1.5. Hatta doğrudan bağıli istatistiksel analiz .....	46
3.1.6. Kısa dönem kırpişma değerlendirmesi $P_{st}$ .....	47
3.1.7. Uzun dönem kırpişma değerlendirmesi $P_{lt}$ .....	50
3.2. Kırpişma Denklemi .....	50
3.3. Kırpişma Ölçer Performans Testi.....	53
3.4. Kırpişma Ölçer Lineerlik Testi .....	53
3.5. Kırpişma Ölçer Homojenlik Testi .....	54
<b>4. HİLBERT-HUANG DÖNÜŞÜMÜ</b>	<b>55</b>
4.1. Görgüli Kip Ayrışımı .....	55
4.2. Hilbert Dönüşümü .....	61
4.3. Önerilen Algoritmada Gerilim Kırpişmasının Matematiksel Modeli ....	63
4.3.1. Tek kırpişma frekanslı sinyal denklemi .....	63
4.3.2. Çoklu kırpişma frekanslı sinyal denklemi.....	65
4.3.3. Önerilen algoritma ile kısa dönem kırpişma şiddetinin hesaplanması.....	67
4.3.4. Harmonik içeren tek kırpişma frekanslı sinyal denklemi .....	68
<b>5. GELENEKSEL KIRPIŞMA ÖLÇERİN VE HİLBERT-HUANG DÖNÜŞÜMÜ TABANLI ÖNERİLEN ALGORİTMANIN SİMÜLASYON SONUÇLARI</b>	<b>70</b>
5.1. Geleneksel Kırpişma Ölçer Tepkileri.....	71

5.1.1. Sinüs biçimli gerilim dalgalanmaları için kırpışma ölçerin tepkisi .....	71
5.1.2. Kare biçimli gerilim dalgalanmaları için kırpışma ölçerin tepkisi .....	73
5.2. Geleneksel Kırpışma Ölçerin Performans Testi.....	75
5.3. Geleneksel Kırpışma Ölçerin Lineerlik Testi .....	75
5.4. Geleneksel Kırpışma Ölçerin Homojenlik Testi.....	76
5.5. Geleneksel Kırpışma Ölçere Farklı Frekanslarda ve Farklı Bağlı Genliklerde Modüle Edilmiş Giriş Sinyallerinin Uygulanması .	76
5.5.1. Kare biçimli dalga ile modüle edilmiş giriş sinyallerinin uygulanması.....	76
5.5.2. Sinüs biçimli dalga ile modüle edilmiş giriş sinyallerinin uygulanması.....	77
5.6. Farklı Frekans ve Farklı Genlikteki İki Sinyalin Toplamından Elde Edilen Sinyalin HHT Kullanılarak Analizi .....	79
5.7. Güç Kalitesi Bozukluklarının HHT Kullanılarak Analizi .....	82
5.7.1. Gerilim çökmesi olan sinyalin analizi.....	82
5.7.2. Gerilim yükselmesi olan sinyalin analizi .....	83
5.7.3. Harmonikli giriş sinyalinin analizi .....	85
5.8. Tek Kırpışma Frekansı İçeren Gerilim Sinyalinin Önerilen Algoritma Kullanılarak Analizi.....	87
5.8.1. Tekli kırpışma frekansı içeren gerilim sinyalinde kırpışma frekansının ve genliğinin HHT ile elde edilmesi .....	87
5.8.2. Kırpışma frekansının ve genliğinin elde edilmesinde HHT yönteminin ve SD yönteminin karşılaştırılması .....	90
5.8.3. Tekli kırpışma frekansı içeren gerilim sinyalinde kısa dönem kırpışma şiddetinin önerilen algoritma ile elde edilmesi .....	92
5.8.4. Kısa dönem kırpışma şiddetinin elde edilmesinde önerilen algoritmanın ve SD yönteminin karşılaştırılması .....	94
5.9. Çoklu Kırpışma Frekansı İçeren Gerilim Sinyalinin Önerilen Algoritma Kullanılarak Analizi .....	97



5.9.1. Çoklu kırpışma frekansı içeren gerilim sinyalinde kırpışma frekanslarının ve genliklerinin HHT ile elde edilmesi .....	97
5.9.2. Çoklu kırpışma frekansı içeren gerilim sinyalinde kısa dönem kırpışma şiddetinin önerilen algoritma ile elde edilmesi ...	100
5.10. Harmonik İçeren Gerilim Sinyalinin Önerilen Algoritma Kullanılarak Analizi .....	101
5.10.1. Harmonik içeren gerilim sinyalinde kırpışma frekansının ve genliğinin HHT ile elde edilmesi.....	101
5.10.2. Harmonik içeren gerilim sinyalinde kısa dönem kırpışma şiddetinin önerilen algoritma ile elde edilmesi .....	103
5.11. Önerilen Algoritmanın Homojenliği .....	104
<b>6. SONUÇLAR</b>	<b>105</b>
<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>107</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

2.1.	Gerilim genlik ve süresine göre güç kalitesinin sınıflandırılması .....	15
2.2.	Yıldırım etkisi akımı ile oluşan dalgalanma .....	17
2.3.	Kondansatör anahtarlama sonucu oluşan salınımlar .....	18
2.4.	Arıza sonucu oluşan kısa süreli kesinti .....	19
2.5.	Tek faz- toprak arızası sonucu oluşan gerilim çökmesi .....	20
2.6.	Tek faz- toprak arızası sonucu oluşan anlık gerilim yükselmesi .....	20
2.7.	ASD giriş akımı için akım dalga şekli ve harmonik spektrumu .....	22
2.8.	Konvertörün çalışması sonucu oluşan gerilim çentiği örneği .....	24
2.9.	Yerleşim besleyicisi için gerilim dengesizliği .....	25
2.10.	Ark fırınının sebep olduğu gerilim kırışması .....	26
2.11.	Gerilim kırışmalarının sınıflandırılması .....	28
2.12.	(a) Kaynak şebekesinin faz başına eşdeğer devresi (b) $E \geq V_0$ Direnç bobin yükü için faz diyagramı .....	29
2.13.	Reaktif güç değişimleri ve ark fırınının bağlantı noktasında oluşan gerilim kırışmaları .....	31
2.14.	Kaynak makinesinin çalışması sırasındaki güç sistemi gerilim kırışması .....	31
2.15.	Bir akkor lambanın ışık akısı üzerindeki gerilim değişiminin etkisi .....	33
2.16.	Kırışma eğrisi .....	35
3.1.	IEC kırışma ölçerin fonksiyon şeması .....	40
3.2.	Blok 1 çıkışında elde edilen sinyal .....	42
3.3.	Blok 2 çıkışında elde edilen sinyal .....	42
3.4.	230V/50Hz'lik sistemde kare biçimli gerilim dalgalanması için kırışma ölçer filtrelerinin genlik cevapları .....	44
3.5.	Zaman eksenindeki bir sinyalin 7 sınıf için sınıflandırılması .....	47
3.6.	Gözlem süresi T için Şekil 3.1'deki sinyalin %CPF'si .....	48
3.7.	Harmonik ortalama ile sınıf gösterimi .....	49
3.8.	Sinüoidal biçimli gerilim dalgalanması .....	51
3.9.	Kare biçimli gerilim dalgalanması .....	52
4.1.	Test datası .....	56

4.2.	Yerel maksimum ve yerel minimum olarak tanımlanan alt ve üst zarflar, alt ve üst zarfların ortalama değeri $m_1$ .....	57
4.3.	Data ve $h_1$ .....	58
4.4.	(a)Zarflar ve ortalama $h_1$ (b) Zarflar ve ortalama $h_2$ .....	59
4.5.	12 adım sonrasında elde edilen ilk IMF bileşeni $c_1$ .....	60
4.6.	Orjinal data ve artık sinyal $r_1$ .....	61
4.7.	Hilbert-Huang Dönüşümü algoritması .....	62
4.8.	Önerilen $P_{st}$ algoritması .....	69
5.1.	Sinüs biçimli gerilim dalgalanmaları için IFL eğrisi .....	71
5.2.	Sinüs biçimli gerilim dalgalanmaları için IFL hata eğrisi (%) .....	71
5.3.	Kare biçimli gerilim dalgalanmaları için IFL eğrisi.....	73
5.4.	Kare biçimli gerilim dalgalanmaları için IFL hata eğrisi(%) .....	73
5.5.	Kare biçimli gerilim dalgalanmaları için elde edilen $P_{st}$ ve $P_{lt}$ değeri.....	77
5.6.	Sinüs biçimli gerilim dalgalanmaları için elde edilen $P_{st}$ ve $P_{lt}$ değeri .....	79
5.7.	Farklı frekans ve farklı genlikteki iki sinyalin toplamından elde edilen giriş sinyali.....	79
5.8.	Farklı frekans ve farklı genlikteki iki sinyalden elde edilen IMF'ler .....	80
5.9.	Farklı frekans ve farklı genlikteki iki sinyalden HHT'sinden elde edilen (a)genlikler ve (b)frekanslar.....	81
5.10.	Gerilim çökmesi olan sinyal .....	82
5.11.	Gerilim çökmesi olan sinyalden elde edilen IMF'ler.....	82
5.12.	Gerilim çökmesi olan sinyalin HHT'sinden elde edilen (a) genlik ve (b)frekans sinyali .....	83
5.13.	Gerilim yükselmesi olan sinyal.....	84
5.14.	Gerilim yükselmesi olan sinyalden elde edilen IMF'ler .....	84
5.15.	Gerilim yükselmesi olan sinyalin HHT'sinden elde edilen (a) genlik ve (b)frekans sinyali .....	85
5.16.	Harmonikli giriş sinyali.....	85
5.17.	Harmonikli giriş sinyalinden EMD kullanılarak elde edilen IMF'ler.....	86
5.18.	Harmonikli sinyalden HHT kullanılarak elde edilen (a) genlikler ve (b)frekanslar .....	87
5.19.	Tek kırpışma frekansı içeren gerilim sinyali .....	87

5.20.	Tek kırpışma frekansı içeren gerilim sinyalinde EMD sonucu elde edilen IMF.....	88
5.21.	Tek frekans bileşenli kırpışmanın (a) genlik sinyali, (b) frekans sinyali.....	89
5.22.	Uygulanan değerler ile HHT ve SD'den elde edilen değerlerin karşılaştırılması .....	92
5.23.	Tek kırpışma frekanslı gerilim sinyali için (a) kırpışma genlik hatası, (b) Pst hatası.....	94
5.24.	Simülasyon sonuçlarının IFL hatası(%) kıyaslamaları .....	96
5.25.	Simülasyon sonuçlarının $P_{st}$ hatası(%) kıyaslamaları .....	96
5.26.	İkili kırpışma frekansı içeren gerilim sinyali.....	97
5.27.	İkili kırpışma frekansı içeren gerilim sinyalinde EMD sonucu elde edilen IMF'ler .....	98
5.28.	İki frekans bileşenli kırpışmanın 1. ve 2. genlik sinyalleri.....	98
5.29.	İki frekans bileşenli kırpışmanın 1. ve 2. frekans sinyalleri, .....	99
5.30.	Tek kırpışma frekansı ile modüle edilmiş harmonik içeren gerilim sinyali.....	101
5.31.	Harmonik içeren gerilim sinyalinde elde edilen IMF .....	101
5.32.	Kırpışmanın (a) genlik sinyali, (b) frekans sinyali.....	102

## ÇİZELGELER DİZİNİ

2.1.	IEEE 1159 standardında tanımlanan elektrik güç kalitesi problemlerinin sınıflandırılması .....	16
2.2.	Güç kalitesi problemleri .....	27
2.3.	MV, HV, ve EHV güç sistemlerinde $P_{st}$ ve $P_{lt}$ için planlanan seviyeler .....	34
2.4.	LV ve MV güç sistemlerinde $P_{st}$ ve $P_{lt}$ için uygunluk seviyeleri .....	34
2.5.	Değerlendirme yöntemleri .....	37
3.1.	Beyan giriş gerilimlerinin aralıkları .....	41
3.2.	Lambaların parametreleri için gösterim değerleri .....	43
3.3.	Sinüs biçimli gerilim dalgalanmaları için kırpışma ölçer tepkileri .....	45
3.4.	Kare biçimli gerilim dalgalanmaları için kırpışma ölçer tepkileri .....	45
3.5.	Aralık seçici değerleri ile algılama seviyeleri arasındaki ilişki .....	46
3.6.	Kırpışma ölçerin performans test değerleri .....	53
3.7.	Kırpışma ölçerin lineerlik test değerleri .....	53
3.8.	Kırpışma ölçerin homojenlik test değerleri .....	54
5.1.	Sinüs biçimli gerilim dalgalanmaları için kırpışma ölçer tepkisi .....	72
5.2.	Kare biçimli gerilim dalgalanmaları için kırpışma ölçer tepkisi .....	74
5.3.	230V/50Hz'lik sistem için $P_{st}$ değerlendirme sonuçları.....	75
5.4.	Kırpışma ölçerin lineerlik test sonuçları.....	75
5.5.	Kırpışma ölçerin homojenlik test sonuçları.....	76
5.6.	12 tane kare biçimli dalga ile modüle edilmiş giriş sinyali sonucunda ölçülen $P_{st}$ ve $P_{lt}$ değeri .....	77
5.7.	12 tane sinüs biçimli dalga ile modüle edilmiş giriş sinyali sonucunda ölçülen $P_{st}$ ve $P_{lt}$ değeri .....	78
5.8.	Farklı frekans ve farklı genlikteki iki sinyalden ölçülen genlik ve frekans değerleri.....	81
5.9.	Tek frekans bileşenli kırpışma sinyalinin genliği ve frekansı .....	89
5.10.	Tek frekans bileşenli $m_i=0.02$ p.u. olan kırpışma için sonuçlar .....	89
5.11.	Tek frekans bileşenli $m_i=0.06$ p.u. olan kırpışma için sonuçlar .....	90
5.12.	Tek frekans bileşenli $m_i=0.1$ p.u. olan kırpışma için sonuçlar .....	90

5.13.	HHT ve SD yöntemleri ile elde edilen kırpışma genlikleri ve frekansları .....	91
5.14.	Kırpışma frekansları ve gerilim dalgalanma değerleri .....	93
5.15.	IFL değeri için simülasyon sonuçlarının kıyaslanması .....	95
5.16.	$P_{st}$ değeri için simülasyon sonuçlarının kıyaslanması .....	95
5.17.	İki frekans bileşenli kırpışma sinyalinin genlikleri ve frekansları .....	99
5.18.	İkili kırpışma frekanslı gerilim sinyali için ayarlanan değerler .....	100
5.19.	İkili kırpışma frekanslı gerilim sinyali için sonuçlar .....	100
5.20.	İkili kırpışma frekanslı gerilim sinyali için $P_{st}$ .....	100
5.21.	Kırpışma sinyalinin genliği ve frekansı .....	103
5.22.	Kırpışma sinyalinin genliği, frekansı ve $P_{st}$ değeri .....	103
5.23.	Önerilen algoritmanın homojenliği .....	104

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

$a_j(t)$	: Anlık genlik
$A_0$	: Taşıyıcı sinyal genliği
$A_i$	: i.ninci harmonik bileşenin genliği
$c_j(t)$	: j'ninci ölçekteki öz kip işlevi
$d(t)$	: Bağlı gerilim değişim karakteristiği
$E$	: Kaynak gerilimi
$f_0$	: Taşıyıcı sinyal frekansı
$f_i$	: i.kırpışma frekansı
$F$	: Şekil faktörü
$I_0$	: Yük akımı
$k_i$	: i'ninci ağırlıklandırma katsayısı
$l_k$	: k. sinyal seviyesi
$l_{min}$	: minimum anlık kırpışma seviyesi
$l_{max}$	: maximum anlık kırpışma seviyesi
$m(t)$	: Ortalama zarf
$m_i$	: i.kırpışma genliği
$m_i f_0$	: i'ninci harmonik bileşenin frekansı
$n$	: Ölçek sayısı
$N$	: CPF'nin noktalarının sayısı
$p(l)$	: T zamanının bir periyodunu aşan l sinyal seviyesinin birikimli olasılığı
$P$	: Aktif güç
$P.V.$	: Cauchy prensip değerini
$P_{sti}$	: Kısa dönem kırpışma şiddetinin arka arkaya okunan değeri
$P_{xi}$	: Gözlem periyodunun % $x_i$ 'sini aşan birikimli olasılık fonksiyonu eğrisi seviyesi

$r_n$	: Yinelemeler sonunda geriye kalan artık sinyal
$R_s$	: Hattın eşdeğer direnci
SD	: İki başarılı eleme işlemi arasındaki farkın karelerinin toplamı
$S_{zw}$	: Yük bağlantı noktasındaki kısa devre gücü
$t_f$	: Kırpışma izlenim süresi
$t_k$	: k. sınıfa karşılık gelen en düşük limiti aşan sinyal süresi
$T_u$	: Uzun aralık
$T_k$	: Kısa aralık
$T_p$	: Gözlem uzunluğu
Q	: Reaktif güç
$u(t)$	: Giriş sinyalinin üst zarfı
$x(t)$	: Analiz edilen sinyal
$X_s$	: Hattın eşdeğer reaktansı
$v(t)$	: Giriş sinyalinin alt zarfı
$V_0$	: Yük tarafındaki gerilim
$\Delta V$	: Gerilim değişimi
$\Delta V / V$	: Bağıl gerilim değişimi
$y_j(t)$	: $c_j(t)$ 'ye hilbert dönüşümü uygulandıktan sonraki veri serisi
$z_j(t)$	: Analitik sinyal
$Z_s$	: Hattın eşdeğer empedansı
$\omega_j(t)$	: Açısal frekans
$\phi_0$	: Taşıyıcı sinyalin başlangıç faz açısı
$\phi_i$	: i.kırpışma sinyalinin başlangıç faz açısı



## KISALTMALAR

AM	:Genlik Modülasyonu (Am)
CPF	:Birikimli Olasılık Fonksiyonu (Cumulative Probability Function)
%CPF	:% Birikimli Olasılık Fonksiyonu (% Cumulative Probability Function)
CWT	:Sürekli Dalgacık Dönüşümü(Continuous Wavelet Transform )
DFT	:Kesikli Fourier Dönüşümü (Discrete Fourier Transform)
EHV	:Çok Yüksek Gerilim(Extra High Voltage)
EMD	:Görgül Kip Ayrışımı (Emprical Mode Decomposition)
FFT	:Hızlı Fourier Dönüşümü (Fast Fourier Transform)
FM	:Frekans Modülasyonu
HHT	:Hilbert-Huang Dönüşümü (Hilbert-Huang Transform )
HT	:Hilbert Dönüşümü (Hilbert Transform )
HV	:Yüksek Gerilim(High Voltage)
IEC	:Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (International Electrotechnical Commission)
IEEE	:Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (Institute of Electrical and Electronics Engineers)
IFL	:Anlık Kırpışma Seviyesi IFL (Instantaneous flicker level )
IMF	:Öz Kip İşlevleri(Intrinsic Mode Function )
KF	:Kalman Filtresi (Kalman filter )
LAV	:En Küçük Mutlak Değer (Least Absolute Value )
LV	:Düşük Gerilim(Low Voltage)
MV	:Orta Gerilim(Medium Voltage)
$P_{lt}$	:Uzun dönem kırpışma şiddet faktörü (long term flicker severity)
$P_{st}$	:Kısa dönem kırpışma şiddeti (short term flicker severity index $P_{st}$ )
PQ	:Güç Kalitesi (Power Quality)
SD	:Kare Demodülasyonu (Square Demodulation)
TEO	:Teager Enerji Operatorü (Teager Energy Operator)
VSD	:Değişken Hız Kontrol Cihazları (Variable Speed Drives)
WT	:Dalgacık Dönüşümü(Wavelet Transform )

## 1. GİRİŞ

Teknolojik bakımdan geliştirilen eski cihazlar ve yeni üretilen cihazlar tüketicilere kolaylık ve verim açısından büyük kazançlar sağlasalar da bunların çoğu beslendikleri elektrik şebekelerini elektriksel bakımdan farklı oranlarda ciddi biçimde kirletmektedirler. Güç sistemi arızaları ve dinamik durumlarla karşılaştığında veya doğrusal olmayan yüklerin etkisinde kaldığında gerilim dalga şekilleri genellikle saf sinüs şeklinden uzaklaşmaktadır. Bunun sonucunda tüketicilere sağlanan elektrik enerjisinde kalitesizlikler oluşmaktadır. Sağlanan enerjinin kalitesinin artırılması ve bunu sağlayacak çözüm önerileri için, öncelikle meydana gelen kalitesizliklerin sebepleri bulunmalı, bunların oluştuğu zamanlar tespit edilmeli ve elde edilen veriler ışığında çeşitli sınıflandırmalar yapılmalıdır [1].

Enerji piyasasının giderek serbestleşmesi ve beraberinde ortaya çıkan rekabet, endüstriyel, ticari ve yerleşim bölgelerindeki kullanıcıların hassas elektronik cihazları kullanmaya başlaması kaliteli güç talebini arttırmaktadır. Bu talebin artmasının temel sebepleri şu şekilde sıralanmaktadır [2].

- İlgili işletmelerin rekabet ortamındaki güçlerini arttırmalarında ekonomik bir gereklilik olması: Güç kaynağının sürekliliğinin kaybolması ve tedarik edilen enerjideki kalitesizlik problemlerine bağlı olarak maliyetlerin artması, elektrik enerjisi kullanan işletmeleri zor durumda bırakmaktadır. Üretim kayıpları, büyük üretim tesislerinin kesinti sonunda yeniden üretime başlatılması, üretilen ürünlerdeki kalitesizlik ve dağıtımdaki gecikmeler hesaba katıldığında, kesinti maliyetleri üreticiler açısından ciddi boyutlara ulaşmaktadır. Ayrıca; bilgisayar, aydınlatma ve güvenlik sistemleri gibi hayati önem taşıyan ve bir o kadar da değerli cihazlarda yaşanan arızalar, bu cihazların ani kapanmaları ya da düzensiz çalışmaları, insan hayatını da tehlikeye atmaktadır. Hastaneler, havaalanı aydınlatma sistemleri ve yüksek binalar, hayati risklere örnek olarak verilebilir. Ayrıca olası sorunların tahmin edilmesi için hedeflenen yüksek kalitede koruyucu bakım önlemleri de maliyetlere dahildir. Yerinde bakım sağlanabilmesi için, sorumluluk giderek kullanıcıdan cihaz üreticisine geçmektedir. Sonuç olarak

cihaz üreticisi ile elektrik dağıtıcısı, sağlanan enerjide meydana gelen herhangi bir bozukluk yüzünden karşı karşıya gelebilmektedir.

- Gerilim kesintilerine yol açan cihazlarla birlikte gerilim kesintisine karşı hassas cihazların yaygın kullanımı: Sağladıkları sayısız avantaj (kullanım esnekliği, mükemmel verim, yüksek performans seviyeleri vb.) nedeniyle endüstriyel alanda otomasyon sistemleri ile hız kontrol cihazları kullanılmaktadır. Ayrıca hizmet sektörü ile yerel sektörlerde de bilişim sistemleri ve kompakt floresan aydınlatma sistemleri geliştirilip yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bu tip cihazlar, hem gerilim bozulmalarına karşı hassastır hem de bu bozulmaların birçoğunu kendileri tetiklemektedir. Farklı uygulamalarda bu tip cihazların birkaçının beraber kullanılması sonucunda, süreklilik ve kalite anlamında yüksek performanslı enerji kaynaklarına ve dağıtım hatlarına gereksinim duyulmaktadır. Zincirin sadece tek bir halkasının bile geçici bir süreyle devre dışı kalması, tüm üretim tesislerinin veya hizmetlerin durmasına sebep olabilmektedir.

- Elektrik piyasasının giderek serbestleşmesi: Türkiye için şimdilik tam olarak geçerli olmasa da Avrupa ülkeleri ve Amerika'da elektrik üretimi ve dağıtımını rekabete açılmış, tekelcilik ortadan kalkmaya başlamış ve bunun sonucunda, kullanıcıya kendi tedarikçisini seçebilme imkanı sunulmuştur. Bu uygulamalar sonucunda kullanılan enerjideki kalite, ayrıcalık faktörü olarak ortaya konmuş ve kullanıcıların enerji tedarikçisi ararken başvurduğu potansiyel bir seçim kriteri haline gelmeye başlamaktadır [2].

Güç kalitesi sorunlarını çözmek için elektrik enerjisinin üretim noktasından tüketim noktasına kadar üzerinde önemle durulması gerekmektedir. Ülkemizde ve dünyada elektrik enerjisinin kalitesini ve verimliliğini artırmak için çok sayıda çalışma yapılmaktadır.

Güç kalitesi problemlerini ve etkilerini azaltmak için uluslararası kuruluşlar (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu-IEC ve Elektrik-Elektronik Mühendisleri Enstitüsü-IEEE) tarafından çeşitli harmonik standartları tanımlanmıştır [3].

Güç kalitesi problemlerine neden olan elektromanyetik olayların kategorileri ve tipik karakteristikleri IEEE 1159 standardında tanımlanmaktadır. Bu standartlarda güç kalitesi bozuklukları geçici olaylar (kısa süreli darbe ve salınım), kısa süreli gerilim değişimleri (kesinti, çökme ve yükselme), uzun süreli

gerilim değişimleri (uzun süreli kesinti, gerilim çökmesi ve gerilim yükselmesi), gerilim dengesizliği, dalga şekli bozulmaları (Doğru akım bileşeni, harmonik, ara harmonik, çentik ve gürültü), gerilim kırpışması ve şebeke frekans değişimleri olarak ana başlıklar altında sınıflandırılmaktadır [4]. IEC ve IEEE standartları kırpışma ölçümleri için yöntemler önermekte ve kırpışma ölçerin (flickermeter) fonksiyon ve tasarım özelliklerini tanımlamaktadır [5]. IEC ve IEEE standartlarında önerilen yöntem, giriş gerilim sinyalinin karesinin alındığı “Kare Demodülasyonu (square demodulation-SD)” olarak isimlendirilen yöntemdir [6].

Güç kalitesi problemlerinden olan gerilim dalgalanmalarının en önemli belirtisi ışık kaynaklarında görülen gerilim kırpışmasıdır. Gerilim kırpışması Avrupa Birliği EN61000-3-3 standartına göre parlaklık ve spektral dağılımının zamanla dalgalandığı bir ışık uyarımının göz duyusu üzerindeki kararsız etkisi olarak tanımlanmaktadır. Gerilim kırpışması, kısa süreli ve uzun süreli olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Gerilim kırpışmasının karakteristiği, yükün tipine ve boyutuna göre değişiklik göstermektedir [7]. Yapılan araştırmalarda insan gözünün, 0.5Hz ile 25Hz frekans bandındaki gerilim kırpışmalarına hassasiyeti tespit edilmiştir. Bu nedenle uygulamada gerilim kırpışması veya sadece kırpışma 0.5Hz ile 25Hz arasındaki gerilim dalgalanmalarının, elektrik ışık kaynağında oluşturduğu gözle hissedilebilen değişimler olarak adlandırılmaktadır [8].

Kırpışma diğer güç kalitesi sorunlarından frekans ve genlik gibi özellikleri ile ayrılmaktadır. Ancak kırpışmanın ilginç olmasının nedeni insan ile ilişkisidir. Genel olarak güç kalitesi sorunları güç sistemine bağlı olan cihazlarla ilgilidir. Ancak kırpışma için bu durum geçerli değildir. Bir güç sisteminde kırpışma varsa o güç sistemine bağlı olan aydınlatma aygıtlarının kullanıldığı ortamlarda bulunan insanlar etkilenmektedir.

Kırpışmanın insan üzerindeki etkisi birçok parametreye bağlıdır. Bu parametrelere göre rahatsızlık miktarı artabilmekte veya azalabilmektedir. Kırpışmanın insan üzerindeki etkisi kırpışmadan etkilenen insanlara, bu insanların buldukları ortama veya yaptıkları işlere göre değişmektedir. Örneğin sürekli gözle kontrole dayanan bir işi yapan insanın kırpışmalardan etkilenme miktarı beden gücüne dayanan bir işi yapan insanın etkilenme miktarından fazla olmaktadır. Kırpışmanın insan üzerinde yaptığı etkinin sonuçları da

değişmektedir. Evlerde veya ofislerde kırpışma etkisi sonucu performans düşüklüğü oluşurken tehlikeli işlerin yapıldığı sanayi kuruluşlarında önemli kazaların oluşmasına neden olacak dikkat dağılmaları gözlenebilir. Örneğin bir fabrikadaki vinç operatörünün dikkatinin dağılması büyük maddi ve manevi kayıplı kazalara neden olabilmektedir [9].

Genellikle kırpışma için temel değerlendirme değişkeni olarak kısa dönem kırpışma şiddeti (short term flicker severity index- $P_{st}$ ) kullanılmaktadır. Ancak  $P_{st}$  değerinin nasıl elde edileceği konusunda farklı yöntemler geliştirilmiştir.  $P_{st}$ 'nin elde edilmesinde kullanılan temel yöntem  $P_{st} = 1$  eğrisidir. Ancak bu eğride farklı kurumlar tarafından farklı olarak verilmektedir [10].

$P_{st}$  IEC standartlarında güç kalitesinin önemli ve geçerli bir endeksidir.  $P_{st}$ 'nin doğru bir biçimde hesaplanması güç kalitesinin izlenmesinde bir yoldur. Gerilim kırpışmasının frekansı ve genliği doğru bir şekilde elde ettikten sonra kırpışma ile ilgili parametreler kolaylıkla hesaplanabilmektedir.  $P_{st}$ 'yi belirlemek için IEC standartlarında önerilen kırpışma ölçer iki temel parçaya ayrılmaktadır. İlk parça, Anlık Kırpışma Seviyesi (Instantaneous Flicker Level-IFL) olarak bilinen kırpışma hassasiyeti için gerilim genlik dalgalanmaları ile ilgili lamba-göz-beyin zincirinin elektriksel modelini gerçekleştirmektedir. İkinci parça IFL'nin istatistiksel değerlendirilmesinden oluşmaktadır [11].

$P_{st}$ 'nin bilinmesi yeterli değildir. Hangi  $P_{st}$  değerlerinin kabul edilebilir olup olmadığı da bilinmesi gerekmektedir. Bunun için kırpışma sınır değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Kırpışma şiddetinin kabul edilebilir sınırın üstüne çıkması durumunda bu sorunun giderilmesi gerekir. Bunun için birçok yöntem mevcuttur. Ancak bu yöntemlerinde ne kadar etkin olduklarını anlamak için kırpışmayı anlamak gerekmektedir.

### **1.1. Yapılan Çalışmalar**

Kırpışma olayı, enerji şebekelerinin ilk ortaya çıktığı dönemden beri bilinmekte ve yüklerin sayısındaki artış ve enerji tüketimindeki yükselme paralelinde gittikçe artan bir önem kazanmaktadır. Gerilim kırpışmasını ölçmek oldukça güçtür ve ilave algılama elemanları içermektedir. Güç sistem mühendisleri her yerde alternatif gerilim yerine doğru gerilim kullanılan

durumlarda kırpışmanın varlığından bahsetmektedirler [1]. Düşük frekanslı lambalar kırpışmaya neden olmakta ve bu durumdan dolayı kuzey amerikada yüksek frekans (60Hz) kullanılmaktadır. Yine de elektrik sistemi lineer olmayan yükler tarafından zayıflatılmaktadır. Bu durum lambalarda kırpışma ile sonuçlanmaktadır.

Kırpışma analizinin özü gerilim sinyalinin zarfını belirlemektir. Belirledikten sonra kırpışma ile ilgili parametreler kolaylıkla hesaplanabilmektedir. IEC ve IEEE standartları kırpışma zarfının belirlenmesi ve  $P_{st}$ 'yi hesaplanması için yöntemler önermektedir [5,6].

Gerilim kırpışmasını ölçmek için olan geleneksel yöntemlerde rms strip-grafikleri ve kırpışma ölçer kullanılmaktadır [6]. RMS strip-grafiği rms ölçeri, güç saykılını ve [3,12]'deki standartlar tarafından tanımlanan kırpışma eğrilerini kullanan basit bir tekniktir. Bu yöntemin avantajı verinin elde edilmesinin kolay olmasıdır. Dezavantajı ise frekans bileşeninin çıkarılmasında hatalı ve yetersiz olmasıdır [1].

IEC prosedürleri, IEC metodolojisinin faydalarını göstermek için mevcut olan IEEE kırpışma standartları ile bağlantılıdır. IEC kırpışma ölçerin avantajı çoklu kırpışma frekanslarını otomatik olarak birleştirmesidir ve kırpışma ölçerin gösteriminde Hızlı Fourier Dönüşümü (Fast Fourier Transform-FFT) kullanmasıdır. Kırpışma ölçer gerilim kırpışmasını ölçmek için çok kapsamlı bir yaklaşımdır [10]. Temelde lamba-göz-beyin cevabına dayanan kırpışma ölçer üç kısımdan oluşmaktadır. Bunlar bir tane demodülatör, ağırlıklandırma filtreleri ve istatistiksel işlemcilerdir. Gerilim kırpışmasının ölçülmesinin ve kırpışma limitlerinin önerilen pratiklerini veren IEEE standartları [10]'da ve [13]'de verilmektedir. Literatürde farklı kırpışma ölçerler ve kalibrasyon test sistemleri bulunmaktadır.

[13]'de bir kırpışma ölçerin gelişmiş kalibrasyonu ve performans analizi yapılmaktadır. Bu çalışmada IEC standardı özelliklerine ve CCU<sub>2</sub> test protokolüne uygun olarak test yapılırken cihazları korumak için tam bir test ayarlaması sağlanmaktadır.

[14]'deki test [5]'deki standartın koşullarına ve gerekliliklerine göre dizayn edilen kırpışma ölçerler için gerçekleştirilmektedir. Testin hedefi, güç

sistemlerinde meydana gelen çeşitli dalga şekillerindeki gerilim kırışımlarının ölçülmesi için kırışma ölçerin uygunluğunun değerlendirilmesidir. Çalışmada çelik fabrikaları baralarındaki çelik fabrikasının birinde gerçekleştirilen ölçüm sonuçları sunulmaktadır. Ölçüm süresi yedi gündür. On değişik kırışma ölçer kullanılmaktadır.

[15]'de kırışma ölçerin kalibrasyon test sistemi için dijital sinyal işlemcisi kullanarak dalgaformu üreten bir yöntem tanımlanmaktadır. Kırışma ölçerin kalibrasyon test sistemi, kırışma ölçerlerin test edilmesi için gerekli olan tüm modüle edilmiş test sinyallerini üreten ve ölçen bir sistemdir. Test şartlarını elde etmek için sistemde iki tane dalga formu jeneratörü kullanılmaktadır. İlki 50Hz'lik temel frekansı üretmekte ve ikincisi 2-25Hz'lik modülasyon frekansını üretmektedir.

IEC standartında girdi sürekli gerilim dalgasıdır. Sürekli gerilim dalgasının örneklendirilmiş hali kullanıldığında ise dijital kırışma ölçer gerçeklemeleri ve kırışma ölçümü için farklı yaklaşımlar kullanılmaktadır.

FFT tabanlı yaklaşımlarda çoğunlukla gerilim dalgasının frekans bölgesi ayrışımından yararlanılmaktadır. FFT tabanlı tekniklerde sinyaller sabit olarak varsayılmaktadır. Frekans bölgesine dayanan yaklaşımlardaki dezavantaj ise FFT yöntemi ile elde edilen frekans ayrışımında, temel frekanstaki sapmadan ve uygulanan pencerelemeden dolayı kaçak etkinin oluşmasıdır [16-23].

[24]'de zaman ve frekans domeyninde önerilen tüm data kazanç sistemlerine entegre olabilen Kesikli Fourier Dönüşümüne (Discrete Fourier Transform-DFT) dayalı bir kırışma ölçer tanımlanmaktadır. [25]'de frekans ekseninde dijital bir kırışma ölçer gerçekleştirilmektedir. Ayrıca gerilim zarfını çıkarmak için yeni bir demodülasyon yöntemi önerilmektedir. Bu yaklaşımlarda genellikle IEC kırışmaölçerin dijital gerçekleştirmeleri kıyaslanmaktadır.

[26]'da uluslararası IEC 61000-4-15 standartına dayanan LabVIEW programı kullanılarak dijital bir kırışma ölçer tasarlanmaktadır. Kırışma ölçer kullanılarak kare ve sinüsoidal gerilim dalgalanmaları ölçülmektedir. [27]'de dijital kırışma ölçer için kullanılan birkaç yaklaşım analiz edilmekte ve bazı yaklaşımlar LabVIEW programı kullanılarak kıyaslanmaktadır.

Bu yöntemlerden başka, tahmin tekniklerine dayanan yöntemler; En Küçük Mutlak Değer (Least Absolute Value-LAV) ve Kalman Filtresi (Kalman Filter-KF) gerilim kırışmasını belirlemek için kullanılmaktadır. LAV ve KF yöntemleri durağan olmayan sinyallerin davranışı için uygun olmasına rağmen, bu yöntemlerin önemli eksiklikleri bulunmaktadır. LAV yönteminin temel dezavantajı, yaklaşımda kırışma frekansının bilindiği varsayımdır. Bu gerçekçi bir varsayım değildir. Aynı zamanda LAV yöntemi yavaş bir yakınsamaya maruz kalmaktadır [28]. KF kullanılan yaklaşımlarda frekans spektrumu kalman filtresi ile hassas olarak elde edilmektedir fakat KF büyük bir sayısal hesaplama gerektirmekte ve parametrelerin tam olarak belirlenmesi gerekmektedir [29-32].

Son zamanlarda, Teager Enerji Operatörü (Teager Energy Operator-TEO), Hilbert Dönüşümü (Hilbert Transform-HT) ve Sürekli Dalgacık Dönüşümü (Continuous Wavelet Transform-CWT) gerilim kırışmasını analiz etmek için etkili bir araç olarak kullanılmaktadır. TEO yönteminde sinyal genliğindeki değişimler hızlı bir şekilde belirlenebilmektedir. TEO Genlik Modülasyonu (Amplitude Modulation-AM) sinyallerinin anlık enerjilerini izleyebilen lineer olmayan bir operatördür. Fakat TEO algoritmasının temel dezavantajı rasgele gürültüleri ve anlık gürültüleri içeren gürültülere karşı hassas olmasıdır. Bu kırışma frekansının artması ile doğruluğu azaltmaktadır [33-35].

HT, TEO ile aynı amacı gerçekleştiren lineer bir operatördür. HT yönteminde orjinal sinyalin HT'sinden sonra karmaşık bir sinyal elde edilmekte ve bu sinyal gerilim kırışmasının genlik zarfının çıkarılmasında kullanılmaktadır. Genellikle HT zaman serilerinde genlik ve frekansın elde edilmesinde diğer yöntemlerle birlikte kullanılmaktadır [36-40].

CWT'de gerilim kırışmasının analizinde dalgacığa dayalı algoritma kullanılmaktadır. Bu algoritma ile gerilim sinyalinin direkt demodülasyonundan gerilimin kırışma bileşenleri çıkarılabilmektedir. Demodülasyondan sonra, gerilim dalgaşeklinin içerisinde düşük frekanslı kırışma bileşenleri temel frekansta merkezleştirilmiş sinyal spektrumunda simetrik olarak gözükmemektedir. Kırışma bileşenleri 60Hz'den 90Hz'e kadar değişen frekanslarda tam sayı olmayan harmoniklerin çıkartılmasıyla elde edilmektedir [41-42]. Dalgaşeklinin zaman ve frekans bilgisi gömülü dalgacığın zaman frekans lokalizasyon



karakteristiği ile tam olarak belirlenebilmektedir. CWT'de Morlet dalgacığı temel fonksiyonu kullanılmaktadır. Bu yöntemde gerilim kırışımasında gerekli olan yüksek frekans kolaylıkla elde edilmektedir [43].

IEC standartlarında güç kalitesinin önemli ve geçerli bir endeksi  $P_{st}$  değeridir.  $P_{st}$ 'nin doğru bir biçimde hesaplanması güç kalitesinin izlenmesinde önemli bir yoldur. DFT'nin bariyer etkisi ve doğal spektral sızıntı nedeniyle  $P_{st}$ 'nin hesaplanmasında genellikle DFT kullanılmaktadır. Buda  $P_{st}$ 'nin doğruluğunu düşürmektedir.  $P_{st}$ 'nin hesaplanmasında doğruluğunu arttırmak için DFT'den başka birçok algoritma kullanılmaktadır. Bu algoritmalarından birkaçı aşağıda verilmektedir.

Çeşitli tip kaynakların oluşturduğu kırışmanın ölçülmesinde üretim zamanının kısa bir periyodu için kırışmanın istatistiksel olarak değerlendirilmesinden  $P_{st}$  elde edilmektedir. Birikimli Olasılık Fonksiyonunu (Cumulative Probability Function-CPF) değerlendirme yöntemlerinden lineer ve logaritmik sınıflandırma ve interpolasyon yerine kullanılan yeni bir tekrarlayan araştırma algoritması tanımlanmaktadır [11].

[44]'de  $P_{st}$ 'nin doğruluğunu arttırmak için bir yöntem geliştirilmiştir. Dalgacık Dönüşümü (Wavelet Transform-WT) kullanılarak frekans probleminin üstesinden gelinmektedir. Doğru frekans ve genlik bilgisi almak amacıyla WT uygulanarak sinyaldeki gerilim kırışmalarını çıkartılmaktadır [44].

Çalışmada IEC kırışma ölçerin 5. bloğunun analizi yapılmıştır. Alan ölçümlerinden elde edilen değerler ve IEC kırışma ölçer tarafından sağlanan değerler kıyaslanmaktadır. Düzensiz kare biçimli dalgalanmalar içeren giriş sinyali uygulandığı zamanki IEC kırışma ölçerin davranışı analiz edilmektedir [45].

## 1.2. Amaç ve Katkı

Bu tez çalışmasında güç kalitesi sorunlarından birisi olan gerilim kırışmasının belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalar anlatılmaktadır. Bu amaçla gerilim kırışmasının belirlenmesi ve kısa dönem kırışma şiddetinin hesaplanması için Hilbert-Huang Dönüşümü (Hilbert-Huang Transform-HHT)'ne dayalı bir algoritma ilk kez bu tez çalışmasında uygulanmıştır. HHT lineer ve

durağan olmayan sinyallerin analizinde kullanılmakta ve iyi sonuçlar vermektedir [46]. Bu yöntem anlık frekansa dayalı yeni bir sinyal dönüşümüdür. Kırpışmanın da gerilim seviyesi üzerinde belli bir süre ile “zarf” oluşturduğu bilindiğinden HHT yöntemi ile analizi uygun görülmüştür. Güç kalitesi sorunlarından olan gerilim kırpışmasının genlik ve frekansını belirlemek ve 61000-4-15 kırpışma ölçer standartına uygun olarak  $P_{st}$ 'yi hesaplamak için etkili bir kırpışma ölçer algoritması geliştirilmiştir.

Kırpışma olan gerilim sinyali AM modülasyonuna uğramış sinyal olduğundan dolayı ekstremum noktalarının sayısı ile sıfır geçiş noktalarının sayısı eşittir ve yerel maksimum zarfının ve yerel minimum zarfının ortalama değeri sıfırdır. Bu nedenle önerilen yöntemde, giriş sinyaline EMD uygulanmadan önce sinyalin karesi alınmaktadır. Giriş sinyalinin içerisinde bulunan farklı frekanslardaki bileşenlerin güç dağılımlarının bulunduğu yeni bir sinyal elde edilmektedir. Bu sinyalde, ekstremum noktalarının sayısı ile sıfır geçiş noktalarının sayısı eşit değildir ve yerel maksimum zarfının ve yerel minimum zarfının ortalama değeri sıfırdan farklı olmaktadır. HHT uygulandığı zaman yeni elde edilen sinyal, Görgül Kip Ayırışımı (Empirical Mode Decomposition-EMD) ile yüksek frekanslı bileşenden düşük frekanslı bileşenlerine doğru sıralanarak (IMF) farklı frekanslardaki bileşenlerine ayrıştırılmaktadır. EMD sonucunda kırpışma bileşeni elde edilmektedir. Kırpışmanın genliğinin ve frekansının hesaplanmasında IMF bileşenleri kullanılmaktadır. Bunu gerçekleştirmek için IMF'lere HT uygulanmaktadır.

Kırpışma bileşeni elde edildiği zaman, algılanabilirlik ağırlıklandırma filtresinden geçirilmektedir. Bu filtre 8.8Hz merkezlenmiş bir orta geçiren filtre cevabını vermektedir. Elde edilen sinyal kare alma ve düzleştirme bloklarından geçirilmektedir. Kare alma çoklayıcısı ağırlıklandırılmış kırpışma işaretinin karesini alarak, doğrusal olmayan göz-beyin algılamasını benzeştirmektedir. Düzleştirme bloğu zaman sabiti 300ms olan birinci derece alçak geçiren filtreden oluşmaktadır. Bu filtre ile beynin depolama etkisi benzeştirilmektedir. Bu filtre çıkışında anlık kırpışma seviyesi elde edilmektedir.

Son olarak, kırpışma değeri olan  $P_{st}$  ise bu genlik ve frekansın doğrusal olmayan bir fonksiyonu olarak ve istatistiksel yöntemler kullanılarak

hesaplanmaktadır [40,67]. EMD'nin salınım gösteren sinyalin zarfındaki değişimleri bulma gücü nedeniyle HHT yönteminin kırışımları bulmada ve  $P_{st}$ 'nin hesaplanmasında verimli olduğu öngörülmüş ve deneysel olarak gözlemlenmiştir.

### 1.3. Çalışmanın İçeriği

Bu çalışma, altı bölümden oluşmaktadır. Diğer bölümlerin içerikleri şu şekildedir:

İkinci bölümde güç kalitesi parametrelerine ve güç kalitesi problemlerine önemli ölçüde değinilmiştir. Bu bölümde ülkemizde ve diğer ülkelerde güç kalitesini etkileyen faktörlerin başında gelen kırışmadan detaylı bir biçimde bahsedilmektedir. Gerilim kırışımlarının sebepleri, kaynakları ve etkileri anlatılmaktadır. Kırışmanın değerlendirilmesinde kullanılan yöntemler açıklanmaktadır.

Üçüncü bölümde, IEC 61000-4-15 standartına uygun bir kırışma ölçerin yapısı anlatılmakta ve  $P_{st}$  ve  $P_{lt}$ 'nin nasıl hesaplanacağı açıklanmaktadır. Gerilim kırışmasının denklemi çıkarılmaktadır. IEC standartlarında önerilen kırışma ölçere uygun olarak tasarlanan kırışma ölçerin hangi testlerden geçirileceği belirtilmektedir.

Dördüncü bölümde, HHT anlatılmaktadır. Bu bölümde HHT kullanılarak bir algoritma oluşturulmaktadır. Önerilen yöntemde farklı giriş sinyalleri için gerilim kırışmasının matematiksel modeli çıkartılmaktadır. Önerilen yöntem kullanıldığında  $P_{st}$  değerinin nasıl hesaplanması gerektiği anlatılmaktadır.

Beşinci bölümün ilk kısmında, IEC standartındaki geleneksel yöntem kullanılarak oluşturulan kırışma ölçer için performans testi, lineerlik testi ve homojenlik testi yapılmaktadır. İkinci kısmında ise, önerilen algoritma kullanılarak çeşitli giriş sinyalleri için simulasyonlar yapılmaktadır. Tek kırışma frekanslı, çoklu kırışma frekanslı ve harmonik içeren gerilim sinyali önerilen algoritma kullanılarak analiz edilmektedir. Elde edilen sonuçlar diğer yöntemlerle karşılaştırılmaktadır. Ayrıca HHT kullanılarak güç kalitesi bozukluklarının analizi yapılmaktadır.

Son bölüm, sonuçlar kısmından oluşmaktadır. Bu bölümde gerilim kırışmasını belirlemek için kullanılan yöntemlerin avantajları ve dezavantajları anlatılmaktadır. Hilbert Huang Dönüşümü kullanılarak önerilen algoritmanın sonuçları tartışılmaktadır. Önerilen algoritma kullanılarak gerilim kırışmasının analizinin önemi ortaya konmaktadır.

## 2. ELEKTRİK SİSTEMLERİNDE GÜÇ KALİTESİ

Güç kalitesi, güç sisteminin incelenen herhangi bir noktasında ideal sinüs şeklindeki gerilimin nominal genlik ve frekans değerlerini sürdürmesi olarak da tanımlanmaktadır [4-5]. Son yıllarda ise güç kalitesi; akım kalitesi ve gerilim kalitesi arasındaki ilişkiyle bütünleşen elektromanyetik uyumluluk olarak tanımlanmaktadır [47].

Enerji üretiminde elde edilen gerilim tam bir sinüs dalga şeklinde olmasına rağmen, şebekeden çekilen akım, gerilimde çeşitli bozulmalara sebep olabilmektedir. Örneğin;

- Şebekede meydana gelen bir kısa devre sonucunda oluşan akımın, gerilimde ani bir düşmeye veya gerilimin tamamen kesilmesine sebep olması,
- Enerji iletim hattına yıldırım düşmesi sonucu oluşacak aşırı akımların, şebekede yalıtımın zorlanması ve delinmesine sebep olacak ani darbe gerilimleri meydana getirmesi,
- Harmonik üreten kaynakların meydana getirdiği akımların sistemden geçmesiyle, gerilimi bozması ve bunun sonucunda diğer tüketicilerin bozulmuş gerilim ile beslenmeleri [1].

Güç kalitesine her geçen gün ilginin artmasının nedenleri:

- Standartizasyon ve performans kriterlerinin gün geçtikçe daha da artması.
- Ekipmanların her geçen gün dalgalanmalara daha da hassasiyet göstermeleri.
- Değişken Hız Kontrol Cihazları (Variable Speed Drives-VSD) gibi yeni teknolojik ekipmanların dalgalanmalara sebep olmaları.
- Güç kalitesi izleme cihazlarının her geçen gün daha da gelişmesi.
- Enerji sektöründe rekabetin artması ve kullanıcıların daha kaliteli enerji talep etmeleri [48].

Güç kalitesi ifadesi, güç sistemlerinde oluşan problemlerin tamamını kapsayan genel bir ifade olarak kabul edilmektedir. Güç kalitesi, güç sistemlerinde çok geniş miktarda elektromagnetik olaylar olarak tanımlanmaktadır. Çok sayıda çok farklı güç kalitesi tanımı yapılabilmektedir.

Örneğin elektrik enerjisini sağlayan kuruluşlar güç kalitesini güvenilirliği ve kararlılığı açısından değerlendirmekte, yük tarafındaki tüketiciler ise elektrik enerjisinin devamlılığı ve elektrik enerjisinden beslenen cihazların sorunsuz çalışması şeklinde güç kalitesi tanımı yapmaktadır [1,4].

Elektrik enerjisinde güç kalitesini diğer hizmet ve ürünlerde olduğu gibi bir standart kriter kullanarak tanımlama yapmak oldukça zordur. Ancak son kullanıcı donanım ve cihazlarının sorunsuz ve güvenilir bir şekilde çalışmasını sağlayabilmelidir. Eğer elektrik enerjisi bu ihtiyaçları karşılayamayacak kadar yetersiz ve sorunlu ise o zaman genel anlamda güç kalitesinden bahsedilemez [1,4].

Teknik olarak güç kalitesi, güç sistemlerinde gerilim ve akımın kalitesi olarak nitelendirilmektedir. Çünkü gerilimdeki sorunlar birçok güç kalitesi problemlerinin ana sebeplerinden sayılmaktadır. Gerilimdeki anlık yükselmeler, gerilim çöküşleri, uzun ve kısa süreli kesintiler, gerilimdeki harmonikler ve frekans değişimleri gibi sorunlar örnek olarak verilmektedir. Aslında gerilim ile akım arasında çok yakın bir ilişki vardır. Doğrusal olmayan bir yükün çektiği doğrusal olmayan bir akım gerilim üzerinde olumsuz etki oluşturmaktadır. Bu nedenle güç kalitesi, güç sistemlerinde akım ve gerilimin kalitesi ile doğrudan ilişkilendirilmektedir [4].

Güç kalitesi, gerilim ve akım dalga şekillerinin herhangi bir bozulmaya uğramamış, istenilen frekans ve genlikte olması durumunda temiz enerji olarak tanımlanabilmektedir [1,4,49].

Günümüzde elektroniğin gelişmesiyle hassas yüklerin sayısı da artmaktadır. Güç kalitesi hassas yükler için önem arz etmektedir. Hassas yükler, gerilim dalgalanmalarından ve harmoniklerden olumsuz etkilenmekte, hatalı çalışmakta veya arızalanmaktadır. Güç elektroniğinde kullanılan yarı iletkenlerin birçoğu güç kalitesi problemlerine sebep olmakta ve harmonik kaynak olarak çalışmaktadır. Örneğin ayarlı sürücüler, doğrultucular ve anahtarlamalı güç kaynakları birer harmonik kaynak olarak çalışmaktadır [4].

## 2.1. Güç Kalitesi Bozucularının Çeşitleri

Güç kalitesi problemlerinin belirgin özellikleri kullanılarak çok farklı sınıflandırma yapılabilmektedir. Bazı sınıflandırmalar kalıcı durum ve kalıcı olmayan olayları dikkate alınarak yapılmaktadır. Örneğin IEC 61000-2-5 standardında güç kalitesi frekans aralığı referans alınarak sınıflandırma yapılmaktadır [49]. ANSI C84.1 standardında güç kalitesi problemleri olayların süresi temel alınarak sınıflandırılmaktadır. Bir başka sınıflandırma olan IEEE standartlarında ise güç kalitesi gerilim dalga şekli genliği ve olayların süresi temel alınarak yapılmaktadır [3,4].

Bir elektrik şebekesinde yükün değerine bağlı olarak çekilen akım değişeceğinden, akımı kontrol etmek oldukça zordur. Bu nedenle güç kalitesi alanındaki standartlar, genellikle şebeke gerilimini belirli sınırlar içerisinde tutmak için bulunmaktadır [4,47].

Güç kalitesi sorunlarını gidermek ve uygun çözümler üretmek için güç kalitesi problemlerini iyi anlamak ve sorunlar arasındaki karmaşık ilişkileri iyi çözmek gerekmektedir. Şekil 2.1'de güç kalitesi problemleri gerilim genlik ve süresi temel alınarak yapılan sınıflandırma verilmektedir [47,49]. Şekilden de görüldüğü gibi gerilim genlik ve süresine göre yapılan sınıflandırma 9 ana bölgeye ayrılmaktadır. Güç kalitesi olaylarının oluşum süresine göre sınıflandırılması çok kısa, kısa, uzun ve çok uzun şeklinde 4 bölgeye ayrılmaktadır. Gerilim genliği temel alınarak yapılan sınıflandırma ise 3 bölgeden oluşmaktadır [4].

- Kesintiler (Interruptions); Uzun veya kısa süreli olarak gerilim genliğinin (etkin değerinin) sıfıra düşmesi ile oluşan bu problem en sert güç kalitesi problemleri arasındadır.
- Çökmeler (Sags/Dips); Uzun veya kısa süreli olarak, kaynak tarafında oluşabilen hatalardan dolayı veya büyük yüklerin sisteme dahil edilmesi ile meydana gelen gerilim genliğinin normal değerinin %90'nın altına düşmesi ile oluşan bir güç kalitesi problemidir.
- Yükselmeler (Swells); Uzun veya kısa süreli olarak gerilim genliğinin normal değerinin %110'nun üstüne çıkması ile oluşan bir güç kalitesi problemidir.

Genlik	Çok kısa süreli gerilim yükselmesi	Kısa süreli gerilim yükselmesi	Uzun süreli gerilim yükselmesi	Çok uzun süreli gerilim yükselmesi
110 %	Normal çalışma gerilimi			
90 %	Çok kısa süreli gerilim düşmesi	Kısa süreli gerilim düşmesi	Uzun süreli gerilim düşmesi	Çok uzun süreli gerilim düşmesi
	1-3 Çevrim	1-3 Dakika	1-3 Saat	Süre

**Şekil 2.1.** Gerilim genlik ve süresine göre güç kalitesinin sınıflandırılması [4,47]

## 2.2. Güç Kalitesi Problemlerinin Özellikleri

Bir güç sisteminin güç kalitesi problemlerini tanımlamak, güç kalitesini değerlendirmek ve çözüm önerileri ortaya koymak için IEEE, IEC, ANSI, CBEMA, EPRI gibi farklı çalışma grupları farklı standartlar oluşturmuşlardır. Dünyada güç kalitesi çalışmalarında genellikle IEEE ve IEC standartları tercih edilmektedir [1,4,47].

IEEE 1159 standartlarına göre güç kalitesi problemleri;

1. Geçici dalgalanma (Transients Surges)
2. Kısa süreli değişimler (Short duration variations)
3. Uzun süreli değişimler (Long duration variations)
4. Dalga şekli bozulmaları (Waveform distortion)
5. Gerilim dengesizliği (Voltage unbalance)
6. Gerilim kırışması (Voltage flickers)
7. Frekans değişimleri (Power frequency variations)

olmak üzere yedi kategoriye ayrılmaktadır [4].

Çizelge 2.1’de IEEE 1159 standardında tanımlanan elektrik güç kalitesi problemlerinin kategorik sınıflandırılması verilmektedir [4].



**Çizelge 2.1.** IEEE 1159 standardında tanımlanan elektrik güç kalitesi problemlerinin sınıflandırılması [4]

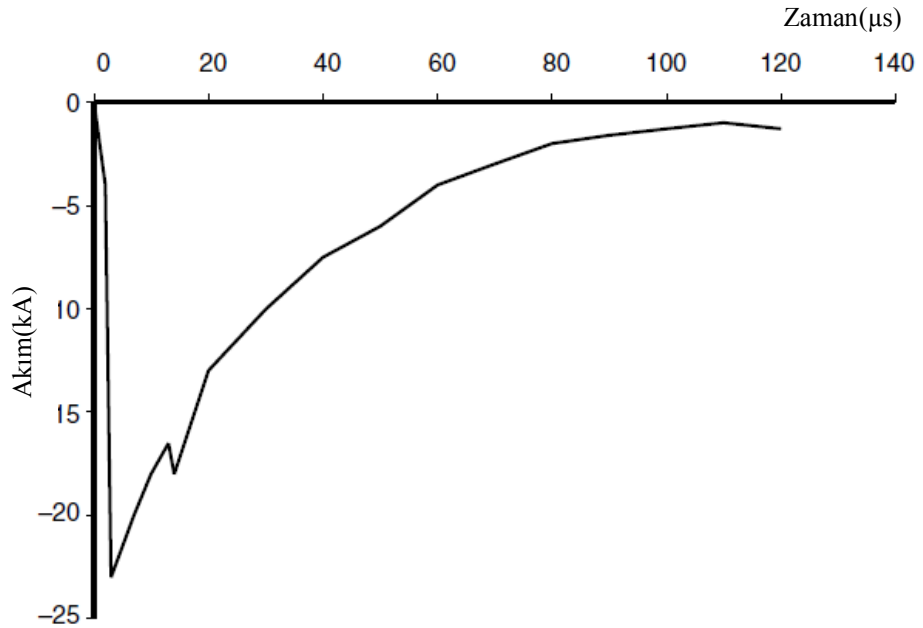
Güç kalitesi problemleri		Süresi	Gerilim genliği	
1. Geçici dalgalanma (Transients Surges)	Darbeli (Impulsive transients)	Nano saniye	< 50 ns	–
		Mikro saniye	50 ns–1ms	–
		Mili saniye	> 1 ms	–
	Salımlı (Oscillatory transients)	Düşük frekans	0.3–50 ms	0-4 pu
		Orta frekans	20 $\mu$ s	0-8 pu
		Yüksek frekans	5 $\mu$ s	0-4 pu
2. Kısa süreli değişimler (Short duration variations)	Anlık (Instantaneous)	Kesintiler (Interruptions)	0.5–30 çevrim	< 0.1 pu
		Çökmeler (Sags/Dips)	0.5–30 çevrim	0.1–0.9 pu
		Yükselmeler (Swells)	0.5–30 çevrim	1.1–1.8 pu
	Kısa süreli (Momentary)	Kesintiler (Interruptions)	30 çevrim–3s	< 0.1 pu
		Çökmeler (Sags/Dips)	30 çevrim –3s	0.1–0.9 pu
		Yükselmeler (Swells)	30 çevrim –3s	1.1–1.4 pu
	Geçici (Temporary)	Kesintiler (Interruptions)	3s–1dak.	< 0.1 pu
		Çökmeler (Sags/Dips)	3s–1dak.	0.1–0.9 pu
		Yükselmeler (Swells)	3s–1dak.	1.1–1.2 pu
3. Uzun süreli değişimler (Long duration variations)	Kesintiler (Interruptions- sustained)		>1 dak.	0.0 pu
	Gerilim düşmeleri (Undervoltages)		>1 dak.	0.8–0.9 pu
	Gerilim yükselmeleri (Overvoltages)		>1 dak.	1.1–1.2 pu
4. Dalga şeklide bozulmalar (Waveform distortion)	DA seviyesi (DC ofset)		Kalıcı durum	%0–0.1
	Harmonikler (Harmonics)		Kalıcı durum	%0–20
	Ara Harmonikler (Interharmonics)		Kalıcı durum	%0–2
	Çentik (Notching)		Kalıcı durum	–
	Gürültü (Noise)		Kalıcı durum	%0–1
5. Gerilim dengesizliği (Voltage unbalance)		Kalıcı durum	%0.5–2	
6. Gerilim kırışması (Voltage flickers)		Aralıklı	%0.1–7 (< 25 Hz)	
7. Frekans değişimleri (Power frequency variations)		–	< 10 s	

### 2.2.1. Geçici dalgalanma

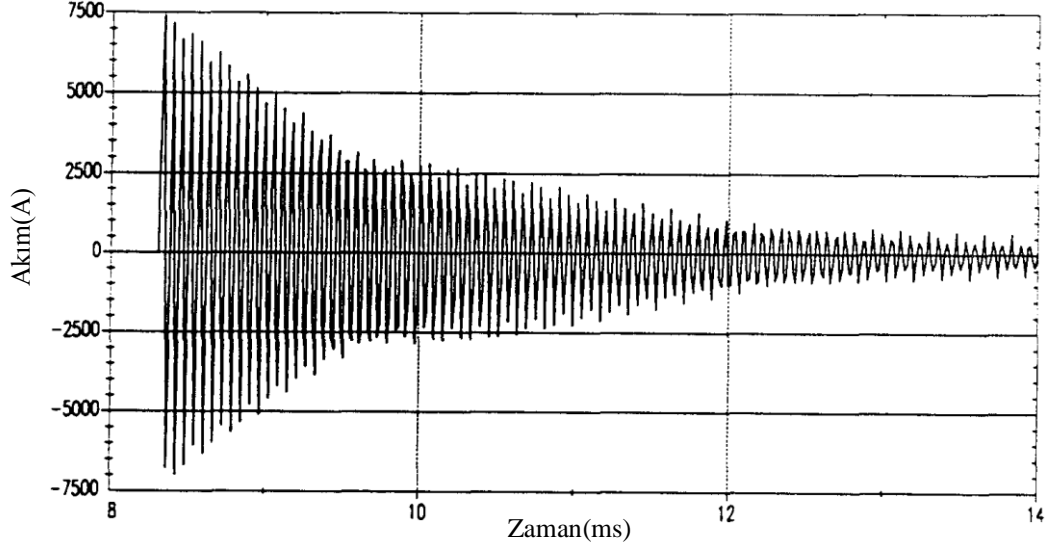
Geçici dalgalanma (transients surges), darbeleri (impulsive transients) ve salınımlı (oscillatory transients) olarak iki şekilde oluşmaktadır.

Darbe etkisi, güç sistem hatlarında akım veya gerilim üzerinde çok kısa anlık bir değişim olarak tanımlanmaktadır. Darbeleri geçici dalgalanma, artış ve azalış zamanlarına göre karakterize edilmektedir [1,49]. Örneğin,  $1.2 \times 50 \mu s$ , 2000V olarak ifade edilen darbeleri geçici durum, gerilimin  $1.2 \mu s$ 'de 2000V tepe değere çıktığını ve  $50 \mu s$ 'de tepe değerinin yarısına düştüğünü göstermektedir. Yıldırım etkisi olarak da adlandırabileceğimiz darbe olayı, kondansatör şarjı, elektromagnetik cihazların ilk kalkınma anları veya iletim hatlarına yıldırım etkisi ile oluşan anlık akım ve gerilim olaylarıdır. Şekil 2.2'de darbeleri dalgalanma örnek dalga şekli verilmektedir [4].

Salınım etkisi, güç faktörü düzeltme devrelerinde kullanılan kondansatör anahtarlama, tristörlü doğrultucu devrelerinde  $\alpha = 0$  durumunda fazlar arasında gerilimde çentik, akım, gerilim veya her ikisinin sürekli durum şartlarında meydana gelen ve tek kutuplu (pozitif veya negatif) anlık değişimler, salınımlı geçici durum olarak tanımlanmaktadır. Şekil 2.3'de salınımlı dalgalanma örnek dalga şekli verilmektedir [1,49].



Şekil 2.2. Yıldırım etkisi akımı ile oluşan dalgalanma [4]



**Şekil 2.3.** Kondansatör anahtarlama sonucu oluşan salınımlar [1]

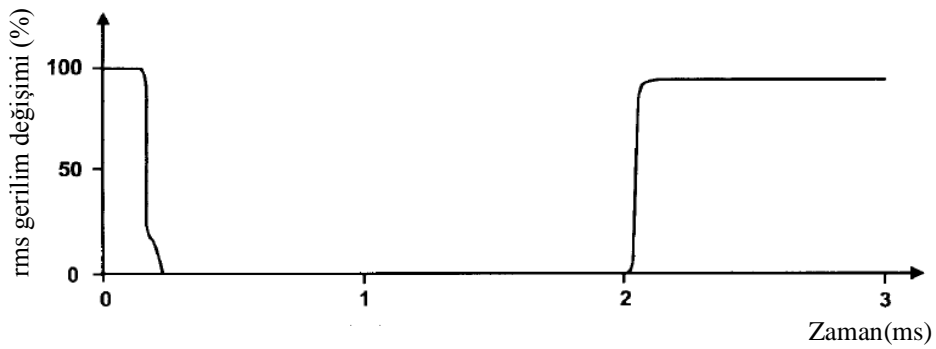
Salınımlı geçici durumlar, frekans spektrumuna göre yüksek frekanslı, orta frekanslı ve düşük frekanslı olmak üzere üçe ayrılmaktadır [4].

- 500KHz'den büyük temel frekans bileşenine ve  $\mu s$  cinsinden devamlılık süresine sahip salınımlı geçici durumlar, yüksek frekanslı salınımlı geçici durum olarak ifade edilmektedir. Bu tip salınımlar genelde yerel sistemlerin darbeli geçici olaylara verdiği cevabın sonucudur.
- 5-500KHz arasında temel frekans bileşenine sahip ve devamlılık süresi  $10 \times \mu s$  'ler cinsinden ifade edilen salınımlı geçici durumlar, orta frekanslı salınımlı geçici durum olarak adlandırılır. Çoğunlukla kapasitör anahtarlama sonucu oluşan salınımlı geçici durumlardır.
- 0.3-50ms arasında süren ve 5KHz'den küçük temel frekans bileşenine sahip bir geçici durum, düşük frekanslı salınımlı geçici durum olarak değerlendirilir. Bu tip geçici durumlar hem iletim hem de dağıtım sistemlerinde meydana gelir. Kapasitör grubunun enerjilenmesi ile meydana gelen ve temel frekansı 300-900Hz arasında olan gerilim geçici durumu, en sık karşılaşılan salınımlı geçici durumdur. Sistemin sönümlendirmesine bağlı olarak 0.5-3 periyot sürebilir ve tepe değeri yaklaşık 2p.u. olabilir. Temel frekansı 300Hz'in altında olan salınımlı geçici durum ile daha çok dağıtım sistemlerinde karşılaşılmaktadır. Bunlar genellikle ferrezonans ve transformatörlerin devreye alınması sırasında meydana gelir.

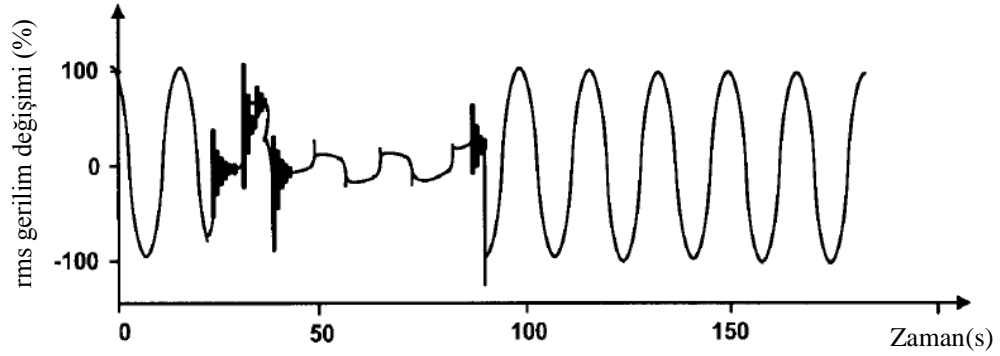
### 2.2.2. Kısa süreli değişimler

Kısa süreli değişimler (short duration variations), güç sistemlerinde gerilimin genliğinde veya akımda 0.5çevrim ile 1dakika arasında meydana gelen değişim olayları olarak tanımlanan bir güç kalitesi sorunudur. Bu sorun IEC standardında gerilim çökmeleri “voltage dips” ve kısa süreli kesintiler “short interruptions” olarak iki başlıkla sınıflandırılmaktadır. IEEE 1159 standardında, kesintinin 0.5-30çevrim arasında olması durumunda anlık “instantaneous”, 30çevrim–3s arasında kısa süreli “momentary” ve 3s-1dak arasındaki kesintiler geçici “temporary” kesintiler olarak sınıflandırılmaktadır [4]. Her bir kategori; kesinti “interruption”, çökme “sag”, ve yükselme “swell” olarak alt kategorilere ayrılarak sınırları belirtilmektedir [1,4,49,50]. Şekil 2.4’de kısa süreli kesinti örnek dalga şekli verilmektedir [49].

Çökme, şebeke frekansında, 10ms’den fazla (0.5periyot) ve 1 dakikadan az olmak kaydıyla, nominal gerilim etkin değerinin %10-%90 arasında azalma göstermesi olarak tanımlanmaktadır. Gerilim çökmeleri, genellikle sistem arızalarına bağlıdır. Ayrıca büyük yüklerin devreye girmesi veya büyük güçlü motorların çalışması esnasında da meydana gelebilmektedir. Bir asenkron motor yol alma anında, tam yük akımının 6-10 kat fazlasını çekebilmektedir. Eğer asenkron motorun çektiği akımın genliği, sisteme bağlı olduğu noktadaki olası arıza akımına göre yüksek ise, ortaya çıkan gerilim çökmesi büyük olabilir. Bu durumda, gerilim çok kısa sürede nominal gerilimin %70’ine düşebilir ve yaklaşık 3s sonra da kademeli olarak normale dönebilir [4]. Şekil 2.5’de gerilim çökmesi örnek dalga şekli verilmektedir [49].

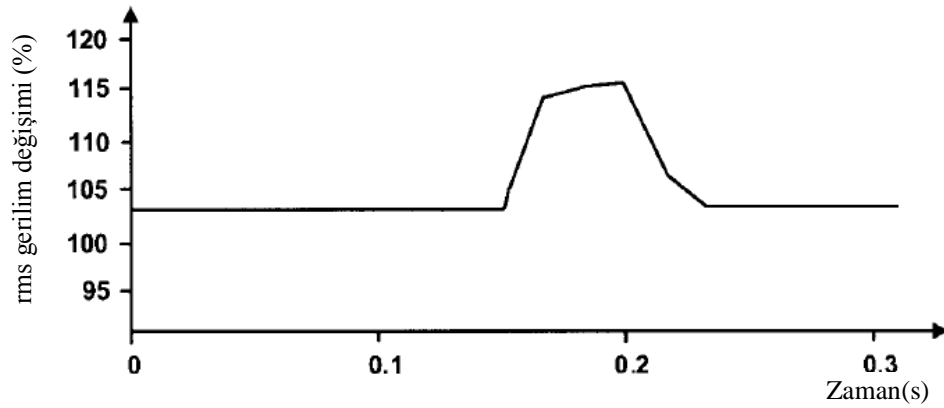


Şekil 2.4. Arıza sonucu oluşan kısa süreli kesinti [49]



**Şekil 2.5.** Tek faz- toprak arızası sonucu oluşan gerilim çökmesi [49]

Yükselme, şebeke frekansında, 10ms'den fazla (0.5periyot) ve 1 dakikadan az olmak kaydıyla nominal gerilim etkin değerinin %110-%180 arasında artış göstermesi olarak tanımlanmaktadır. Gerilim çökmesinde olduğu gibi, gerilim yükselmesi de genellikle sistem arızalarına bağlıdır. Fakat, gerilim yükselmeleri, gerilim çökmeleri kadar yaygın olarak görülmez. Örneğin, tek faz-toprak kısa devre arızası esnasında, arızasız fazlar üzerinde meydana gelen geçici gerilim artışı, yükselme oluşmasının en önemli sebeplerinden biridir. Ayrıca, büyük yükler devre dışı kalırken yapılan anahtarlama ve büyük kapasitör gruplarının devreye girmesi de gerilim yükselmelerine sebep olmaktadır. Gerilim yükselmeleri, genlik değerine ve olayın süresine göre karakterize edilmektedir. Arıza durumu süresince gerilim sıçramasının şiddeti, arıza yerine, sistem empedansına ve topraklamaya bağlı olarak değişmektedir [4]. Şekil 2.6'da gerilim yükselmesi örnek dalga şekli verilmektedir [49].



**Şekil 2.6.** Tek faz- toprak arızası sonucu oluşan anlık gerilim yükselmesi [49]

Kaynak gerilimi veya yük akımının, 1 dakikayı aşmayan bir süre boyunca nominal değerinin %10'nun altına düşmesi sonucu kesinti meydana gelmektedir. Kesintiler, güç sistemi arızaları, ekipman arızaları ve kontrol sistemlerinin yanlış çalışması sonucu meydana gelebilmektedir. Kesinti esnasında, gerilimin genliği genellikle nominal gerilimin %10'unun altına düştüğünden kesintiler sürelerine göre değerlendirilir. Şebekedeki bir arızadan kaynaklanan kesintinin süresi, koruma rölesinin çalışma zamanı ile belirlenmektedir. Koruma cihazının ani tekrar kapaması, genellikle 30peryottan az süren ve kalıcı olmayan bir arızanın sebep olduğu kesintiyi sınırlamaktadır. Koruma cihazının gecikmeli tekrar kapaması ise, anlık ve geçici kesintiye sebep olabilmektedir. Gerilim kesintileri, besleme sistemindeki bir arızadan kaynaklanıyorsa gerilim çökmesi olarak görülebilir. Gerilim çökmesi, arızanın oluşumu ile koruma cihazının çalışması arasındaki zamanda meydana gelmektedir [4].

### **2.2.3. Uzun süreli değişimler**

Uzun süreli değişimler (long duration variations) güç sistemlerinde gerilim genliğinde veya akımda 1 dakikadan uzun süreli meydana gelen değişim olayları olarak tanımlanan bir güç kalitesi sorunudur. Uzun süreli değişimler, ya aşırı gerilimden ya da düşük gerilimden kaynaklanmaktadır. Aşırı ve düşük gerilimler genellikle sistem arızalarından meydana gelmez. Bunlara daha çok yük değişimleri ve sistem anahtarlama işlemleri sebep olmaktadır. Böyle değişimler, gerilimin etkin değerinin zamana göre değişimine bağlı olarak gözlenmektedir [4].

Aşırı gerilim, şebeke frekansında, 1 dakikadan uzun süren ve gerilimin etkin değerinin %110'dan fazla artış gösterdiği durumdur. Bu durum genellikle iç aşırı gerilim etkisidir ve yük anahtarlama (büyük yüklerin devre dışı bırakılması veya bir kapasitör grubunun devreye alınması) sonucu ortaya çıkmaktadır. Bunun yanında, gerilim kontrollerinin yetersiz olması, yükün azalması ve transformatör kademe ayarının doğru yapılmaması sistemde aşırı gerilimlere neden olmaktadır [4].

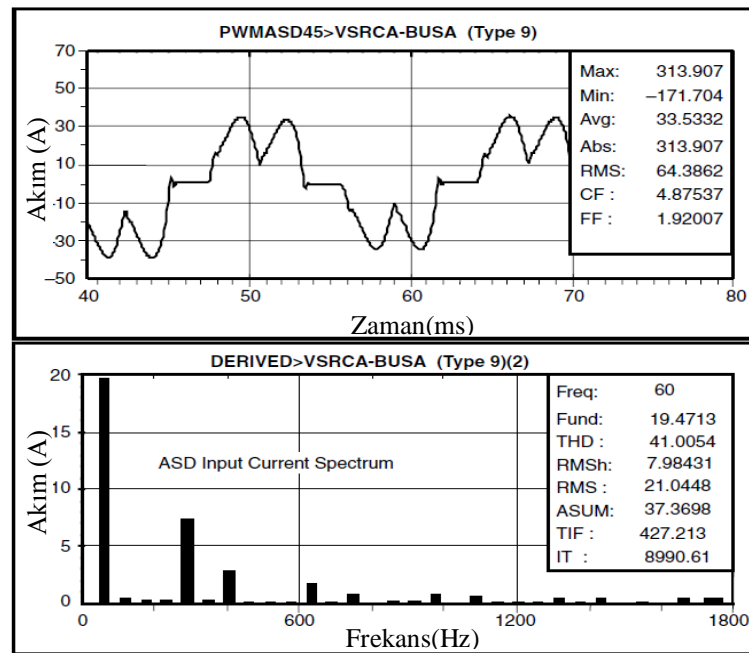
Düşük gerilim, şebeke frekansında, 1 dakikadan uzun süren ve gerilimin etkin değerinin %90'nın altına düştüğü durumdur. Düşük gerilimde, aşırı gerilimlere sebep olan anahtarlama işleminin tersi gerçekleşmektedir. Yani, büyük

yüklerin devreye girmesi veya kondansatör grubunun devreden çıkması gibi anahtarlama işlemleri, sistem üzerindeki gerilim düzenleyici cihazların sistemi tekrar eski seviyesine geri getirene kadar geçen sürede düşük gerilime neden olmaktadır. Ayrıca aşırı yüklenmiş devrelerde düşük gerilime neden olabilir [4].

Besleme gerilimi, 1 dakikayı aşan bir süre boyunca sıfır olduğu takdirde, uzun süreli gerilim değişimi kategorisinde yer alan kalıcı gerilim kesintisi meydana gelmektedir. 1 dakikadan fazla süren gerilim kesintileri çoğunlukla kalıcıdır. Bu tür kesintilerde sistemin düzenlenip eski haline getirilmesi için insan müdahalesi gerekmektedir [4].

#### 2.2.4. Dalga şeklinde bozulmalar

Dalga şeklinde bozulmalar (waveform distortions), güç sistem hatlarında şebeke frekansında sinüzoidal dalga şekline bozucu etki eden olaylar bir güç kalitesi problemi olarak ifade edilmektedir. Bu olaylar doğru akım bileşeni (DC offset), harmonikler (harmonics), ara harmonikler (interharmonics), çentikler (notching), ve gürültü (EMI/ noise) olarak sınıflandırılmaktadır [4]. Şekil 2.7’de ayarlanabilir hız sürücüsü (ASD) giriş akımının dalga şekli ve harmonik spektrumu verilmektedir [1].



Şekil 2.7. ASD giriş akımı için akım dalga şekli ve harmonik spektrumu [1]

Bir alternatif akım güç sisteminde, doğru akım veya gerilimin bulunması, doğru akım bileşeni ile ifade edilmektedir. Bu bileşen, bir elektronik güç konverterlerinin simetrisizliğinin bir sonucu olarak meydana gelmektedir. Bir alternatif akım şebekesinde doğru akımın bulunması, transformatör nüvesine ön besleme yapan ve transformatörü doyuma götüren zarar verici etkinin oluşmasına sebep olmaktadır. Bu etki, ilave ısı kaybına neden olmakta ve transformatörün ömrünü kısaltmaktadır. Ayrıca doğru akım bileşeni, topraklama elektrotları ve diğer bağlantılarda elektrolitik aşınma meydana getirebilmektedir [51].

Akım harmoniklerinin görüldüğü işletmelerde sıkça rastlanan sorunlar aktif güçte azalma ve kayıpların artması, güç faktörünün düşmesi, hassas elektronik kartların arızalanması, üç faz sistemlerde nötr hattında aşırı akımların oluşumu ve nötr hattında ısınma, trafo ve jeneratörlerde aşırı ısınma, mekanik cihazlarda titreşim ve gürültülü çalışma, elektronik ölçüm cihazlarının doğru çalışmamasıdır [52].

Gerilim harmoniklerinin görüldüğü işletmelerde sıkça rastlanan sorunlar trafo, generatör ve motorlarda aşırı ısınma, kondansatörlerde aşırı ısınma ve delinme, izolasyon sistemlerinde yalıtkan problemleri, rezonans ve yüksek gerilim delinmesi, asenkron motorlarda problemler, mekanik salınımlar ve gürültülü çalışmalardır [52].

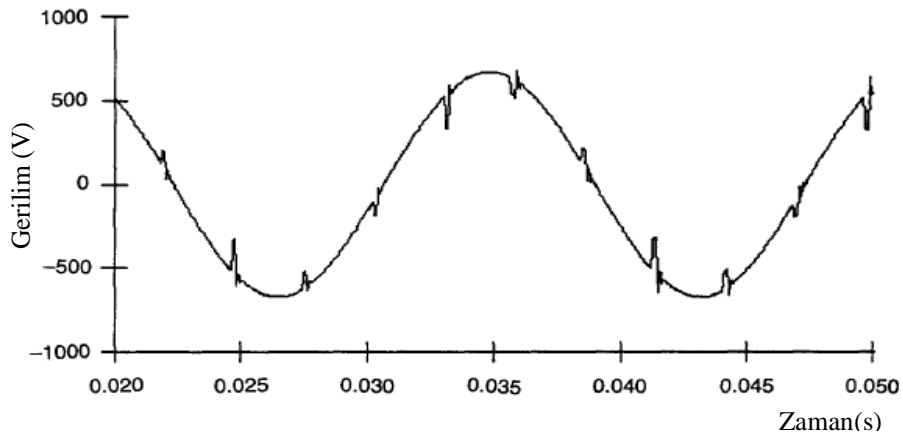
Harmonikler, şebeke frekansının tam katı frekanslara sahip sinüsoidal gerilim veya akımlardır. Bozuk dalga şekilleri, temel bileşen ve tüm harmoniklerin toplamı olarak ifade edilebilir. Harmonik bozulma, güç sistemindeki doğrusal olmayan özellikteki cihaz ve yükler nedeniyle oluşmaktadır. Harmonik bozulma seviyeleri, her bir harmonik bileşenin genliği ve faz açılarını belirten harmonik spektrumu ile açıklanabilir [51].

Sinüzoidal olmayan dalga şekillerinin içerdiği çift sıralı (2, 4, 6, 8,...) ve tek sıralı (3, 5, 7, 9,...) harmonikler fourier serisinin birer bileşenidir. Sıfır sıralı (0) harmonik bileşen sinyalin doğru akım seviyesini ve bir (1) sıralı bileşen ise sinyalin temel (50Hz) harmonik bileşenini temsil etmektedir. Harmonikli dalga şekillerinin her bir periyotta pozitif ve negatif yarım dalgalar birbirinin aynısı olduğu durumlarda (yarım dalga simetri durumunda) Fourier serisinde çift sıralı (2, 4, 6, 8) harmonik bileşenler sıfır olmaktadır [4,53,54].



50Hz veya 60Hz'de çalışacak şekilde tasarlanan bir besleme sisteminin frekansının, tam katı olmayan frekans bileşenlerine sahip akımlar veya gerilimler ara harmonik olarak isimlendirilmektedir. Bu harmonikler, ayrık frekanslar veya geniş bant spektrumu olarak görülebilir. Ara harmonikler tüm gerilim kademelerinde bulunabilmektedir. Ara harmonikleri oluşturan temel kaynaklar; statik frekans konverterleri, saykıl konvertörler, indüksiyon fırınları ve ark cihazlarıdır. Bu tip harmonikler genellikle frekans değişiminin bir sonucu olarak ortaya çıkarmakta ve yüke göre değişebilmektedir. Böyle ara harmonik akımları, değişken olan ara harmonik frekansının sistemin temel frekansıyla çakışması durumunda, güç sistemleri üzerinde oldukça ciddi rezonansları ortaya çıkarabilmektedirler [51].

Çentik, şebeke geriliminin bir periyodunda doğrultucu darbe sayısı kadar tekrarlanan çökmelerden oluşan periyodik dalga bozulmasına verilen isimdir. Çentik sürekli olarak meydana geldiği için, etkilediği gerilimin harmonik spektrumu üzerinden özellikleri belirlenebilmesine rağmen, genellikle özel bir durum olarak incelenmektedir. Çentiğin etkisi ile oluşan frekans bileşenleri çok yüksek olabilir. Bu nedenle harmonik analizleri için kullanılan klasik ölçüm cihazları ile belirgin bir şekilde tanımlanamazlar. Çentikler, akımın bir fazdan diğerine geçiş (komutasyon) yaptığı anlarda meydana gelmektedirler. Bu periyot süresince iki faz arasında anlık bir kısa devre vardır ve gerilim sistem empedansının izin verdiği ölçüde yaklaşık sıfıra kadar düşebilmektedir. Şekil 2.8'de gerilim çentiği örnek dalga şekli verilmektedir [4].

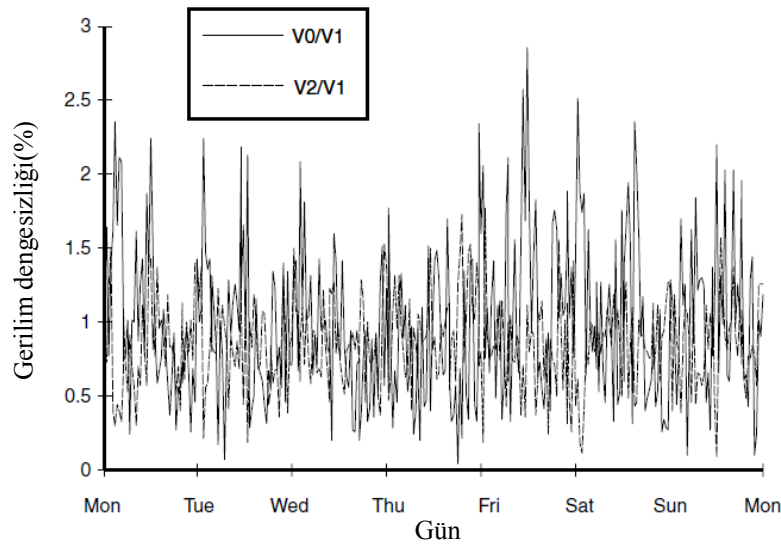


**Şekil 2.8.** Konvertörün çalışması sonucu oluşan gerilim çentiği örneği [4]

Gürültü, normal sinüs şeklindeki akım veya gerilim üzerine binen, 200 kHz'den küçük geniş bant frekans spektrumuna sahip istenmeyen elektrik işareti olarak tanımlanmaktadır. Bu işaret hem faz iletkenleri hem de nötr iletkenleri üzerinden taşınabilir. Güç sistemlerinde gürültüye, güç elektroniği cihazları, kontrol devreleri, ark cihazları, anahtarlamalı güç kaynakları ve transistörlü doğrultucu içeren yükler sebep olabilmektedir. Ayrıca güç sistemlerinde uygun topraklama yapılmadığı takdirde, gürültü problemleri daha belirgin olarak ortaya çıkmaktadır [4].

### 2.2.5. Gerilim dengesizliği

Gerilim dengesizliği (voltage unbalance), üç faz gerilim veya akımın ortalamasından elde edilen maksimum sapma veya üç faz gerilim veya akımın ortalamasına bölümü olarak tanımlanmaktadır. Yüzde olarak ifade edilmektedir. Dengesizlik, simetrik bileşenler kullanılarak da hesaplanabilmektedir. Ya negatif dizi bileşenin ya da sıfır dizi bileşenin, pozitif dizi bileşenine oranı dengesizlik hesaplamada kullanılmaktadır. %2'den düşük gerilim dengesizlikleri, çoğunlukla üç fazlı sistemler üzerindeki tek fazlı yüklerdir. Büyük problem oluşturan gerilim dengesizlikleri (%5'den büyük), üç fazlı bir yükün veya üç fazlı bir kapasitör grubunun, tek faza kaldığı durumda meydana gelmektedir [4]. Şekil 2.9'da gerilim dengesizliği örnek dalga şekli verilmektedir [1].



Şekil 2.9. Yerleşim besleyicisi için gerilim dengesizliği [1]

### 2.2.6. Frekans değişimleri

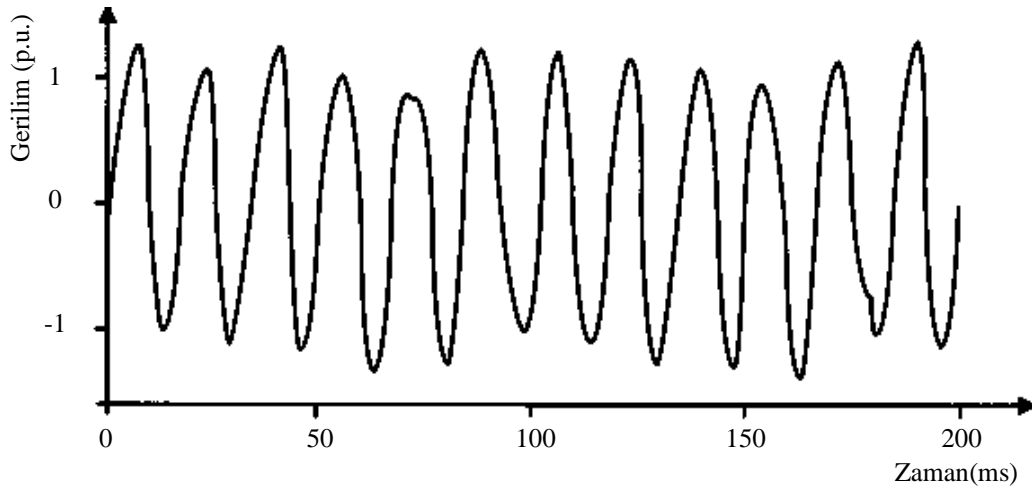
Frekans değişimleri, güç sisteminin temel frekansının nominal değerinden sapması olarak tanımlanmaktadır. Güç sistemlerinin frekansı, sistemi besleyen generatörün dönme hızıyla doğrudan bağlantılıdır. Yük ve üretim arasında dinamik bir denge olduğundan, frekansta küçük değişiklikler meydana gelmektedir. Frekans değişiminin boyutu ve süresi, yükün özelliklerine ve yük değişikliklerine yol açan generatör kontrol sisteminin cevabına bağlıdır [1].

İletim sisteminde meydana gelen arızalar, büyük yük taşıma kapasitesine sahip bir güç iletim sisteminin devre dışı kalması veya büyük güç üreten generatörlerin devre dışı kalması, bir güç sisteminin normal sürekli durum çalışması için kabul edilen sınırlar dışına çıkan frekans değişikliklerine sebep olmaktadır [4].

Yukarıda açıklanan ve elektrik sisteminde çok sık raslanan bazı güç kalitesi problemleri Çizelge 2.2’de özetlenmektedir [1,4,55].

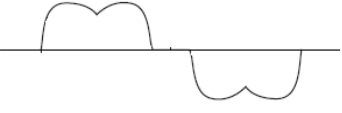
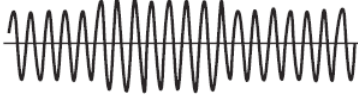
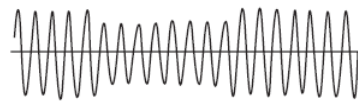


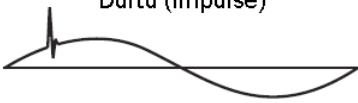
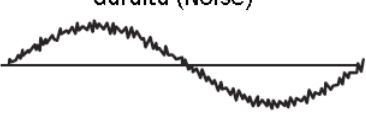
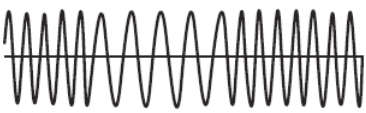

### 2.3. Gerilim Kırpışması

Kırpışma ışık şiddeti veya spektrum dağılımının zamanla dalgalanan bir ışık uyarısı ile meydana gelen görme duyusundaki kararsızlık belirtisi olarak tanımlanmaktadır [7]. Şekil 2.10’da bir gerilim kırpışması olayının dalga şekli gösterilmektedir [49].



Şekil 2.10. Ark fırınının sebep olduğu gerilim kırpışması [49]

**Çizelge 2.2.** Güç kalitesi problemleri [1,4,55]

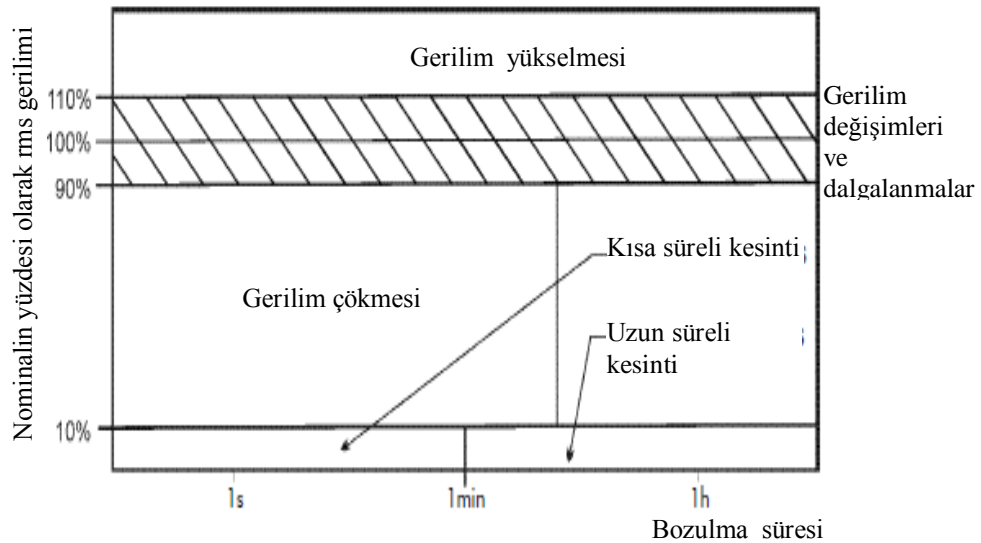
Bozulma Şekli	Açıklama
<p>Harmonik (Harmonics)</p> 	<p>Gerilim veya akım dalga şeklinde harmonik -lerden dolayı bozulmalar oluşmaktadır. Bu bozulmalar, doğrultucular, hız kontrol cihazları, frekans çeviriciler ve diğer doğrusal olmayan yükler tarafından üretilmektedir.</p>
<p>Yükselme (Swell)</p> 	<p>Gerilim genliği normal değerinin 1.1p.u. (%110) üzerine çıkılması ile tanımlanmaktadır. Bu durum büyük yüklerin devreden çıkması ve şebeke kesintileri ile oluşmaktadır.</p>
<p>Çökme (Sag)</p> 	<p>Gerilim genliği normal değerinin 0.9pu (%90) altına inmesi olayı ile tanımlanmaktadır. Bu durum büyük yüklerin devreden alınması, toprak hattı hatası ve şebeke kesintileri ile oluşmaktadır.</p>
<p>Çentik (Notches)</p> 	<p>Hat geriliminde kısa süreli tekrarlanan çöküntüler. Genellikle kontrolsüz veya kontrollü <math>\alpha=0</math> durumunda 3 fazlı doğrultucularda meydana gelmektedir.</p>
<p>Dalgalanma(Fliker)</p> 	<p>Gerilim genliğinde kısa süreli dalgalanmalar (flicker). Büyük yüklerin kısa süreli devreye girip çıkmasından veya titreşimli yüklerden kaynaklanmaktadır.</p>
<p>Dürtü (Impulse)</p> 	<p>0.5µs-2ms süresi arasında 50V-6kV gerilim genliğinde kısa süreli hızlı yükselen darbe veya salınımlar olarak tanımlanmaktadır. Şebeke veya yükün anahtarlanması, ark kont ve yıldırım etkisiyle oluşmaktadır.</p>
<p>Gürültü (Noise)</p> 	<p>10KHz-1GHz bant genişliğinde 100µV-100V genliğinde düşük enerjili tekrarlanan bozulmalardır. Taşıyıcı frekanslı güç hattı haberleşmede, kablosuz yayılma, anahtarlamalı güç kaynakları ve motor hız kontrol devrelerinde görülmektedir.</p>
<p>Frekans (Frequency)</p> 	<p>Güç frekansının normal değerinden sapması olarak tanımlanmaktadır. Düşük veya yetersiz regülasyon özelliğine sahip kaynaklarda ve enerji üreten güç jeneratörlerinde görülmektedir.</p>
<p>Kesinti (Outage)</p> 	<p>Tek fazlı veya çok fazlı sistemlerde gerilimin yarım periyottan fazla süreliğine sıfıra düşmesi ile tanımlanmaktadır. Yük donanım hataları, kaynak toprak hataları, kazalar, yıldırım ve nötr problemlerinden dolayı oluşmaktadır.</p>

Başka bir tanımda gerilim kırışımları, genliği nominal gerilimin 0.9-1.1p.u. değerleri arasında olan hızlı sistematik gerilim değişiklikleridir. Ark fırınları, kaynak makineleri gibi süreklilik gösteren cihazlar, yük akımında hızlı değişiklikler yaparak kırışma etkisi olarak da isimlendirilen gerilim dalgalanmalarına sebep olurlar [4].

Gerilim dalgalanmaları veya kırışma, motor ve generatörlerin işletim performansını bozmakta, elektronik cihazların ömürlerini azaltmakta ve yanlış çalışmalarına neden olmaktadır. Bilgisayar dünyasında işlem hatalarına ve bellek kayıplarına yol açmakta, ışık kaynaklarının etkinliklerini bozmaktadır. Aydınlatma amaçlı lambaların ışık parlaklığında ani değişimlere neden olmaktadır. Bu lambalardaki ışık parlaklığının değişmesi, enerji verimini düşürmekte ve insan gözünde rahatsız edici etkilere dolayısıyla psikolojik bir sıkıntıya yol açmaktadır. Evlerde veya ofislerde kırışma etkisi sonucu performans düşüklüğü oluşurken tehlikeli işlerin yapıldığı sanayi kuruluşlarında önemli kazaların oluşmasına neden olacak dikkat dağılımları gözlenebilmektedir [56].

### 2.3.1. Gerilim kırışmasının sebepleri

Rms gerilim değişimlerinin sınıflandırılması gerilimin bozulmanın süresine bağlı olarak değişimi şeklinde Şekil 2.11’de gösterilmektedir [57].

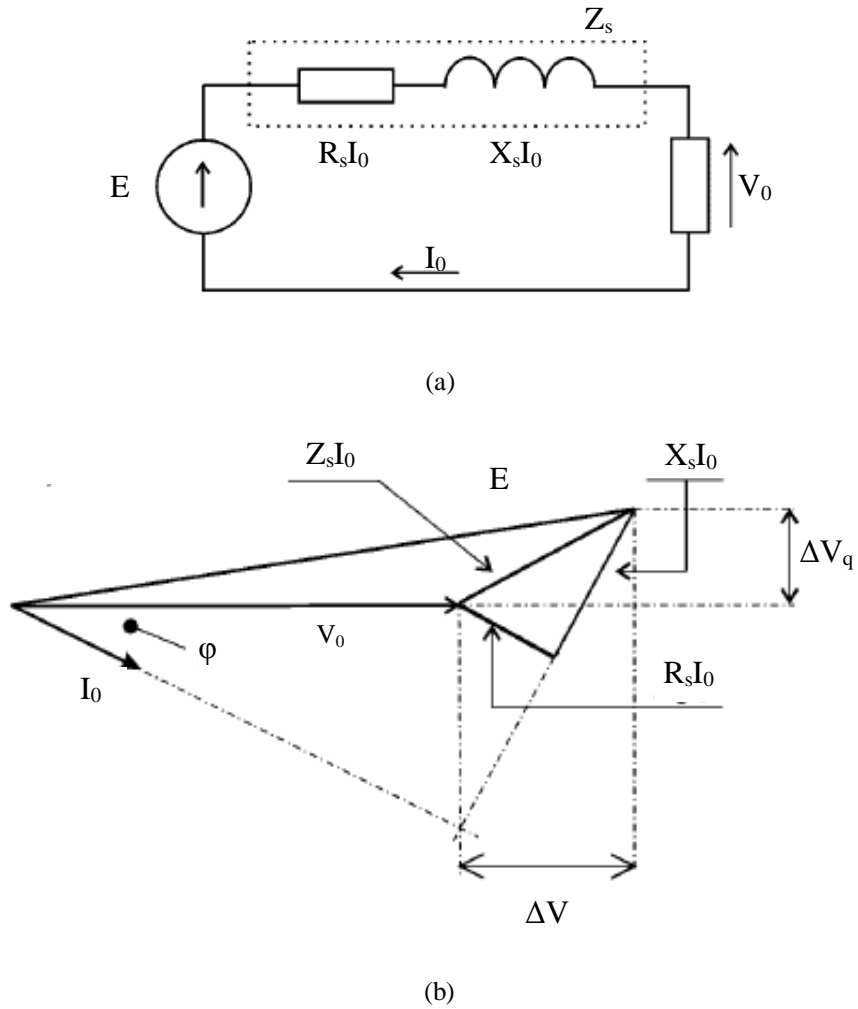


Şekil 2.11. Gerilim kırışmalarının sınıflandırılması [57]

Herhangi bir kaynak hattında, yükün sonundaki gerilim kaynak tarafındaki gerilimden farklı olmaktadır. Bu durum Şekil 2.12a'daki faz başına eşdeğer devresi ile gösterilebilmektedir. Gerilim farkının değeri  $\Delta V$ , faz diyagramından

$$\frac{E - V_0}{V_0} \approx \frac{\Delta V}{V_0} = R_s \frac{P}{V_0^2} + X_s \frac{Q}{V_0^2} \cong R_s \frac{P}{V_0^2} + \frac{Q}{S_{zw}} \quad (2.1)$$

ifadesi ile çıkarılabilmektedir. Burada  $E$ , kaynak gerilimini;  $V_0$ , yük tarafındaki gerilimi;  $\Delta V$ , gerilim değişimini;  $I_0$ , yük akımı;  $Z_s, X_s, R_s$ , sırasıyla hattın eşdeğer empedansını, reaktansını ve direncini;  $P, Q$ , yükün aktif ve reaktif gücünü;  $S_{zw}$ , yük bağlantı noktasındaki kısa devre gücünü ( $S_{sc}$ ) göstermektedir. Şekil 2.12 b'de direnç-bobin yükü için faz diyagramı gösterilmektedir [57].



**Şekil 2.12.** (a) Kaynak şebekesinin faz başına eşdeğer devresi (b)  $E \geq V_0$  Direnç bobin yükü için faz diyagramı [57]

Hattın eşdeğer direnci kendi reaktansı ile kıyaslandığında küçük olduğundan dolayı ihmal edilirse, hattın yük tarafındaki gerilim değişiminin bağlı değeri

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{Q}{S_{zw}} \quad (2.2)$$

ifadesi ile verilmektedir. Burada gerilim değişimi ( $\Delta V$ ), uzun bir zaman aralığının sonunda bir gerilim dalgalanmasının sabit bir değerine sahip bir gerilim düşüşü şekli olarak alınabilmektedir [57].

Gerilim dalgalanmalarının tanımsal karakteristikleri:

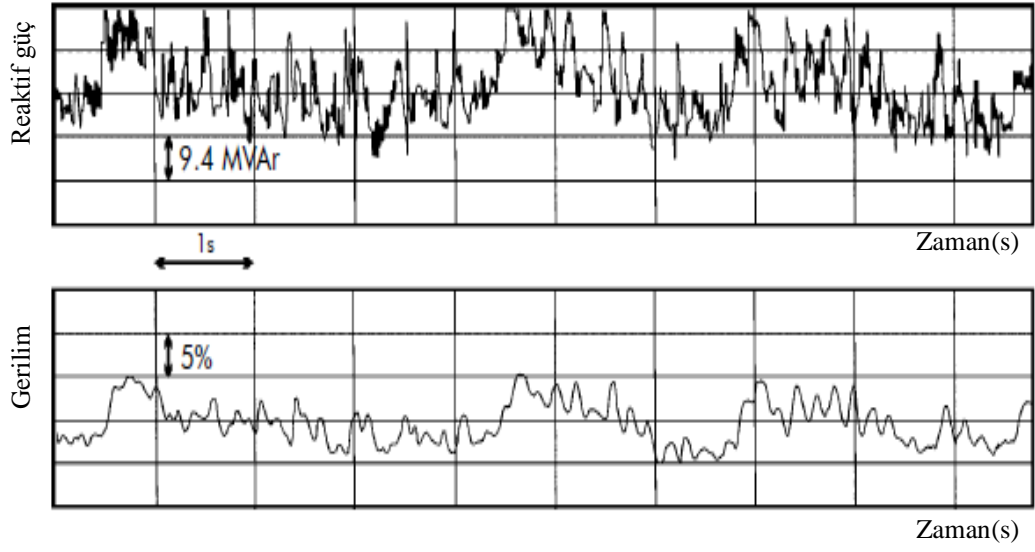
- Gerilim değişiminin genliği
- Belirlenmiş birim zamanın sonunda gerilim değişimlerinin sayısı ve
- Bozulmalar ile bağlantılı olan gerilim değişimlerinin sonuçsal etkileridir (örneğin kırışma).

### 2.3.2. Gerilim kırışmasının kaynakları

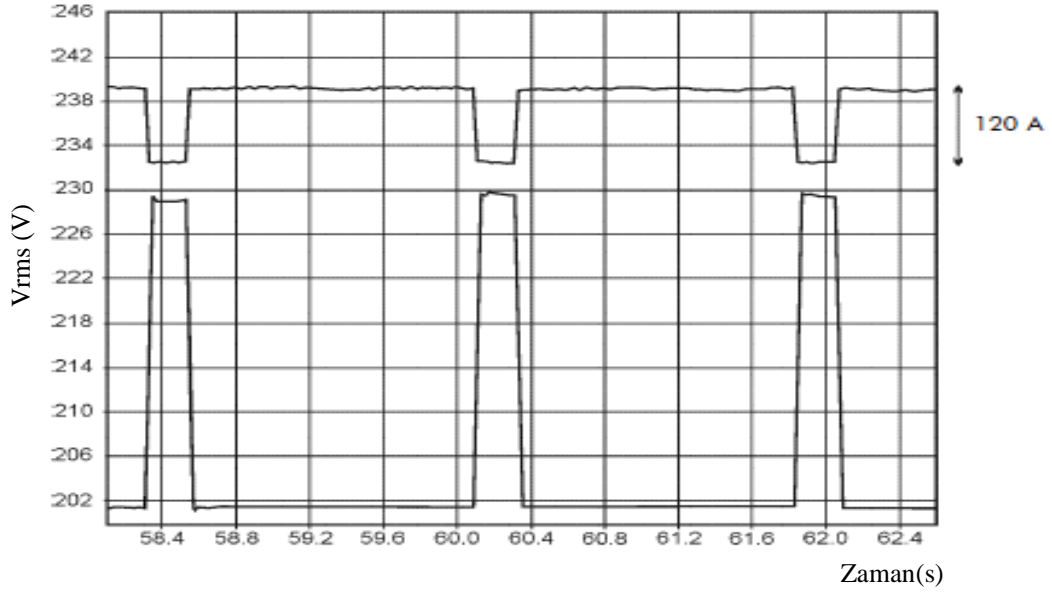
Gerilim değişimlerinin temel sebebi dalgalanan yüklerin reaktif güç bileşeninin zamanla değişkenliğidir. Bu yüklere örnek olarak ark fırınları, dönen mil sürücüleri, temel vinçler verilmektedir. Genellikle kaynağa bağlandıkları noktadaki kısa devre kapasitesine bağlı olarak yüksek oranlı güç değişmesi olan yüklerdir. Şekil 2.13'de ark fırınının bağlantı noktasında oluşan gerilim kırışmaları ve reaktif güç değişimleri verilmektedir [57].

Asenkron makinelerin, kaynak makinelerinin, ısıtma kazanlarının, güç regülatörlerinin, elektrikli testereler ve çekiçlerin, pompaların ve kompresörlerin, vinçlerin, asansörlerin, kırışma kaynağı olan v.b. cihazların çalışmaya başlaması küçük güçlü yüklerde çok önemlidir.

Diğer sebepler kaynak empedansının endüktif bileşenini değiştirebilen kondansatör anahtarlama ve yüklü trafoların bağlantı değiştiricileridir. Rüzgar türbinlerinin üretim kapasitesindeki değişimler etkili olabilmektedir. Bazı durumlarda, gerilim kırışmaları düşük frekanslı gerilim ara harmoniklerinden kaynaklanabilmektedirler. Şekil 2.14'de kaynak makinesinin çalışması sırasındaki güç sistemi gerilim kırışması verilmektedir [57].



**Şekil 2.13.** Reaktif güç değişimleri ve ark fırınının bağlantı noktasında oluşan gerilim kırışımları [57]



**Şekil 2.14.** Kaynak makinesinin çalışması sırasındaki güç sistemi gerilim kırışması [57]

### 2.3.3. Gerilim kırışmasının etkileri

Kırışma gerek ölçülmesi ve gerekse giderilmesi zor olan bir sorundur. Bir güç sisteminde kırışmanın etkileri iki şekilde görülmektedir [10].

1. Aydınlatma aygıtlarının beslendiği sistemdeki gerilim değişimi (dalgalanma).
2. Işık parıltısındaki değişimin insanı rahatsız edecek seviyeye ulaşması



Güç sistemlerindeki gerilim kırışımları önemli maliyetleri olan üretim süreçlerinin bozulması ile sonuçlanan bir dizi zararlı teknik etkilere sebep olmaktadır. Bununla birlikte, kırışmanın psikolojik etkisi son derece önemlidir. Çünkü kırışma, operatör yorgunluğuna sebep olan ve konsantrasyon seviyelerini azaltan üretim ortamının ergonomisini etkilemektedir. İlave olarak, kontaktör ve rölelerin düzensiz çalışması üretim süreçlerinin ciddi şekilde bozulmasına sebep olmaktadır.

Gerilim kırışmasının kötü etkilerinin açıklayıcı örnekleri aşağıda verilmektedir [57].

- Elektrik makineleri: Bir asenkron motorun terminallerinde gerilim kırışımları momentte ve kalkışta değişimlere ve üretim sürecinde buna bağlı etkilere sebep olmaktadır. En kötü ihtimalle, mekanik mukavemeti azaltan ve motor çalışma ömrünü kısaltan aşırı titreşime sebep olabilirler. Senkron motorların ve jeneratörlerin terminallerinde gerilim kırışımları titremeler meydana getirmekte ve rotorların vaktinden önce aşınmalarına neden olmaktadır.

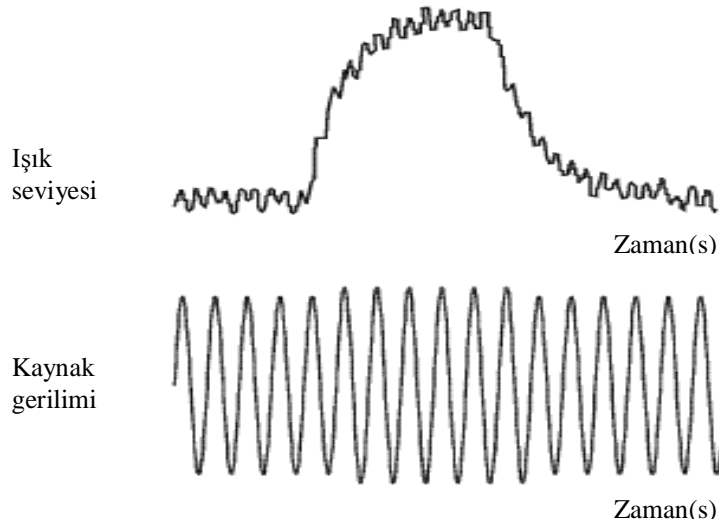
- Statik doğrultucular: Doğru akım taraflı parametre kontrolü olan faz-kontrollü doğrultucularda gerilim kırışmasının olağan etkisi güç faktöründe bir azalma ve karakteristik olmayan harmoniklerin ve ara-harmoniklerin oluşmasıdır. Çevirici modunda sürücü frenlemesi durumunda, iletim arızasıyla sonuçlanabilmekte ve sistem bileşenlerine zarar vermektedir.

- Elektroliz çözümleyiciler: Elektroliz ekümanlarının işletme verimleri ve kullanım ömürleri gerilim kırışımlarının oluşmasıyla azalabilmektedir. Hem de yüksek akım kaynaklı hattın elemanları önemli derecede aşınmakta dolayısıyla bakım ve tamir masrafları artmaktadır.

- Elektrikli ısıtıcı ekümanları: Tüm ısıtıcı ekümanların işletme verimleri önemli seviyelerde gerilim kırışmasının oluşmasıyla azalmaktadır. Örneğin ark fırını uzun erime zamanı gerektirmektedir [57].

- Işık kaynakları: Kaynak gerilim şiddetindeki herhangi bir değişim ışık kaynağının ışık akısında bir değişimle sonuçlanmaktadır. Bu parlaklığı veya spektral dağılımı t zamanı ile değiştiğinde kırışma olarak bilinmektedir. y katsayısı tipik olarak 3.1 ile 3.7 arasında değiştiği yerde ışık akısı  $\Phi$ ,  $\Phi-U^y$

ilişkinine göre uygulanan gerilimle orantılı olduğu için akkor ışık kaynakları kaynak gerilimindeki değişimlere karşı genellikle hassas olmaktadır. Şekil 2.15’de kaynak gerilim kırpışmasının sebep olduğu 60W , 230V’luk akkor lambadaki ışık akısındaki değişimi gösterilmektedir [58]. Kırpışma görüntüyü önemli bir şekilde zayıflatmaktadır ve genel olarak rahatsızlığa ve yorgunluğa sebep olmaktadır. Bu olgunun fizyolojisi karmaşıktır. Genel durumlarda, kırpışmanın görüntü sürecini ve insan beyin tepkisini etkilediği varsayılmaktadır. Kırpışan ışık kaynakları rahatsızlıklara ve işyerinde kazalara sebep olan bazı durumlarda çalışma kalitesinde bozulmalara neden olmaktadır.



Şekil 2.15. Bir akkor lambanın ışık akısı üzerindeki gerilim değişiminin etkisi [58]

#### 2.4. Kırpışma Değerlendirme Yöntemleri

Kırpışma için en önemli noktalardan biri de değerlendirmedir. Bunun nedeni kesin bir matematik tanımının bulunmamasıdır. Kırpışma değerlendirme yöntemi ile ortaya çıkan sonuç kırpışma düzeyinin kabul edilebilir olup olmadığını ortaya koymakta ve bunun sonucunda kırpışmaya karşı alınacak önlemlerinde temel noktasını oluşturmaktadır. Kırpışma değerlendirmesi için çeşitli ölçüm teknikleri geliştirilmiştir. A.B.D. ve Kanada’da yaygın olarak kabul edilen bir kırpışma standardı bulunmamaktadır. Avrupa ve diğer ülkelerde, uluslararası elektroteknik komisyonu IEC “kırpışma eğrisi” yöntemine dayanan bir grup standart geliştirmiştir. IEEE çalışma grubu son zamanlarda A.B.D. ve Kanada’nın ihtiyaçlarını dikkate alarak IEC standartlarında değişiklikler yapmışlardır [10].

### 2.4.1. IEEE kırpışma standartları

Kırpışmanın oluşturacağı görsel rahatsızlığı ortadan kaldırmak üzere standartlar oluşturulmuştur. IEEE 1453 standart'ına göre gerilim seviyelerine göre kırpışma için planlanan ve uygunluk seviyeleri Çizelge 2.3 ve Çizelge 2.4'de verilmektedir [6].

**Çizelge 2.3.** MV, HV, ve EHV güç sistemlerinde  $P_{st}$  ve  $P_{lt}$  için planlanan seviyeler [6]

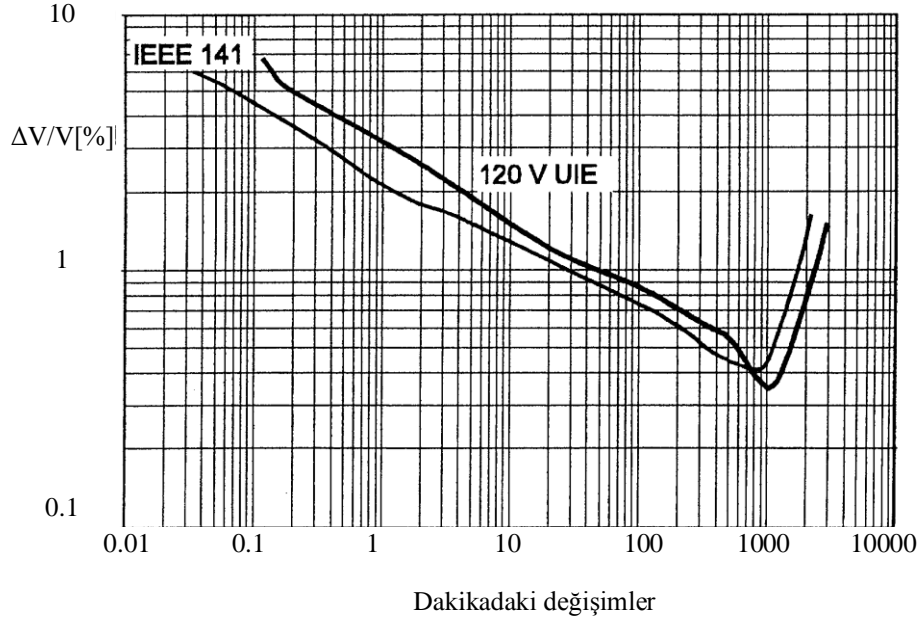
	Planlanan seviyeler	
	MV	HV-EHV
$P_{st}$	0.9	0.8
$P_{lt}$	0.7	0.6

**Çizelge 2.4.** LV ve MV güç sistemlerinde  $P_{st}$  ve  $P_{lt}$  için uygunluk seviyeleri [6]

	Uygunluk seviyeleri
$P_{st}$	1.0
$P_{lt}$	0.8

IEEE gerilim kırpışma sınırlarını önerilen uygulama dokümanları olarak yayınlamıştır. Bunların en önemli iki tanesi [3] ve [12]'dir. Aynı olmalarına çalışılmışsa da aralarında çok az fark bulunmaktadır. Her iki dökümanda önerilen uygulama Şekil 2.16'da gösterilmektedir [10].

IEEE kırpışma eğrisindeki  $\Delta V / V$  ifadesine bağlı gerilim değişimi olarak ifade edilmektedir. Burada  $\Delta V$  sistem geriliminin ölçüm anındaki etkin değeri ile kalıcı durum geriliminin efektif değeri arasındaki farktır.  $V$  bir süre boyunca yapılan ölçüm sonucunda elde edilen geriliminin efektif değerini ifade edilmektedir. Ölçüm sonucu elde edilen kırpışma frekansı ve bağlı gerilim değişiminin kombinasyonu sonucu elde edilen değerlerin eğrinin altında kalması rahatsız etmeyici durum olarak kabul edilmektedir [3].



**Şekil 2.16.** Kırpışma eğrisi [10]

IEEE kırpışma eğrisini oluşturan araştırmalar 50 yıllık bir geçmişe dayanmaktadır. Araştırmalar akkor telli lambalarda farklı kırpışma değerleri ve süreleri ile yapılmıştır. Çeşitli güçlerde lambalar kullanılmış ancak 60W gücündeki lamba ağırlığı oluşturmuştur. Araştırmalar sırasında yapılan deneylerde deneye katılanlardan çeşitli kırpışma düzeyleri için ne hissettiklerini belirtmeleri istenmiştir. Katılımcılar hislerini görememe, görme fakat rahatsız olmama veya rahatsız olma şeklinde belirtmişlerdir. Deneye katılanlar görme ve rahatsız olma konusunda her zaman aynı karara varamadıkları için deneylerin istatistiksel bir doğası olmuştur. Araştırmacılar görünebilirlik ve rahatsızlık eğrilerini kabul edilebilir seviyeye çekmişlerdir. Rahatsızlık sınırının az bir miktar aşağısındaki kırpışma seviyesi çok az sayıda kişi için hafif bir rahatsızlık oluşturabilir. Kırpışma seviyesini rahatsızlık sınırının üstüne çıkması iki sonuç üretmektedir [10]:

1. Oransal olarak daha fazla kişi rahatsız olacaktır.
2. Daha düşük seviyede rahatsız olanlar bu seviyede daha çok rahatsız olacaktır.

Unutulmaması gereken önemli nokta araştırmaların çoğunun 60W gücünde ve 120V gerilim de çalışan lambalar için yapıldığıdır. Daha düşük güçteki akkor telli lambalar daha küçük bir zaman sabitine sahiptirler. Bundan dolayı 1Hz

frekansındaki kırpışma da daha fazla rahatsızlık uyandırmaktadır. Daha yüksek güçteki akkor telli lambalar daha büyük zaman sabitine sahiptirler ve meydana getirdikleri rahatsızlık daha azdır. Yeni aydınlatma aygıtlarının kırpışma cevapları da farklı olmaktadır. Üzerinde durulması gereken önemli bir nokta da laboratuvar deneyleri sırasında ani gerilim değişimlerinin kullanıldığıdır. 60Hz frekansındaki sinüsoidal dalga kare dalga ile module edilmiştir. Daha yavaş gerilim değişimleri daha az kırpışma rahatsızlığı üretmektedirler [3].

#### **2.4.2. IEC kırpışma standartları**

IEC kırpışma olgusu ile ilişkili olarak dört standart belirlemiştir. Bunlar IEC 61000-4-15, IEC 1000-3-3, IEC 1000-3-5 ve IEC 1000-3-7'dirler.

IEC 61000-4-15 kırpışma ölçer standardı olup bir kırpışma ölçer yapmak için gerekli bilgiler vermektedir. Bu standart kısa dönem kırpışma şiddet ( $P_{st}$ ) ve uzun dönem kırpışma şiddeti (long term flicker severity  $P_{lt}$ ) olmak üzere iki temel değişken tanımlamaktadır [5].

IEC 1000-3-3 Alçak gerilim sistemlerindeki akımı 16A'den küçük olan yükler için kırpışma sınırlarının nasıl belirleneceğinin ve yüklerin bu sınırlara uygun olup olmadığının nasıl belirleneceğini açıklamaktadır. Burada  $P_{st}$  ve  $P_{lt}$  değerleri temel değişkenler olarak kullanılmaktadır [7].

IEC 1000-3-5 Alçak gerilim sistemlerindeki akımı 16A'den büyük olan yükler için kırpışma sınırlarının nasıl belirleneceğini ve yüklerin bu sınırlara uygun olup olmadığının nasıl belirleneceğini açıklamaktadır. Burada  $P_{st}$  ve  $P_{lt}$  değerleri temel değişkenler olarak kullanılmaktadırlar [59].

IEC 1000-3-7 Orta ve yüksek gerilim sistemlerindeki emisyon seviyelerinin nasıl belirleneceğini ve yüklerin bu sınırlara uygun olup olmadığının nasıl belirleneceğini açıklamaktadır. Burada da  $P_{st}$  ve  $P_{lt}$  değerleri temel değişkenler olarak kullanılmaktadırlar [60].

Yukarıdaki standartlar  $P_{st}$  ve  $P_{lt}$  üzerine kurulu bir metodoloji tanımlamaktadırlar. Bu metodolojiye göre öncelikle kırpışma ölçer tanımlanmaktadır. Kırpışma ölçerin çıkışından  $P_{st}$  ve buradan  $P_{lt}$  elde edilmektedir.  $P_{st}$  ve  $P_{lt}$  değerlerinin IEC standartları tarafından tanımlanan yöntemler ile uygun olup olmadıkları belirlenmektedir.

## 2.5. IEC Standartlarına Göre Kırpışmanın Değerlendirilmesi

Şekil 2.16'da, farklı tekrarlama hızlarındaki kare biçimli gerilim değişimlerinin neden olduğu, standart lâmbalara ilişkin müsaade edilebilen kırpışmanın eşik değer eğrisi gösterilmektedir. Bu eğri,  $P_{st} = 1$ 'e karşılık gelir. Kare biçimli olmayan gerilim dalgalanmalarından kaynaklanan kırpışmanın şiddeti, IEC 1000-3-3 standardında belirtildiği gibi, bir kırpışma ölçer ile ölçme yapılarak ya da düzeltme faktörlerinin uygulanmasıyla bulunabilmektedir.

Çeşitli gerilim dalgalanması tiplerinden kaynaklanan  $P_{st}$ 'lerin değerlendirilmesi için alternatif yöntemler, Çizelge 2.5'de verilmektedir [61].

Çizelge 2.5. Değerlendirme yöntemleri [61]

Gerilim Dalgalanması Tipi	$P_{st}$ Değerlendirme Yöntemleri
Bütün gerilim dalgalanmaları (anlık değerlendirme)	Doğrudan ölçme
V(t) 'nin tarif edildiği yerlerdeki bütün gerilim dalgalanmaları	Simülasyon, doğrudan ölçme
Saniyede 1'den daha düşük bir oluş hızına sahip gerilim değişimi karakteristikleri	Analitik yöntem, simülasyon, doğrudan ölçme
Eşit aralıklarda kare şeklinde gerilim değişimleri	Şekil 2.16'daki $P_{st}=1$ eğrisinin kullanılması

### 2.5.1. Kırpışma ölçer

Bütün gerilim dalgalanma tipleri, [62]'de verilen özellikleri sağlayan bir kırpışma ölçer kullanılarak doğrudan ölçme yöntemiyle değerlendirilmektedirler. Bu yöntem, sınır değerlerin uygulanması için referans yöntemidir.

### 2.5.2. Simülasyon yöntemi

Bağıl gerilim değişiminin dalga şekli  $d(t)$ 'nin  $(\Delta V / V)$  bilindiği durumlarda  $P_{st}$  değeri, bir bilgisayar simülasyonu kullanılarak değerlendirilmektedir.

### 2.5.3. $P_{st}=1$ Eğrisinin kullanılması

Eşit zaman aralıkları ile ayrılmış, aynı "d" genliğine sahip kare biçimindeki gerilim değişimlerinin olması halinde, belli bir tekrarlama hızı için  $P_{st}=1$ 'e karşılık gelen genliği elde etmek için Şekil 2.16'daki eğri kullanılmaktadır. Bu genlik,

$d_{lim}$  ile gösterilmektedir. Bu durumda “d” gerilim değişimine karşılık gelen  $P_{st}$  değeri,  $P_{st} = d / d_{lim}$  eşitliği ile hesaplanmaktadır [61].

#### 2.5.4. Analitik yöntem

Efektif gerilim şekli  $V(t)$ ’nin bilinmesi durumunda  $P_{st}$  kırpışma eğrileri kullanılarak hesaplanmaktadır. Her bir bağıl gerilim değişimi karakteristiği, bir kırpışma izlenim süresi  $t_f$

$$t_f = 2,3(Fd_{max})^{3,2} \quad (2.3)$$

ifadesi ile verilmektedir. Denklem (2.3) kullanılarak  $t_f$  saniye cinsinden ifade edilmektedir. Şekil faktörü F, şekil faktörü eğrilerinden hesaplanmaktadır.  $\sum t_f$ ,  $T_p$  uzunluğunda toplam aralıkta bütün değerlendirme periyotlarındaki kırpışma izlenim sürelerinin saniye cinsinden toplamıdır ve  $P_{st}$ ’nin hesaplanmasında önemlidir.  $P_{st}$

$$P_{st} = (\sum t_f / T_p)^{1/n} \quad (2.4)$$

ifadesi ile verilmektedir. Şekil faktörü F, bağıl gerilim değişim karakteristiği  $d(t)$ ’yi kırpışma eşdeğeri olan bağıl basamak gerilim değişimi  $Fd_{max}$ ’a çevirmektedir [61].

### 3. KIRPIŞMA ÖLÇER

Kırpışma ölçerin en önemli görevi kırpışma düzeyini belirlemesidir. Bunun için farklı yapıları olan kırpışma ölçer kullanılmaktadır. Bu kırpışma ölçerlerden bazıları:

ERA, İngiliz kırpışma ölçeri 0.5-27Hz frekans bandında dalgalanan gerilim dalga şeklinin efektif değerini ölçmekte ve kabul edilebilir bir kararlılıkta okuma yapabilmek için yaklaşık 100 saniyelik zaman sabiti kullanılmaktadır. Genel olarak  $V_f$  rms değeri 60Hz'lik gerilim kaynağının yüzdesi ile ifade edilmektedir.

EDF, Fransız kırpışma ölçeri 0.5-25Hz frekans bandındaki gerilim dalgalarını algılamakta ve frekansa göre ölçeklendirilmiş işaretin karesinin ortalamasını almaktadır.

FGH, Alman kırpışma ölçeri akkor telli lamba yoluyla besleme gerilimindeki modülasyon bileşenlerini algılamakta ve süzmektedir. 12 filtre ile modülasyon bileşenleri ölçeklendirilmekte ve kırpışmanın ani değeri elde edilmektedir.  $\Delta V_{10}$  Japon kırpışma ölçeri gerilimin dalgalanan bileşenini belirlemek için tasarlanmıştır. EDF'ye benzemektedir. Bu kırpışma ölçerin merkez frekansı 10Hz'dir [9,63].

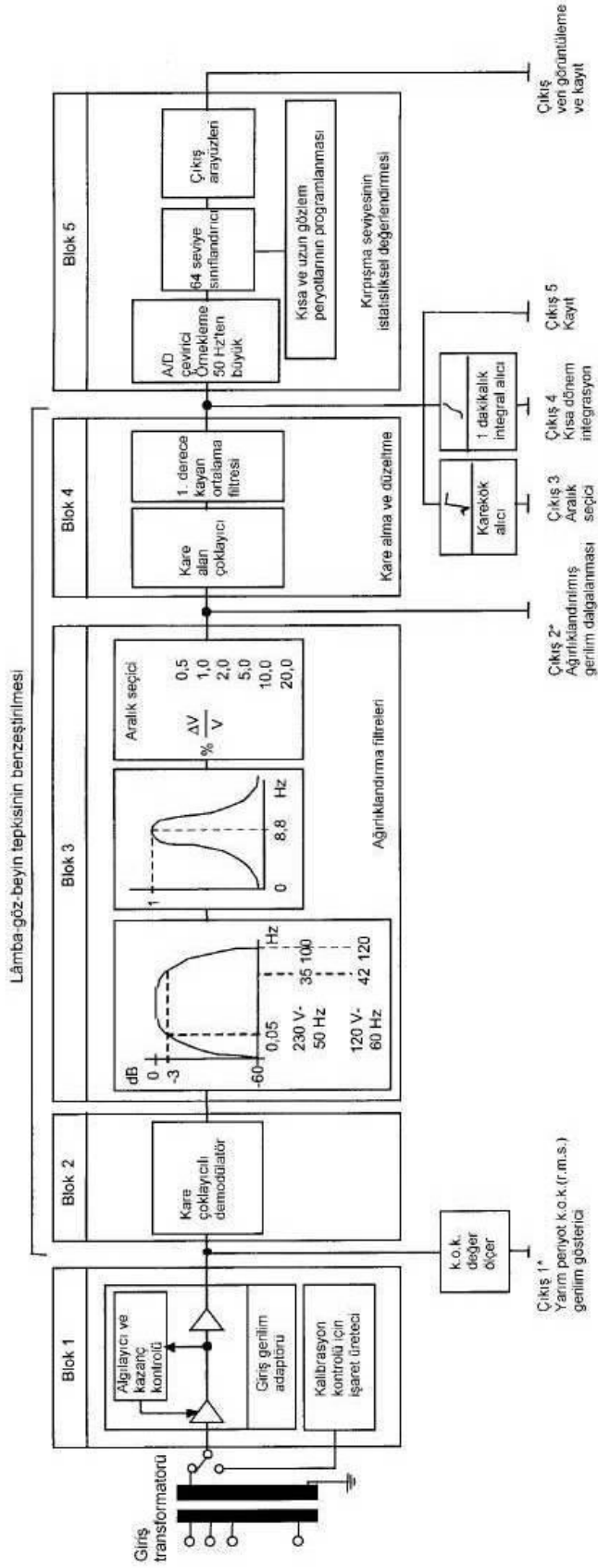
#### 3.1. IEC 61000-4-15 Kırpışma Ölçerin Yapısı

Kırpışma ölçerin çıkışına bakarak kırpışma şiddet derecesinin değerlendirilmesi için IEC 61000-4-15 standart'ı temel alınmaktadır. Bu standart'taki kırpışma ölçere ait özellikler, 230V-50Hz ve 120V-60Hz'lik giriş gerilim değerleri için geçerlidir. Kırpışma ölçerin yapısı Şekil 3.1'deki blok şemada verilmektedir. Gerçekleştirdiği görevlere göre iki kısma ayrılmaktadır [20,23,26,62]:

- Ampul-göz-beyin zinciri tepkisinin benzeştirilmesi,
- Kırpışma işaretinin doğrudan bağlı istatistiksel analiz ve sonuçların gösterilmesi.

İlk görev Şekil 3.1'deki blok 2, blok 3 ve blok 4 ile gösterilmekte olup ikinci görev ise blok 5 ile temsil edilmektedir [65,67].





Şekil 3.1. IEC kırpışma ölçerin fonksiyon şeması [65,67]

### 3.1.1. Giriş gerilim adaptörü ve kalibrasyon kontrol devresi

Blok 1 kırpışma ölçerin kalibrasyonunu sahada kontrol etmek amacıyla kullanılan işaret üretici ve şebeke giriş frekans geriliminin etkin değerinin ortalamasından dahili bir referans seviyeye ölçeklendirilmiş gerilim adaptasyon devresini içermektedir. Bu şekilde kırpışma ölçmeleri gerçek taşıyıcı gerilim değerinden bağımsız olmakta ve yüzdellik dilimlerle ifade edilmektedir [27,66].

Giriş gerilim transformatörü geniş bir aralıkta değişen anma gerilim değerini kabul etmekte ve bu gerilimleri takip eden devrelerin uyumlu en yüksek seviyelerine adapte etmekte kullanılmaktadır. En genel beyan gerilimleri Çizelge 3.1'de listelenen değerlerin -%30 ile +%20'lik sapma içerisinde olduğu düşünülmektedir [67].

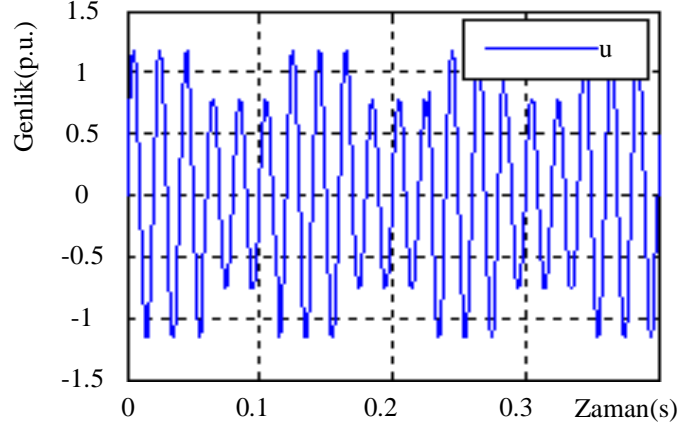
**Çizelge 3.1.** Beyan giriş gerilimlerinin aralıkları [67]

Beyan giriş gerilimi V <sub>k.o.k.</sub>	-%30 V <sub>k.o.k.</sub>	+%20 V <sub>k.o.k.</sub>
57.7	40	68
100	70	120
115	80.5	130
120	84	144
127	89	152
160	112	192
220	154	264
230	161	276
240	168	288
380	266	456
400	280	480
420	294	504

Kalibrasyon kontrolü için dahili üreteç 50Hz'lik sistemler için kare bir gerilim dalgalanması elde etmek için 2.94Hz'lik (50/17Hz) frekans tarafından ve 60Hz'lik sistemler için dik açılı bir gerilim değişimini elde etmek için 3.53Hz'lik (60/17Hz) frekans tarafından modüle edilmiş şebeke frekansında bir sinüs işareti üretmektedir. Bu devrenin önemli karakteristikleri aşağıdaki gibidir [67].

- Şebeke gerilimi taşıyıcı faz kilitlemeli'dir.
- $\Delta V/V$  modülasyonu %1'dir.
- Taşıyıcı seviyesi, tüm ölçme aralıklarına uygundur.
- Modülasyon frekansının doğruluğu %1'dir.

Kırpışma ölçere uygulanan giriş geriliminden doğru akımı bileşeni çıkartılarak rms elde edilmektedir. Elde edilen sinyal normalleştirilerek  $u$  sinyali elde edilmektedir. Şekil 3.2’de giriş sinyali ( $u$ ) dalga şekli verilmektedir.

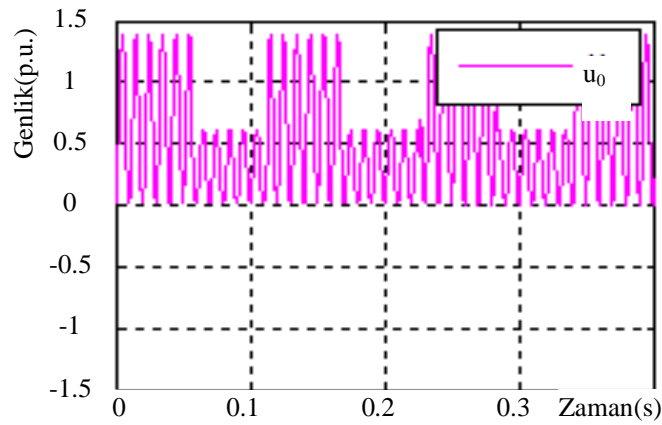


Şekil 3.2. Blok 1 çıkışında elde edilen sinyal

### 3.1.2. Kare çoklayıcı demodülatör

Blok 2 referans seviyesine ölçeklendirilmiş giriş geriliminin karesini alarak gerilim dalgalanmasını düzeltmektedir. Böylece bir lambanın davranışı benzeştirilmiş olmaktadır. Bu devre, girişteki dalgalanmanın genliğine doğrusal olarak bağlı bir bileşen olarak çıkış vermektedir [23,67].

Blok 2’de blok 1 çıkışında elde edilen sinyalin karesi alınarak bir lâmbanın davranışı benzeştirilmekte ve  $u_0$  sinyali elde edilmektedir. Karesi alınan sinyal blok 3’e gönderilmektedir. Şekil 3.3’de  $u_0$  sinyali dalga şekli verilmektedir.



Şekil 3.3. Blok 2 çıkışında elde edilen sinyal

### 3.1.3. Ağırlıklandırma filtreleri

Blok 3 kaskad bağlanmış iki filtre ve seçici filtre devresinden önce gelen veya onu takip eden ölçme aralığı seçicisinden oluşmaktadır.

Ağırlıklandırma filtreleri:

- Demodülatörün çıkışındaki mevcut şebeke frekansının iki katında olan bileşenleri ve doğru akım bileşenlerini ortadan kaldırmak için,
- Gerilim dalgalanmasını, lamba-göz-beyin hassasiyetine göre ağırlıklandırmak için kullanılmaktadır [27].

İlk filtre orta geçiren (bandpass) filtredir. 0.05Hz'lik kesim frekansına sahip birinci dereceden yüksek geçiren filtreden ve 35Hz'lik kesim frekansına sahip 6.dereceden alçak geçiren Butterworth filtresinden oluşmaktadır. Bu filtre demodülatör çıkışındaki doğru akımı ve ikili şebeke frekansı dalgacık bileşenlerinin elimine edilmesini sağlamaktadır. Elde edilen sinyal 0.05Hz ile 35Hz arasında olan kırpışma sinyalidir [23,64].

İkinci filtre insanın görme sistemine uygun bobinli ve filamanlı gaz doldurulmuş lambalardaki (60W-230V ve/veya 60W-120V) sinüs biçimli gerilim dalgalanmalarının frekans tepkisini benzeştirmek için kullanılmaktadır. Tepki fonksiyonu deneyden geçirilen insanların %50'si tarafından her bir frekanstaki algılanabilir eşik değerine dayandırılmıştır. Ağırlıklandırma filtresinin transfer fonksiyonu

$$F(s) = \frac{k\omega_1 s}{s^2 + 2\lambda s + \omega_1^2} \times \frac{1 + s/\omega_2}{(1 + s/\omega_3)(1 + s/\omega_4)} \quad (3.1)$$

ifadesi ile verilmektedir [67,68]. Burada s, karmaşık laplace değişkenidir. Parametrelerin gösterim değerleri Çizelge 3.2'de verilmektedir [67].

**Çizelge 3.2.** Lambaların parametreleri için gösterim değerleri [67]

Değişken	230V lamba 50Hz sistem	120V lamba 60Hz sistem
k	1.74802	1.6357
$\lambda$	$2\pi(4.05981)$	$2\pi(4.167375)$
$\omega_1$	$2\pi(9.15494)$	$2\pi(9.077169)$
$\omega_2$	$2\pi(2.27979)$	$2\pi(2.939902)$
$\omega_3$	$2\pi(1.22535)$	$2\pi(1.394468)$
$\omega_4$	$2\pi(21.9)$	$2\pi(17.31512)$

Ölçme aralığı seçicisi, ölçülecek gerilim dalgalanmasının genliğine uygun olarak kazancı değiştirerek cihazın hassasiyetini belirlemektedir. 8.8Hz sinüs dalga modülasyonu için, bağıl gerilim değişimi  $\Delta V/V$  olarak açıklanan ölçme aralıkları , %0.5, %1, %2, %5, %10 ve %20'dir [67].

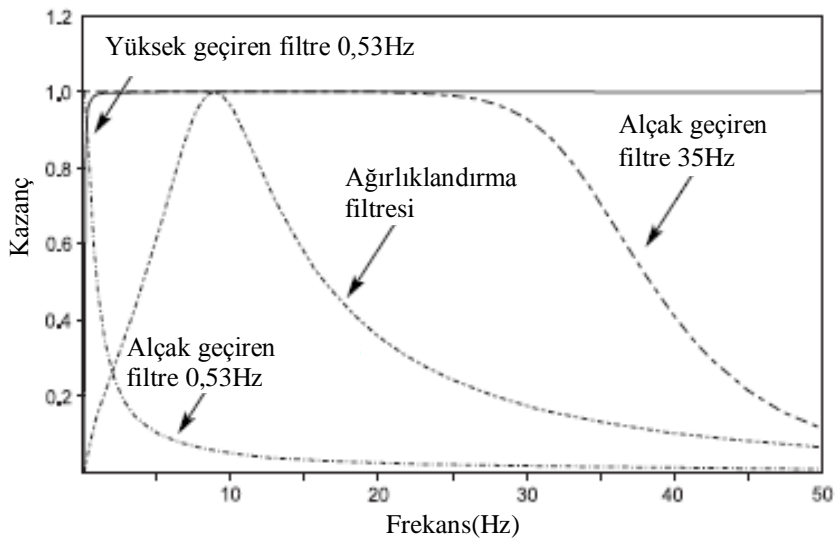
#### 3.1.4. Kare alma çoklayıcısı ve kayan ortalama filtresi

Blok 4 kare alma çoklayıcısından ve birinci derece alçak geçiren filtreden oluşmaktadır. Kare alma işlemcisi, 8.8Hz'teki kabul edilebilir kırpışma seviyesini içinde bulunduracak yeterlilikte çalışma aralığında giriş ve çıkışa sahip olmaktadır. Kayan ortalama işlemcisi zaman sabiti 300ms olan birinci dereceden alçak geçiren filtreden oluşmaktadır [22,69]. Blok 4 iki fonksiyona sahiptir:

- Ağırlıklandırılmış kırpışma işaretinin karesini alarak, doğrusal olmayan göz-beyin algılamasını benzeştirmek,
- Beynin depolama etkisini benzeştirmek için işaretin kayan ortalamasını almak.

İnsanın lamba, göz ve beyin yoluyla kırpışmayı hissetmesi, blok 2, blok 3, ve blok 4'ün doğrusal olmayan tepkisi ile benzeştirilmektedir. Blok 4'ün çıkışı ani kırpışma hassasiyetini göstermektedir [67].

Şekil 3.4'de yüksek geçiren filtrenin, butterworth alçak geçiren filtrenin, ağırlıklandırma filtrenin ve alçak geçiren filtrenin çıkışları gösterilmektedir [70].



Şekil 3.4. 230V/50Hz'lik sistemde kare biçimli gerilim dalgalanması için kırpışma ölçer filtrelerinin genlik cevapları [70]

IEC 61000-4-15 kırpışma ölçer standartında, 230V/50Hz ve 120V/60Hz sistemlerde sinüs ve kare biçimli gerilim dalgalanmaları için anlık kırpışma şiddetinin bir (1) birim olarak ölçülmesine yol açan cihaz girişinden blok 4'ün çıkışına kadar olan toplam analog tepki verilmektedir. Tepki sinüs biçimli modülasyon için 8.8Hz'de merkezlenmiştir.

Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4 230V/50Hz'lik sistemde sinüs ve kare biçimli gerilim dalgalanmaları için IEC standartında verilmiş olan kırpışma ölçer tepkilerini içermektedir. Sinüs ve kare dalga modülasyonları için giriş değerleri, algılanabilirliğin bir birimlik çıkışı için olan tablodaki değerlerin  $\pm\%5$  sınırları içinde ise istenilen doğruluk elde edilmektedir. IEC standartına göre, 25Hz'in üzerindeki kırpışma frekansları ihmal edilmektedir [22].

**Çizelge 3.3.** Sinüs biçimli gerilim dalgalanmaları için kırpışma ölçer tepkileri [67]

Hz	$\Delta V / V$	Hz	$\Delta V / V$	Hz	$\Delta V / V$	Hz	$\Delta V / V$
0.5	2.340	5.0	0.398	10.0	0.260	17.0	0.530
1.0	1.432	5.5	0.360	10.5	0.270	18.0	0.584
1.5	1.080	6.0	0.328	11.0	0.282	19.0	0.640
2.0	0.882	6.5	0.300	11.5	0.296	20.0	0.700
2.5	0.754	7.0	0.280	12.0	0.312	21.0	0.760
3.0	0.654	7.5	0.266	13.0	0.348	22.0	0.824
3.5	0.568	8.0	0.256	14.0	0.388	23.0	0.890
4.0	0.500	8.8	0.250	15.0	0.432	24.0	0.962
4.5	0.446	9.5	0.254	16.0	0.480	25.0	1.042

**Çizelge 3.4.** Kare biçimli gerilim dalgalanmaları için kırpışma ölçer tepkileri [67]

Hz	$\Delta V / V$	Hz	$\Delta V / V$	Hz	$\Delta V / V$	Hz	$\Delta V / V$
0.5	0.514	5.0	0.293	10.0	0.205	17.0	0.413
1.0	0.471	5.5	0.269	10.5	0.213	18.0	0.452
1.5	0.432	6.0	0.249	11.0	0.223	19.0	0.498
2.0	0.401	6.5	0.231	11.5	0.234	20.0	0.546
2.5	0.374	7.0	0.217	12.0	0.246	21.0	0.586
3.0	0.355	7.5	0.207	13.0	0.275	22.0	0.604
3.5	0.345	8.0	0.201	14.0	0.308	23.0	0.680
4.0	0.333	8.8	0.199	15.0	0.344	24.0	0.743
4.5	0.316	9.5	0.200	16.0	0.376	33.33	1.67

### 3.1.5. Hatta doğrudan bağlı istatistiksel analiz

Blok 5, kırpışma seviyesinin hatta doğrudan bağlı analizini gerçekleştiren mikroişlemciyi içermekte ve bundan dolayı kayda değer değerlendirme parametrelerin doğrudan hesaplanmasına izin vermektedir. Uygun bir ara birim verilerin gösterilmesi ve kaydedilmesinde kullanılmaktadır. Blok 5 ile hatta doğrudan bağlı olarak gerçekleştirilen istatistiksel analiz, kırpışma seviyesinin genliğine göre uygun sayıda sınıflara bölünebilmektedir [67].

Uygun değerler oluştuğunda her zaman karşılık gelen sınıfın sayacı bir arttırılmaktadır. K. sınıfa karşılık gelen en düşük limiti aşan sinyal süreleri elde edilmektedir. Bu yöntemle, giriş değerlerin frekans dağılım fonksiyonu elde edilmektedir. En yüksek kırpışma frekansının en az iki katı değerindeki tarama frekansı seçilerek, ölçme aralığının bitimindeki en son sonuçta, her bir sınıftaki kırpışma seviye süresinin dağılımı gösterilmektedir. Tüm sınıflardaki sayaçların içerikleri toplandığında ve her sınıfın sayısı toplama göre ifade edildiğinde kırpışma seviyelerinin Birikimli Olasılık Fonksiyonu (Cumulative Probability Function-CPF) elde edilmektedir. Yüz ile çarpıldığında %CPF elde edilmektedir. Toplam olasılık fonksiyonundan ortalama, standart sapma, kırpışma seviyesinin verilen yüzdelik dilimi aşmaya başladığı zaman veya alternatif olarak belirlenmiş kırpışma seviyesinin aşmaya başladığı zaman yüzdesi gibi önemli istatistiksel bilgiler gözlemek mümkündür [64].

Aralık seçici ile toplam sınıflandırma sonucundan ortaya çıkan olasılık fonksiyonunun en yüksek sınıfıyla uyumlu seviye arasındaki ilişki Çizelge 3.5'de gösterilmektedir [67].

**Çizelge 3.5.** Aralık seçici değerleri ile algılama seviyeleri arasındaki ilişki [67]

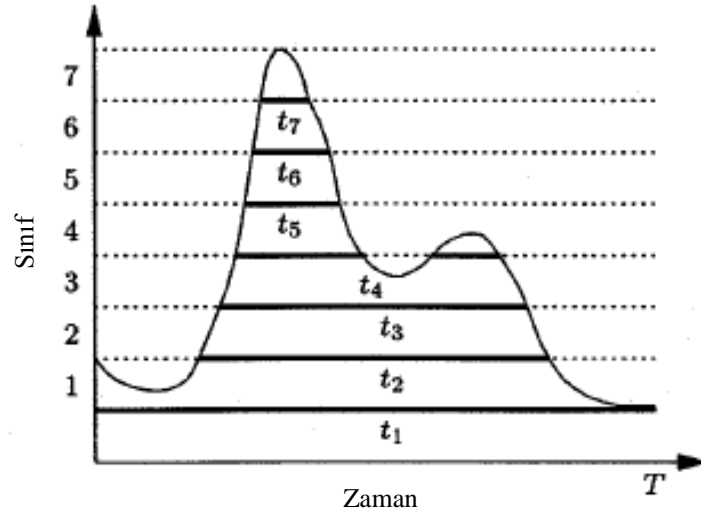
$\Delta V / V(\%)$	Algılanabilirlik eşiğinin birim olarak hassasiyet seviyeleri
0.5	4
1	16
2	64
5	400
10	1600
20	6400

Gözlem periyodu ayarlanabilen iki zaman aralığıyla tanımlanmaktadır: Uzun aralık  $T_u$  ve kısa aralık  $T_k$ . Uzun aralık toplam gözlem süresini tanımlanmakta ve her zaman kısa aralığın tam katı olmaktadır ( $T_u = nT_k$ ). Hatta doğrudan bağlı işlem için, her kısa zaman aralığının sona ermesinden hemen sonra bir sonraki zaman aralığının istatistiksel analizi başlatılmakta ve geçen zaman aralığı çıkışa verilebilir hale gelmektedir.  $T_k$  1dk, 5dk, 10dk ve 15dk değerlerinden biri olarak seçilebilmektedir [67].

Zaman domain'indeki bir sinyal için, T zamanının bir periyodunu aşan l sinyal seviyesinin Birikimli Olasılığı (Cumulative Probability-p(l))

$$p(l) = \frac{l\text{den büyük olan sinyallerin toplam zamanı}}{T} \quad (3.2)$$

ifadesi ile verilmektedir.  $p(l)$ 'nin grafiksel gösterimi CPF olarak isimlendirilmektedir. IFL'nin CPF'si, gözlem zamanını aşan kırpışma seviyelerinin yüzdelerini vermektedir [11]. Şekil 3.5'de 7 sınıf için sınıflandırma verilmektedir.



Şekil 3.5. Zaman eksenindeki bir sinyalin 7 sınıf için sınıflandırılması [11]

### 3.1.6. Kısa dönem kırpışma değerlendirme $P_{st}$

Güç kalitesinin önemli ve geçerli bir endeksi  $P_{st}$ 'dir. IEC standartlarında  $P_{st}$ 'nin doğru bir biçimde hesaplanması güç kalitesinin izlenmesinde önemli bir



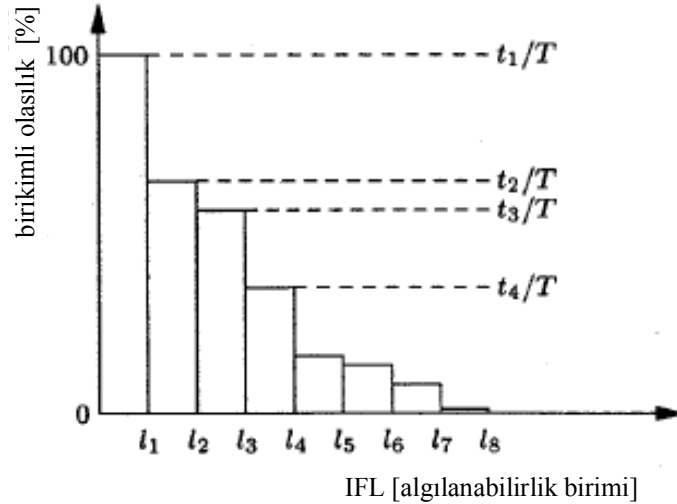
yoldur [6,67].  $P_{st}$ 'yi hesaplamak için CPF üzerinde değerlendirme noktaları kullanılmaktadır. Değerlendirme noktalarının ( $P_{xi}$ ) değerlerinin hesaplanması için IFL sinyali aralıkları logaritmik olarak veya lineer olarak bölünmüş uygun sayıda sınıflara bölünmektedir.

Her bir  $t_k$  ( $k=1\dots7$ ) k. sınıfa karşılık gelen en düşük limiti aşan sinyal süresini göstermektedir. T gözlem süresi sonucunda meydana gelen CPF Şekil 3.6'da gösterilmektedir [11].

Aralıkları lineer olarak bölmede k'nıncı sinyal seviyesi

$$I_k = I_{\max} \frac{k-1}{N-1} + I_{\min} \frac{N-k}{N-1} \quad (k=1, \dots, N) \quad (3.3)$$

ifadesi ile verilmektedir [11]. Burada  $I_k$ , k. sinyal seviyesini;  $I_{\min}$ , minimum anlık kırpışma seviyesini;  $I_{\max}$ , maximum anlık kırpışma seviyesini; N, CPF'nin noktalarının sayısını göstermektedir.



**Şekil 3.6.** Gözlem süresi T için Şekil 3.1'deki sinyalin %CPF'si [11]

Aralıkları logaritmik olarak bölmede k'nıncı sinyal seviyesi

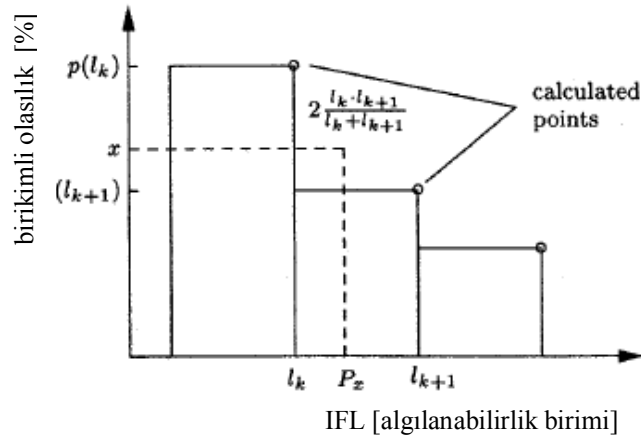
$$I_k = I_{\max}^{(k-1)/(N-1)} \times I_{\min}^{(N-k)/(N-1)} \quad (k=1, \dots, N) \quad (3.4)$$

ifadesi ile verilmektedir.

%CPF üzerinde arzu edilen değerlendirme noktalarının seviyeleri ( $P_{xi}$ ), karşılık gelen sınıftan seçilmektedir.  $P_{xi}$ , komşu olan noktaların harmonik ortalaması alınarak

$$P_{xi} = \frac{2l_k \times l_{k+1}}{l_k + l_{k+1}} \quad (3.5)$$

ifadesi ile verilmektedir. Şekil 3.7’de harmonik ortalama ile  $P_{xi}$ ’nin elde edilmesi gösterilmektedir [11].



Şekil 3.7. Harmonik ortalama ile sınıf gösterimi [11]

Kısa dönem 10 dakikalık gözlem periyodunu göstermektedir. Kısa dönem kırpışma şiddeti  $P_{st}$

$$P_{st} = \sqrt{\sum_i k_i P_{x_i}} = \sqrt{0.0314P_{0.1} + 0.0525P_{1s} + 0.0657P_{3s} + 0.28P_{10s} + 0.08P_{50s}} \quad (3.6)$$

ifadesi ile verilmektedir [18,67]. Burada  $k_i$ , i'ninci ağırlıklandırma katsayısını;  $P_{x_i}$ , gözlem periyodunun %  $x_i$  'sini aşan CPF eğrisi seviyesini göstermektedir.

Buradaki 0.0314, 0.0525, 0.0657, 0.28 ve 0.08 değerleri ağırlıklandırma katsayılarıdır.  $P_{0.1}$ ,  $P_1$ ,  $P_3$ ,  $P_{10}$ ,  $P_{50}$  çarpanları, gözlem periyodu süresi içindeki zamanın %0.1, %1, %3, %10 ve %50'sini aşan kırpışma seviyeleridir. Denklem (3.6)'daki s takıları düzleştirilmiş (smoothed) değerlerin kullanılabileceğini göstermektedir. 5 tane değerlendirme noktası

$$\begin{aligned}
P_{50s} &= (P_{30} + P_{50} + P_{80}) / 3 \\
P_{10s} &= (P_6 + P_8 + P_{10} + P_{13} + P_{17}) / 5 \\
P_{3s} &= (P_{2.2} + P_3 + P_4) / 3 \\
P_{1s} &= (P_{0.7} + P_1 + P_{1.5}) / 3
\end{aligned} \tag{3.7}$$

ifadesi ile verilmektedir. CPF üzerinde 15 tane yardımcı değerlendirme noktası kullanılarak (3.7)'deki değerlendirme noktaları hesaplanmaktadır [67,71,72].

### 3.1.7. Uzun dönem kırışma değerlendirme $P_{lt}$

Kısa dönem kırışma şiddet değerlendirilmesini temel alan 10dk'lık peryot, bağımsız kaynakların sebep olduğu kısa görev çevrimli kırışmaların değerlendirilmesi için uygun olmaktadır. Bozulmaya sebep olan birbirinden bağımsız yüklerin (kaynak makinesi, motor v.b.) rastgele çalışmalarının toplam etkisi dikkate alındığında veya kırışma kaynaklarının uzun ve değişken görev çevrimlerine sahip olduğu durumlar (örneğin ark fırınları) incelendiğinde, kırışma şiddet derecesinin uzun dönemli incelenmesi için bir kriter oluşturulması gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda uzun dönem kırışma şiddeti  $P_{lt}$ , yükün görev çevrimi ile ilişkili uygun bir peryot üzerinden alınacak kısa dönem kırışma şiddetinden veya kırışmaya maruz kalan bir gözlemcinin bir periyodu üzerinden türetilmektedir. Örneğin birkaç saat için  $P_{lt}$

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^N P_{sti}^3}{N}} \tag{3.8}$$

ifadesi ile verilmektedir [63,67]. Burada  $P_{sti}$  ( $i=1,2,3, \dots$ ),  $P_{st}$ 'nin arka arkaya okunan değerlerini göstermektedir. Kısa dönem 10 dakika olarak alınırsa uzun dönem 2 saat olmalıdır. Buna göre  $N=12$  olarak alınmaktadır [18].

### 3.2. Kırışma Denklemi

Kırışmayı ölçmek ve etkilerini açıklamak için gerilim ifadesi önemlidir. IEC standardına göre, kırışmaya sebep olan gerilim salınımı genlik modülasyonuna uğramış bir sinyal olarak

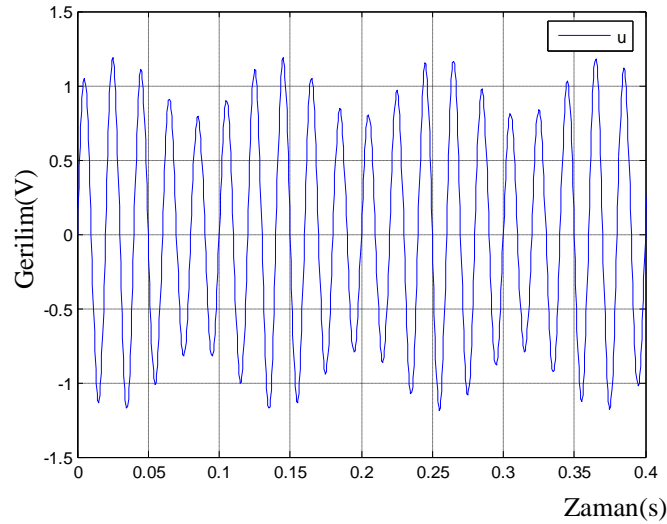
$$v(t) = V \sin(2\pi f_0 t) \left[ 1 + \frac{1}{2} \frac{\Delta V}{V} \sin(2\pi f_f t + \phi) \right] \quad (3.9)$$

ifadesi ile verilmektedir [22]. Burada  $V$ , taşıyıcı sinyalin genliğini;  $f_0$ , taşıyıcı sinyalin frekansını;  $f_f$ , kırpışma frekansını;  $\frac{\Delta V}{V}$ , ilgili gerilim dalgalanmasını;  $\phi$ , kırpışmaya karşılık gelen faz açısını göstermektedir.

Örneğin bağıl gerilim dalgalanması %40'a eşit ve 8.8Hz ile sinüsoidal modülasyon yapılmış 1.0 ortalama gerilime sahip 50Hz'lik dalga şeklinin denklemi

$$v(t) = 1 \sin(2\pi(50)t) \left[ 1 + \frac{1}{2} \frac{40}{100} \sin(2\pi(8.8)t) \right] \quad (3.10)$$

ifadesi ile verilmektedir [67]. Denklem (3.10)'a karşılık gelen dalgaşekli Şekil 3.8'de verilmektedir. Sinüsoidal gerilim dalgalanması 8.8Hz'lik frekans değerinde meydana gelmektedir.



Şekil 3.8. Sinüsoidal biçimli gerilim dalgalanması

Örneğin bağıl gerilim dalgalanması %40'a eşit ve 8.8Hz ile kare modülasyon yapılmış 1.0 ortalama gerilime sahip 50Hz'lik dalga şeklinin denklemi

$$v(t) = 1 \sin(2\pi(50)t) \left\{ 1 + \frac{1}{2} \frac{40}{100} \text{signum}[\sin(2\pi(8.8)t)] \right\} \quad (3.11)$$

ifadesi ile verilmektedir [67]. Burada signum fonksiyonu sinyalin pozitif ve negatif işaretini belirlemektedir. Signum fonksiyonu

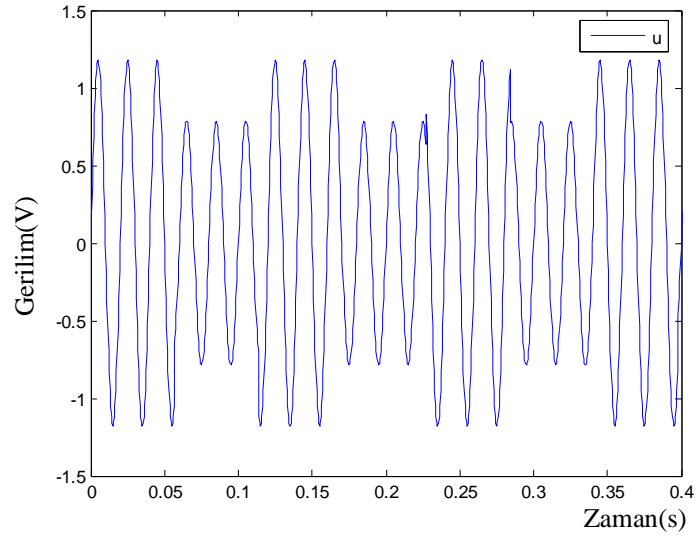
$$\text{signum}(x) = \begin{cases} 1, & \dots x > 0 \\ 0, & \dots x = 0 \\ -1, & \dots x < 0 \end{cases} \quad (3.12)$$

ifadesi ile verilmektedir. Denklem (3.11)'e karşılık gelen dalgaşekli Şekil 3.9'da verilmektedir. Kare gerilim dalgalanması 8.8Hz 'lik frekans değerinde meydana gelmektedir.

Kırpışma ölçerdeki giriş geriliminde daha karmaşık gerilim dalgalanması varsa

$$v(t) = V \sin(2\pi f_0 t) \left( 1 + \sum_{i=1}^N \frac{\Delta V_i}{2V} \sin(2\pi f_i t + \phi_i) \right) \quad (3.13)$$

ifadesi ile verilmektedir. Burada  $V$ , taşıyıcı sinyalin genliğini;  $f_0$ , taşıyıcı sinyalin frekansını;  $f_i$ , i. kırpışma frekansını;  $\Delta V_i / V$ , i. gerilim dalgalanmasını;  $N$ , kırpışmanın sayısını;  $\phi_i$ , i. kırpışmaya karşılık gelen faz açısını göstermektedir [22].



Şekil 3.9. Kare biçimli gerilim dalgalanması

### 3.3. Kırpışma Ölçer Performans Testi

Bütün kırpışma ölçer ve onun sınıflandırıcısı Çizelge 3.6'da verilen kare biçimli gerilim değişiminin düzenli bir serisine maruz bırakılmaktadır. Her durumda kırpışma şiddeti  $P_{st}$   $1.00 \pm 0.05$  aralığında olmalıdır [67].

Çizelge 3.6. Kırpışma ölçerin performans test değerleri [67]

Dakikadaki kare biçimli gerilim değişimleri	Dakikadaki kare değişimler (Hz)	Gerilim değişimler $\Delta V / V$ (%)
1	0.0083	2.724
2	0.0167	2.211
7	0.0583	1.459
39	0.3250	0.906
110	0.9167	0.725
1620	13.5	0.402
4000	33.33	2.40

### 3.4. Kırpışma Ölçer Lineerlik Testi

Bütün kırpışma ölçer ve onun sınıflandırıcısı Çizelge 3.7'de verilen çarpma faktörleri için test edilmektedir. 230V-50Hz'lik sistemde çarpma faktörü 1 için  $P_{st}$  değeri 1 olmalıdır. Farklı çarpma faktörleri için örneğin çarpma faktörü iki katı olduğu zaman  $P_{st}$  değeride bunun sonucu olarak iki katı olmalıdır [14].

Çizelge 3.7. Kırpışma ölçerin lineerlik test değerleri [14]

$\Delta V / V(\%)$	$P_{st}$
0.01	0.01
0.02	0.02
0.05	0.05
0.1	0.1
1 (test değeri)	1
2	2
5	5
10	10
15	15
20	20

### 3.5. Kırpışma Ölçer Homojenlik Testi

IEC 61000-4-15 standardı homojenlik özelliğine sahip olması gereken bir kırpışma ölçer gerektirmektedir. Örneğin  $\Delta V / V$  değeri iki katı olduğu zaman  $P_{st}$  değeride bunun sonucu olarak iki katı olmalıdır. Kırpışma ölçerin homojenliği farklı frekanslarda  $\Delta V / V$  değerinin iki katı ve yarısı uygulanarak kontrol edilmektedir. Çizelge 3.8’de kırpışma ölçer için homojenlik değerleri verilmektedir [22].

**Çizelge 3.8.** Kırpışma ölçerin homojenlik test değerleri [22]

Sinüoidal dalgalanmalı kırpışma frekansı (Hz)	$\Delta V / V$ (%)
5	0.398
	$2 \times 0.398$
	$0.5 \times 0.398$
10	0.260
	$2 \times 0.260$
	$0.5 \times 0.260$
15	0.432
	$2 \times 0.432$
	$0.5 \times 0.432$
20	0.700
	$2 \times 0.700$
	$0.5 \times 0.700$

#### 4. HİLBERT-HUANG DÖNÜŞÜMÜ

Hilbert-Huang Dönüşümü (HHT) Huang tarafından önerilen, Flandrin ve ekibi tarafından geliştirilen lineer ve durağan olmayan sinyallerin analizinde kullanılan yeni bir sinyal işleme yöntemidir [46]. HHT iki kısımdan oluşmaktadır: (1) Eleme işlemi ile sinyalden IMF'lerin elde edildiği EMD ve (2) Genlik, anlık faz ve frekans bilgisinin elde edildiği HT [25,73].

EMD yöntemi ile sinyal, yerel salınımlar dikkate alınarak farklı frekanslardaki bileşenlerine (IMF) ayrıştırılmaktadır. IMF'ler değişik frekans bantlarına karşılık gelmektedir ancak önceden belirlenmiş frekans bantları bulunmamaktadır. EMD tamamen incelenen sinyale bağımlı, uyarlamalı bir ayrıştırma yöntemidir [74].

Bu bölümde güç sistemlerinde  $P_{st}$ 'yi hesaplamak için HHT kullanımına dayalı bir yaklaşım önerilmektedir. HHT'nin lineer ve durağan olmayan sinyallerin analizinde kullanımı yaygındır. Kırpışmanın da gerilim seviyesi üzerinde belli bir süre ile "zarf" oluşturduğu bilindiğinden HHT yöntemi ile analizi uygun görülmüştür. Bulunmuş olan kırpışmanın şiddet değeri ise IEC tarafından tanımlanmış elektrik güç kalitesi indeksinde önemli bir büyüklüktür.

##### 4.1. Görgül Kip Ayrışımı

EMD yöntemi ile sinyal, sıfır ortalamalı Genlik Modülasyonu (Amplitude Modulation-AM) ve Frekans Modülasyonu (Frequency Modulation-FM) bileşenlerinin toplamları şeklinde ayrıştırılmaktadır [74]. EMD'nin sonucunda elde edilen ilk IMF bileşeni orjinal sinyalde en yüksek frekansa sahip olan bileşen olmaktadır. İkinci IMF bileşeni ise frekansı küçük olan bileşendir.

Her bir IMF sinyal içerisindeki basit bir salınımı simgelemektedir. Bu yönüyle bir harmonik bileşen gibi düşünülebilir. Ancak harmonik bileşenlerin aksine, IMF'lerin genlikleri ve frekansları sabit olmayıp zamanla değişiklik gösterebilmektedir. Huanga göre, asıl sinyal ile aynı uzunlukta olan IMF'lerin iki önemli özelliği bulunmaktadır [46,73,75-84]:

1) Ekstremum noktalarının sayısı ile sıfır geçiş noktalarının sayısı ya birbirine eşittir ya da en fazla tek bir birim kadar farklıdır;



2) Yerel maksimum olarak tanımlanan zarfın ve yerel minimum olarak tanımlanan zarfın ortalama değeri sıfırdır.

EMD yönteminde IMF'ler aşağıdaki şekilde elde edilmektedir. Şekil 4.1'de  $x(t)$  sinyaline örnek olarak bir test datası gösterilmektedir [73].

İncelenen sinyal  $x(t)$  olmak üzere:

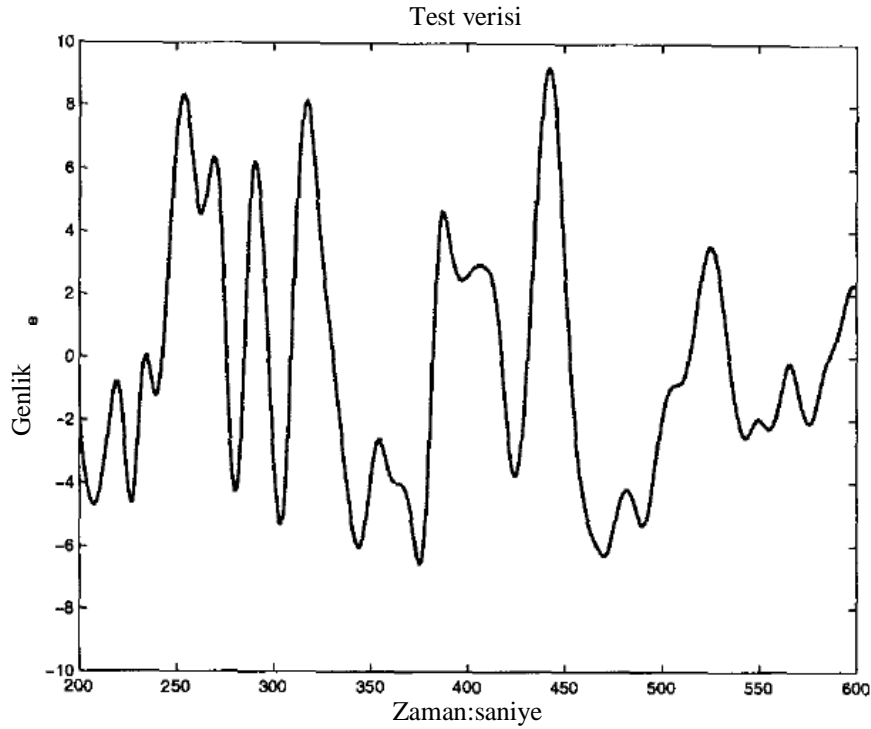
1.  $x(t)$  sinyalindeki tüm maksimum noktalar bulunarak işaretlenmektedir. Bulunan üst ekstremum noktaları aradeğerleme ile birleştirilerek bir üst zarf  $u(t)$  elde edilmektedir;

2.  $x(t)$  sinyalindeki tüm minimum noktalar bulunarak işaretlenmektedir. Bulunan alt ekstremum noktaları aradeğerleme (interpolation) ile birleştirilerek bir alt zarf  $v(t)$  elde edilmektedir;

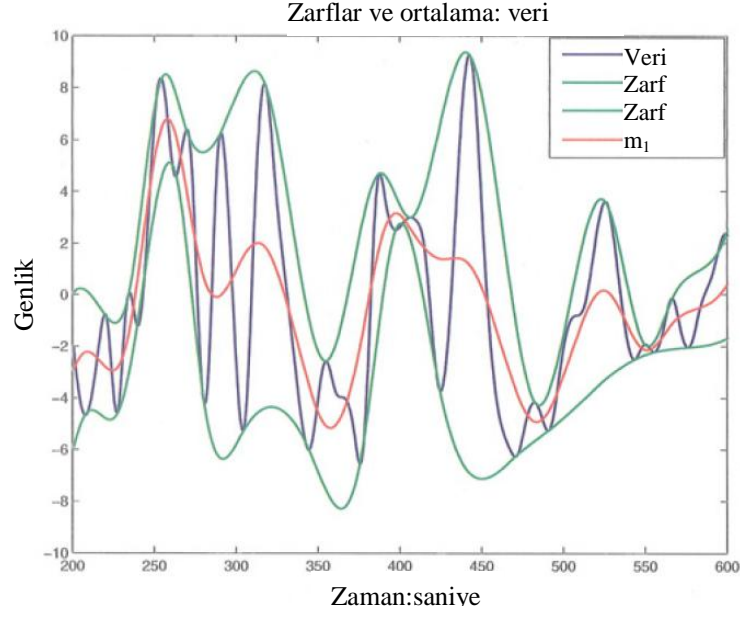
Alt ve üst zarfların ortalaması alınarak sinyalinin ortalama zarfı ( $m_1$ )

$$m_1(t) = u(t) + v(t) / 2 \quad (4.1)$$

ifadesi ile verilmektedir. Şekil 4.2'de alt ve üst zarflar ve ortalama zarf ( $m_1$ ) sinyali gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Test datası [73]



**Şekil 4.2.** Yerel maksimum ve yerel minimum olarak tanımlanan alt ve üst zarflar, alt ve üst zarfların ortalama değeri  $m_1$  [73]

3. Ortalama zarf,  $x(t)$  sinyalinin çıkartılarak düşük frekanslı yeni bir sinyal ( $h_1$ )

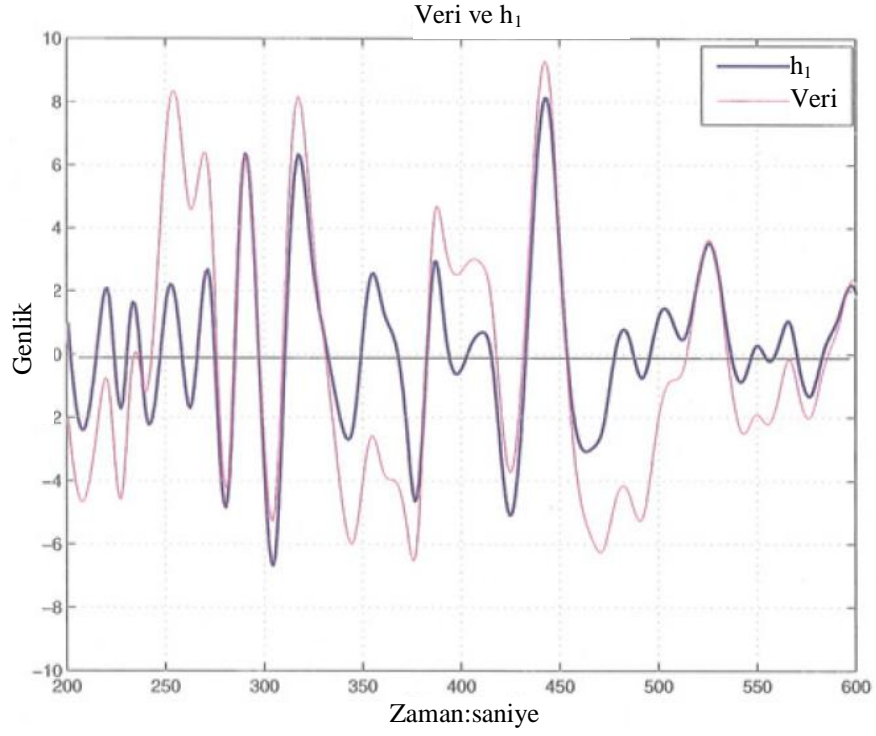
$$h_1 = x(t) - m_1 \quad (4.2)$$

ifadesi ile verilmektedir.

İdeal olarak, yukarıda tanımlandığı gibi  $h_1$  yapısının simetrik olması ve tüm maksimum pozitif ve tüm minimum negatiflere sahip olması için IMF'nin tanımını sağlamalıdır. Bu yolla üretilen yeni ekstremum başlangıçtaki hesaplamadaki uygun mod kayıplarını açığa çıkarabilmektedir. Şekil 4.3'de fark sinyali ( $h_1$ ) gösterilmektedir.

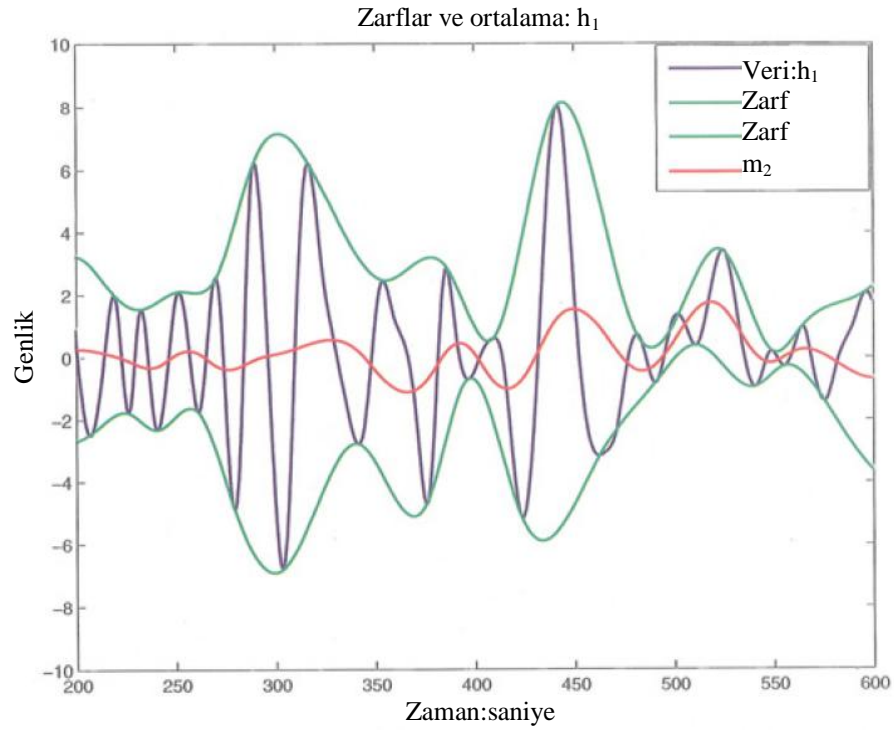
4. Elde edilen  $h_1$  sinyali IMF özelliklerini sağlamıyorsa ilk 3 adım  $h_1$  sinyali üzerine uygulanmaya devam etmektedir. Buna eleme (sifting) işlemi denir. Bir sonraki adımda  $h_1$  veri olarak ele alınmakta ve  $h_{11}$  elde edilmektedir. Bu şekilde elemeler tekrarlandıktan sonra,  $k$  kere tekrarlardan sonra bileşenler ifadesi (4.3) ile elde edilmektedir.

$$\begin{aligned} h_{11} &= h_1 - m_{11} \\ h_{1k} &= h_{1(k-1)} - m_{1k} \end{aligned} \quad (4.3)$$

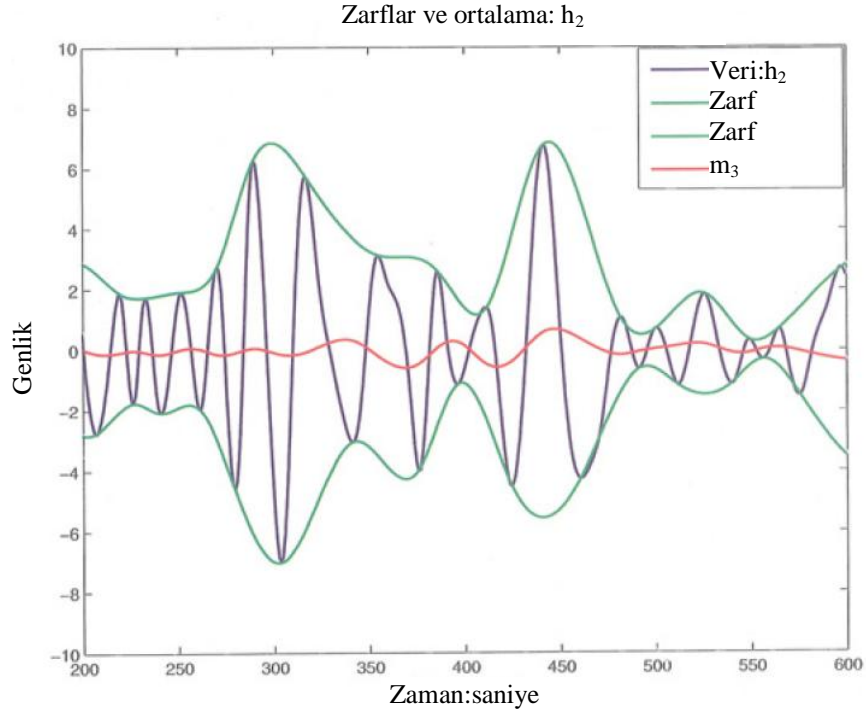


Şekil 4.3. Data ve  $h_1$  [73]

Şekil 4.4 a'da k kere tekrarlamadan sonra elde edilen  $h_1$  ortalama sinyali ve b'de  $h_2$  ortalama sinyali gösterilmektedir.



(a)



(b)

**Şekil 4.4.** (a)Zarflar ve ortalama  $h_1$  (b) Zarflar ve ortalama  $h_2$  [73]

Eğer ortalama zarf sinyali IMF özelliklerini sağlıyorsa eleme işlemi durdurulmaktadır. Eleme işlemi durdurma kriteri olarak iki farklı kriter kullanılabilir [46, 73, 82, 85].

1. İlk kriter Huang tarafından 1998’de önerilmiştir. Bu durdurma kriteri Cauchy yakınsama testine benzemektedir ve iki başarılı eleme işlemi arasındaki farkın karelerinin toplamı SD olarak

$$SD_k = \frac{\sum_{t=0}^T |h_{k-1}(t) - h_k(t)|^2}{\sum_{t=0}^T h_{k-1}^2} \quad (4.4)$$

ifadesi ile verilmektedir. SD daha önceden verilen değerden küçük olduğu zaman eleme işlemi durmaktadır:

2. İkinci kriter, ekstremum noktalarının sayısı ile sıfır geçiş noktalarının sayısı birbirine eşit ya da en fazla tek bir birim kadar farklı olduğu zaman arka arkaya gelen elemelerin sayısı olarak tanımlanan “S sayısı” olarak isimlendirilen sayıya dayanmaktadır. Özellikle S sayısı

önceden seçilmektedir. Eleme işlemi yalnızca sıfır geçişlerin ve ekstremum noktalarının sayısı ile S arka arkaya gelme sayısı aynı olduğunda ve eşit veya en fazla tek bir birim kadar farklı olduğunda durmaktadır.

5. Bir kere durdurma kriteri seçildikten sonra, ilk IMF bileşeni  $c_1 = h_{1k}$  ile elde edilmiş olmaktadır.  $c_1$  sinyalin en iyi ölçeğini veya en kısa periyot bileşenini içermektedir. Şekil 4.5’de elde edilen ilk IMF bileşeni  $c_1$  gösterilmektedir.

6. Veriden ilk IMF bileşeni  $c_1$  çıkartılarak onun artık sinyali  $r_1$

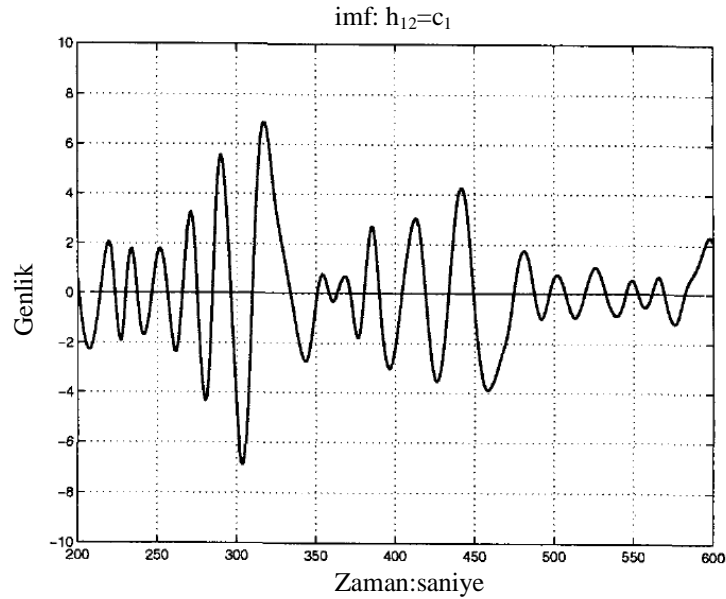
$$\begin{aligned} r_1 &= x(t) - c_1 \\ r_2 &= r_1 - c_2, \dots, r_n = r_{n-1} - c_n \end{aligned} \quad (4.5)$$

ifadesi ile verilmektedir ve Şekil 4.6’da gösterilmektedir.

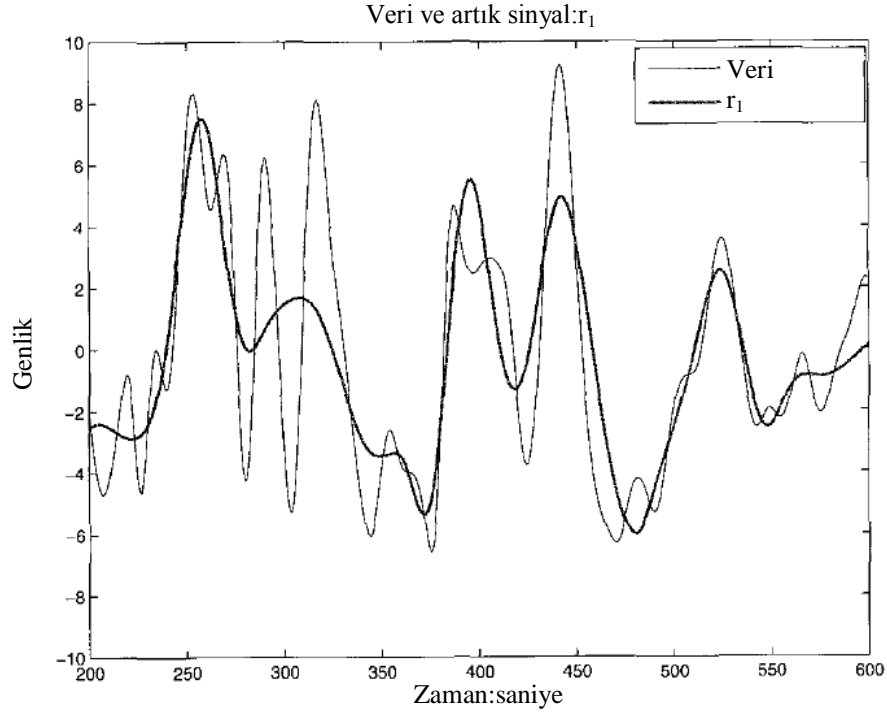
$r_1$  hala datadaki uzun periyot değişimlerini içermesinden dolayı,  $r_1$  yeni bir veri olarak ele alınmakta ve yeni bir eleme işlemi başlatılmaktadır.

Bu prosedür tüm sonraki  $r_j$ ’ler için tekrarlanmaktadır. Son olarak geriye kalan  $m$  sinyali ise artık (residue) sinyal olarak adlandırılmaktadır ( $r_n$ ).

7. Son olarak eleme işlemi, artık sinyal  $r_n$  önceden belirlenmiş bir değerden küçük olduğunda veya monoton fonksiyon olduğu zaman durmaktadır.



Şekil 4.5. 12 adım sonrasında elde edilen ilk IMF bileşeni  $c_1$  [73]



**Şekil 4.6.** Orjinal data ve artık sinyal  $r_1$  [73]

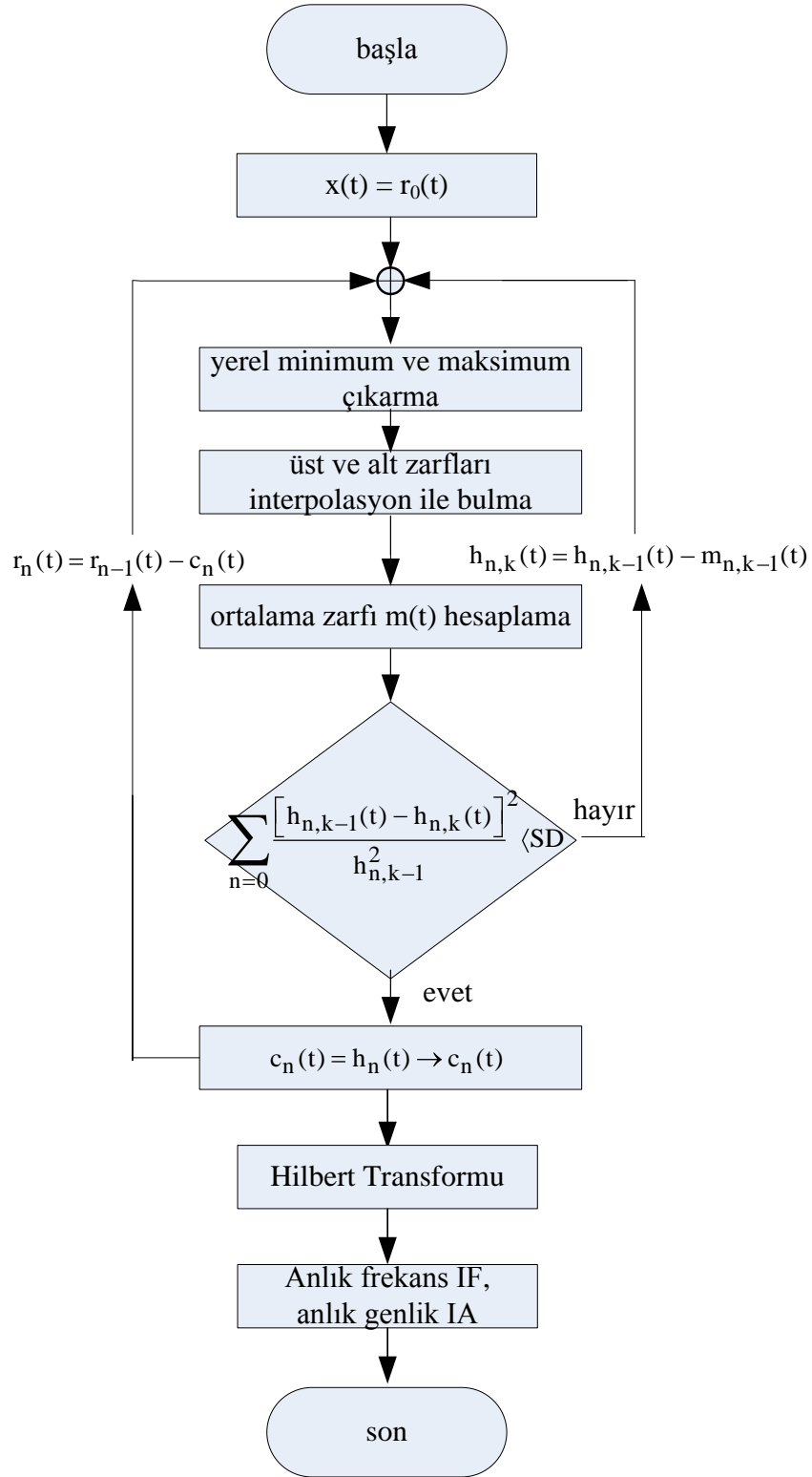
Data, IMF bileşenlerinin ve artık sinyalin toplamı olarak

$$x(t) = r_n + \sum_{j=1}^n c_j \quad (4.6)$$

ifadesi ile verilmektedir. Burada  $x(t)$ , analiz edilen sinyali;  $n$ , ölçek sayısını;  $c_j$ ,  $j$ 'nci ölçekteki IMF'yi;  $r_n$ , yinelemeler sonunda geriye kalan artık sinyali göstermektedir. 1. ve 2. adımdaki aradeğerleme için “cubic spline” yöntemi iyi sonuçlar vermektedir [80]. IMF'ler elde edildikten sonra sinyaldeki yerel frekans karakteristiklerinin kestirilmesinde kullanılabilir.

#### 4.2. Hilbert Dönüşümü

HHT Şekil 4.7'deki algoritma ile gösterilebilmektedir. EMD sonucunda elde edilen IMF bileşenlerine HT uygulanmakta ve Hilbert spektrumu elde edilmektedir. Her IMF bileşenine ( $c_j(t)$ ) HT uygulandıktan sonra, yeni bir veri serisi ( $y_j(t)$ ) (4.7) ifadesi ile verilmektedir [46,73,75,87-90]. Burada P.V., integralin Cauchy prensip değerini göstermektedir.



Şekil 4.7. Hilbert-Huang Dönüşümü algoritması

$$y_j(t) = \frac{1}{\pi} \text{P.V.} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{c_j(\tau)}{t - \tau} d\tau \quad (4.7)$$

Bu tanımdan analitik sinyal ( $z_j(t)$ )

$$z_j(t) = c_j(t) + iy_j(t) = a_j(t)e^{i\theta_j(t)} \quad (4.8)$$

ifadesi ile verilmektedir. Anlık genlik, anlık açısal frekans ve anlık frekans

$$\begin{aligned} a_j(t) &= \sqrt{c_j^2(t) + y_j^2(t)} \\ \theta_j(t) &= \arctan \frac{y_j(t)}{c_j(t)} \\ \omega_j(t) &= \frac{d\theta_j(t)}{dt} \\ f(t) &= \frac{1}{2\pi} \frac{d\theta_j(t)}{dt} \end{aligned} \quad (4.9)$$

ifadesi ile verilmektedir [46,73,75,87-90].

### 4.3. Önerilen Algoritmada Gerilim Kırışmasının Matematiksel Modeli

Gerilim kırışmasının doğru olarak modellenmesi amaçlanan yöntemin test edilmesi için çok önemlidir. Gerilim kırışma dalgaformu genlik modülasyonu dalga şekline AM harmonik bileşenler eklenerek ifade edilebilmektedir. Modüle edilmiş sinyal rastgele frekansları ve genlikleri olan sinüsoidal bileşenlerin toplamı şeklinde gösterilebilmektedir.

#### 4.3.1. Tek kırışma frekanslı sinyal denklemi

Matematiksel olarak, harmonik bileşenler ihmal edilirse gerilim kırışması

$$\begin{aligned} u(t) &= A_0 \left( 1 + \sum_{i=1}^N m_i \cos(2\pi f_i t + \phi_i) \right) \cos(2\pi f_0 t + \phi_0) \\ &= A_0 + A_0 v(t) \cos(2\pi f_0 t + \phi_0) \\ &= A(t) \cos(2\pi f_0 t + \phi_0) \end{aligned} \quad (4.10)$$



ifadesi ile verilmektedir [34,86]. Burada  $A_0$ , taşıyıcı sinyalin genliğini;  $f_0$ , taşıyıcı frekansı;  $\phi_0$ , taşıyıcı sinyalin başlangıç faz açısını;  $m_i$ , i. kırışmanın genliğini;  $f_i$  ve  $\phi_i$ , sırasıyla i. kırışmanın frekansını ve başlangıç faz açısını, N, kırışmanın sayısını göstermektedir.

Denklem (4.10) tek kırışma frekanslı gerilim sinyali için tekrar düzenlenirse

$$u(t) = A_0 [1 + m \cos(2\pi f_f t + \phi_1)] \cos(2\pi f_0 t + \phi_0) \quad (4.11)$$

ifadesi elde edilmektedir [91]. Burada  $A_0$ , taşıyıcı sinyalin genliğini;  $f_0$ , taşıyıcı frekansı;  $\phi_0$ , taşıyıcı sinyalin başlangıç faz açısını;  $m$ , kırışma genliğini;  $f_f$  ve  $\phi_1$  sırasıyla kırışmanın frekansını ve başlangıç faz açısını göstermektedir.

EMD yönteminde IMF'lerin elde edilmesinde, gerilim sinyalinin tüm maksimum ve tüm minimum noktaları bulunarak işaretlenmektedir. Bulunan üst ve alt ekstremum noktaları aradeğerleme ile birleştirilerek bir üst zarf ve bir alt zarf elde edilmektedir. Alt ve üst zarfların ortalaması alınarak sinyalinin ortalama zarfi elde edilmektedir. Gerilim sinyali AM modülasyonuna uğramış sinyal olduğundan dolayı ekstremum noktalarının sayısı ile sıfır geçiş noktalarının sayısı eşittir. Denklem (4.1)'e göre alt ve üst zarfların ortalaması alındığında gerilim sinyalinin ortalama zarfi ( $m_1(t)$ ) sıfır olmaktadır. Denklem (4.2)'ye göre ortalama zarf giriş sinyalinden çıkartıldığında elde edilen  $h_1$  sinyali giriş sinyaline eşit olmaktadır. Giriş sinyali ( $h_1$  sinyali) IMF özelliklerini sağladığı için IMF olarak elde edilmekte ve eleme işlemi durmaktadır. Çünkü eleme işlemi yalnızca sıfır geçişlerin ve ekstremum noktalarının sayısı ile arka arkaya gelme sayısı (S) aynı olduğunda ve eşit veya en fazla tek bir birim kadar farklı olduğunda durmaktadır. Buda IMF'nin özellikleridir. Bu nedenle gerilim sinyaline EMD uygulandığında sinyal sıfır ortalamalı AM ve FM bileşenlerinin toplamları şeklinde ayrıştırılmamaktadır.

EMD uygulanmadan önce sinyalin karesi alınmaktadır. Gerilim sinyalinin karesi

$$\begin{aligned}
u^2(t) &= \left[ A_0^2 + 2A_0^2 m \cos(2\pi f_f t) + A_0^2 m^2 \cos^2(2\pi f_f t) \right] \times \cos^2(2\pi f_0 t) \\
&= \left[ A_0^2 + 2A_0^2 m \cos(2\pi f_f t) + \frac{A_0^2 m^2}{2} (1 + \cos(2\pi 2f_f t)) \right] \times \left( \frac{1 + \cos(2\pi(2f_0)t)}{2} \right) \\
&= \left( \frac{A_0^2}{2} + \frac{A_0^2 m^2}{4} \right) + A_0^2 m \cos(2\pi f_f t) + \frac{A_0^2 m^2}{4} \cos(2\pi(2f_f)t) + \\
&\quad \left( \frac{A_0^2}{2} + \frac{A_0^2 m^2}{4} \right) \cos(2\pi(2f_0)t) + A_0^2 m \cos(2\pi 2f_0 t) \cos(2\pi f_f t) + \\
&\quad \frac{A_0^2 m^2}{4} \cos(2\pi(2f_0)t) \cos(2\pi(2f_f)t)
\end{aligned} \tag{4.12}$$

ifadesi ile verilmektedir. Denklem (4.12)'de, (4.11)'deki AM modülasyonuna uğramış gerilim sinyalinin içerisinde bulunan farklı frekanslardaki bileşenlerin güç dağılımlarının bulunduğu yeni bir sinyal elde edilmektedir. Bu sinyalde, ekstremum noktalarının sayısı ile sıfır geçiş noktalarının sayısı eşit değildir ve yerel maksimum zarfının ve yerel minimum zarfının ortalama değeri sıfırdan farklı olmaktadır. Böylece eleme işlemi durdurulmamaktadır. Denklem (4.12)'de  $m \ll 1$  olduğu için  $m^2$  li terimler daha da küçüleceğinden dolayı ihmal edilebilir. Bu durumda karesi alınan sinyal

$$\begin{aligned}
u^2(t) &\cong \frac{A_0^2}{2} + A_0^2 m \cos(2\pi f_f t) + \frac{A_0^2}{2} \cos(2\pi(2f_0)t) + \frac{A_0^2 m}{2} \cos(2\pi(2f_0 + f_f)t) \\
&\quad + \frac{A_0^2 m}{2} \cos(2\pi(2f_0 - f_f)t)
\end{aligned} \tag{4.13}$$

ifadesi ile elde edilmektedir [92]. Taşıyıcı sinyalin frekansının iki katı olan bileşenler, doğru akım bileşeni ve kırışma bileşeni EMD sonucunda ayrıştırılmakta ve kırışma zarfı ( $A_0^2 m \cos(2\pi f_f t)$ ) elde edilmektedir. HT kullanılarak kırışma zarfından kırışmanın genliği ve frekansı elde edilmektedir.

### 4.3.2. Çoklu kırışma frekanslı sinyal denklemleri

Denklem (4.10) ikili kırışma frekanslı gerilim sinyali için tekrar düzenlenirse

$$u(t) = A_0 [1 + m_1 \cos(2\pi f_1 t + \phi_1) + m_2 \cos(2\pi f_2 t + \phi_2)] \cos(2\pi f_0 t + \phi_0) \tag{4.14}$$

ifadesi elde edilmektedir [91]. Burada  $A_0$ , taşıyıcı sinyalin genliğini;  $f_0$ , taşıyıcı sinyalin frekansını;  $\phi_0$ , başlangıç faz açısını;  $m_1$  ve  $m_2$  kırpışma genliklerini;  $f_1$  ve  $f_2$  kırpışma frekanslarını,  $\phi_1$  ve  $\phi_2$  kırpışmanın başlangıç faz açılarını göstermektedir.

EMD yönteminde IMF'lerin elde edilmesinde, gerilim sinyalinin tüm maksimum ve tüm minimum noktaları bulunarak işaretlenmektedir. Bulunan üst ve alt ekstremum noktaları aradeğerleme ile birleştirilerek bir üst zarf ve bir alt zarf elde edilmektedir. Alt ve üst zarfların ortalaması alınarak sinyalinin ortalama zarfi elde edilmektedir. Gerilim sinyali AM modülasyonuna uğramış sinyal olduğundan dolayı ekstremum noktalarının sayısı ile sıfır geçiş noktalarının sayısı eşittir. Denklem (4.1)'e göre alt ve üst zarfların ortalaması alındığında gerilim sinyalinin ortalama zarfi ( $m_1(t)$ ) sıfır olmaktadır. Denklem (4.2)'ye göre ortalama zarf giriş sinyalinden çıkartıldığında elde edilen  $h_1$  sinyali giriş sinyaline eşit olmaktadır. Giriş sinyali ( $h_1$  sinyali) IMF özelliklerini sağladığı için IMF olarak elde edilmekte ve eleme işlemi durmaktadır. Çünkü eleme işlemi yalnızca sıfır geçişlerin ve ekstremum noktalarının sayısı ile arka arkaya gelme sayısı (S) aynı olduğunda ve eşit veya en fazla tek bir birim kadar farklı olduğunda durmaktadır. Buda IMF'nin özellikleridir. Bu nedenle gerilim sinyaline EMD uygulandığında sinyal sıfır ortalamalı AM ve FM bileşenlerinin toplamları şeklinde ayrıştırılmamaktadır.

EMD uygulanmadan önce sinyalin karesi alınmaktadır. Gerilim sinyalinin karesi (4.15) ifadesi ile verilmektedir. Denklem (4.15)'de, (4.14)'deki AM modülasyonuna uğramış giriş sinyalinin içerisinde bulunan farklı frekanslardaki bileşenlerin güç dağılımlarının bulunduğu yeni bir sinyal elde edilmektedir. Bu sinyalde, ekstremum noktalarının sayısı ile sıfır geçiş noktalarının sayısı eşit değildir ve yerel maksimum zarfının ve yerel minimum zarfının ortalama değeri sıfırdan farklı olmaktadır. Böylece eleme işlemi durdurulmamaktadır. Denklem (4.15)'de  $m \ll 1$  olduğu için  $m^2$  li terimler ve  $m_i.m_j$ 'li terimler daha da küçüleceğinden dolayı ihmal edilebilir.

$$\begin{aligned}
u^2(t) = & \frac{A_0^2}{2} + \frac{A_0^2}{2} \cos(2\pi(2f_0)t + \varphi_0) + \frac{A_0^2}{2} \sum_{i=1}^N m_i^2 \cos^2(2\pi f_i t + \phi_i) + \\
& A_0^2 \sum_{i=1}^N m_i \cos(2\pi f_i t + \phi_i) + \cos(2\pi(2f_0)t + \varphi_0) \sum_{i=1}^N m_i \cos(2\pi f_i t + \phi_i) + \\
& \frac{A_0^2}{2} \cos(2\pi(2f_0)t + \varphi_0) \sum_{i=1}^N m_i^2 \cos^2(2\pi f_i t + \phi_i) + \\
& A_0^2 A_0^2 \sum_{i=1}^N \sum_{j=i+1}^N m_i m_j \cos(2\pi f_i t + \phi_i) \cos(2\pi f_j t + \phi_j) + \\
& \frac{A_0^2}{2} \cos(2\pi(2f_0)t + \varphi_0) \sum_{i=1}^N \sum_{j=i+1}^N m_i m_j \cos(2\pi f_i t + \phi_i) \cos(2\pi f_j t + \phi_j)
\end{aligned} \tag{4.15}$$

Bu durumda karesi alınan sinyal

$$\begin{aligned}
u^2(t) \cong & \frac{A_0^2}{2} + A_0^2 \sum_{i=1}^N m_i \cos(2\pi f_i t + \phi_i) + \frac{A_0^2}{2} \cos(2\pi(2f_0)t + \varphi_0) + \\
& A_0^2 \cos(2\pi(2f_0)t + \varphi_0)
\end{aligned} \tag{4.16}$$

ifadesi ile elde edilmektedir [92]. Taşıyıcı sinyalin frekansının iki katı olan bileşenler, doğru akım bileşeni ve kırpışma bileşenleri EMD sonucunda ayrıştırılmakta ve kırpışma bileşenlerinin zarfı  $(A_0 \sum_{i=1}^N m_i \cos(2\pi f_i t + \phi_i))$  elde edilmektedir. Kırpışmaların zarfları elde edildikten sonra zarfa göre kırpışma parametrelerini (modülasyon bileşenlerinin frekansları, genlikleri) belirlemek için HT kullanılmaktadır.

### 4.3.3. Önerilen algoritma ile kısa dönem kırpışma şiddetinin hesaplanması

Kırpışma zarfı elde edildik sonra,  $P_{st}$  IEC'de önerilen yöntemine uygun olarak hesaplanmaktadır. Kırpışma bileşeni çıkarıldığı zaman, ağırlıklandırma katsayılarının hesaplandığı algılanabilirlik ağırlıklandırma filtresinden geçirilmektedir. Bu filtre 8.8 Hz merkezlenmiş bir ortageçiren filtre cevabını vermektedir. Elde edilen sinyal kare alma ve düzleştirme bloklarından geçirilmektedir. Kare alma çoklayıcısı ağırlıklandırılmış kırpışma işaretinin karesini alarak, doğrusal olmayan göz-beyin algılamasını benzeştirmektedir. Düzleştirme bloğu zaman sabiti 300ms olan birinci derece alçak geçiren filtreden

oluşmaktadır. Bu filtre ile beyin depolama etkisi benzeştirilmiş olmakta ve anlık kırpışma seviyesi (IFL) elde edilmektedir. Son olarak IFL istatistiksel değerlendirmeden geçirilmekte ve  $P_{st}$  hesaplanmaktadır [40, 67, 93].

#### 4.3.4. Harmonik içeren tek kırpışma frekanslı sinyal denklemleri

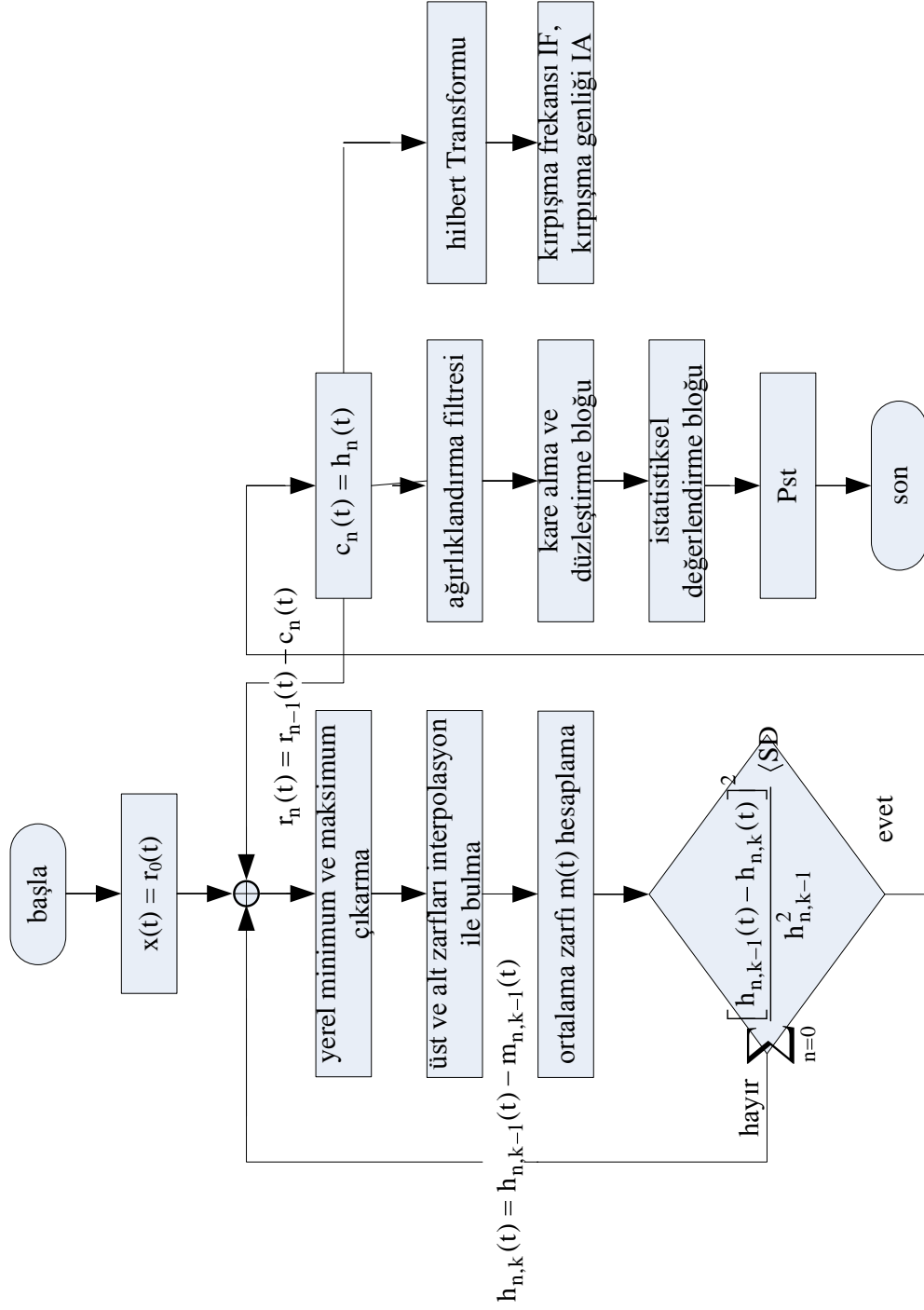
Tek kırpışma frekansı ile modüle edilmiş 3. ve 5. harmonik içeren gerilimin ifadesi

$$u(t) = A_0[1 + m \cos(2\pi f_f t + \phi_1)] \cos(2\pi f_0 t + \phi_0) + \sum_{i=3,5}^n A_i \cos(2\pi(m_i f_0)t + \phi_0) \quad (4.17)$$

ifadesi ile verilmektedir [91]. Burada  $A_0$ , taşıyıcı sinyalin genliğini;  $f_0$ , taşıyıcı frekansını;  $\phi_0$ , başlangıç faz açısını;  $m$ , kırpışma genliğini,  $f_f$  kırpışma frekansını;  $\phi_1$ , kırpışmanın başlangıç faz açısını;  $A_i$   $i$ 'nci harmonik bileşenin genliğini;  $m_i f_0$ ,  $i$ 'nci harmonik bileşenin frekansını göstermektedir.

Giriş sinyaline HT uygulanmadan önce sinyalin karesi alınmaktadır. Elde edilen sinyale EMD uygulanarak kırpışma zarfı elde edilmektedir. Kırpışma zarfı elde edildikten sonra zarfa göre kırpışma parametrelerini belirlemek için HT kullanılmaktadır.

$P_{st}$ 'nin önerilen algoritma kullanılarak elde edilmesi Şekil 4.8'deki algoritma ile gösterilmektedir [93].



Şekil 4.8. Önerilen  $P_{st}$  algoritması

## 5. GELENEKSEL KIRPIŞMA ÖLÇERİN VE HİLBERT-HUANG DÖNÜŞÜMÜ TABANLI ÖNERİLEN ALGORİTMANIN SİMÜLASYON SONUÇLARI

Geleneksel kırpışma ölçere giriş sinyali olarak  $\% \Delta V / V$  bağıl genlikli  $f_f$  Hz frekanslı kare biçimli veya sinüs biçimli gerilim dalgası ile modüle edilmiş 1 birim genlikli 50Hz frekanslı gerilim sinyali uygulanmaktadır.

Blok 1’de giriş geriliminden doğru akım bileşeni çıkartılarak rms değeri elde edilmekte ve sinyal normalleştirilmektedir. Blok 1 çıkışında  $u$  sinyali elde edilmektedir.

Blok 2’de giriş sinyalinin karesi alınarak bir lambanın davranışı benzeştirilmekte ve  $u_0$  sinyali elde edilmektedir. Karesi alınan sinyal blok 3’e gönderilmektedir.

Blok 3’de, blok 2 çıkışından elde edilen sinyal orta geçiren filtreden geçirilmektedir. Orta geçiren filtre 1 tane alçak geçiren bir tane yüksek geçiren filtreden oluşmaktadır. Yüksek geçiren filtre çıkışında  $u_{hp}$  sinyali ve alçak geçiren filtre çıkışında  $u_{bw}$  sinyali elde edilmektedir. Filtrelenmiş sinyal ( $u_{bw}$ ) ağırlıklandırma filtresine gönderilerek ağırlıklandırılmakta ve  $u_w$  sinyali elde edilmektedir.

Blok 4’de blok 3 çıkışından elde edilen sinyalin karesi alınmakta ve  $u_q$  elde edilmektedir.  $u_q$  sinyali 1.derece kayan ortalama filtresinden geçirilmekte ve çarpma faktörü ile çarpılmaktadır. Böylece doğrusal olmayan göz-beyin algılaması ve beynin depolama etkisi benzeştirilmiş olmaktadır. Blok 4 çıkışında anlık kırpışma şiddeti elde edilmektedir (IFL).

Blok 5’de IFL sinyali uygun sayıda sınıfa bölünmektedir. Her sınıfta bulunma olasılıkları elde edilmekte, her sınıftaki değerler toplama oranlanmakta, 1’den çıkarılmakta ve 100 ile çarpılarak %CPF eğrisi elde edilmektedir. %CPF eğrisinden  $P_{st}$  hesaplanmaktadır. Farklı kırpışma eklenmiş 12 tane gerilim değeri uygulanarak  $P_{it}$  elde edilmektedir.

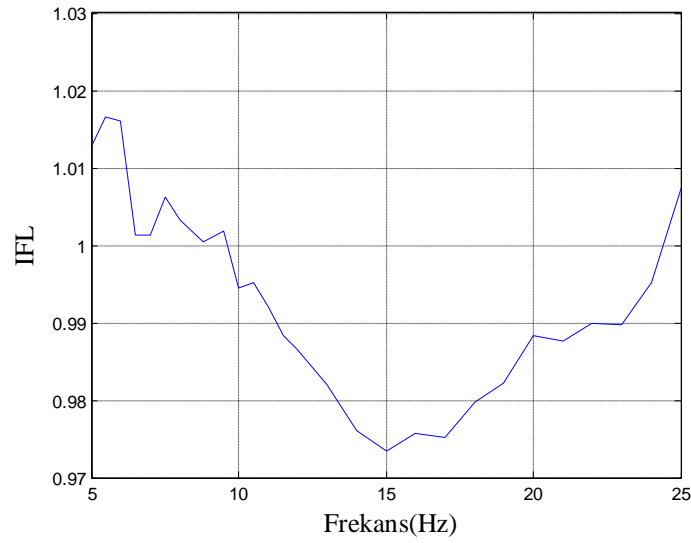
Simülasyonlar 61000-4-15 standartındaki geleneksel kırpışma ölçer yöntemi kullanılarak ve önerilen HHT tabanlı algoritma kullanılarak yapılmıştır. Analizlerin hepsinde MATLAB kullanılmaktadır.

## 5.1. Geleneksel Kırpışma Ölçer Tepkileri

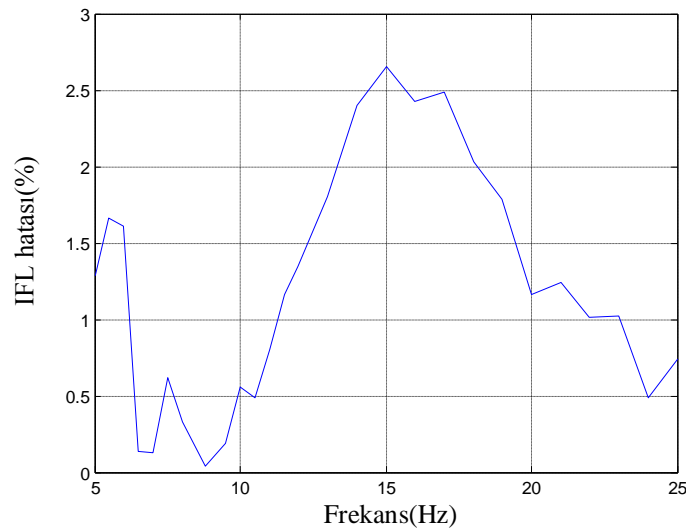
### 5.1.1. Sinüs biçimli gerilim dalgalanmaları için kırpışma ölçerin tepkisi

230V/50 Hz'lik sisteme 5Hz ile 25Hz arasında farklı frekanslarda sinüs biçimli gerilim dalgası ile modüle edilmiş gerilim sinyali uygulanarak IFL ve %IFL hatası elde edilmiştir. Çizelge 5.1'de sinüs biçimli gerilim dalgalanmaları için kırpışma ölçerin çıkışı gösterilmektedir.

Şekil 5.1'de anlık kırpışma şiddeti (IFL) gösterilmektedir. Şekil 5.2'de anlık kırpışma şiddeti hatası (%IFL) gösterilmektedir.



Şekil 5.1. Sinüs biçimli gerilim dalgalanmaları için IFL eğrisi



Şekil 5.2. Sinüs biçimli gerilim dalgalanmaları için IFL hata eğrisi (%)



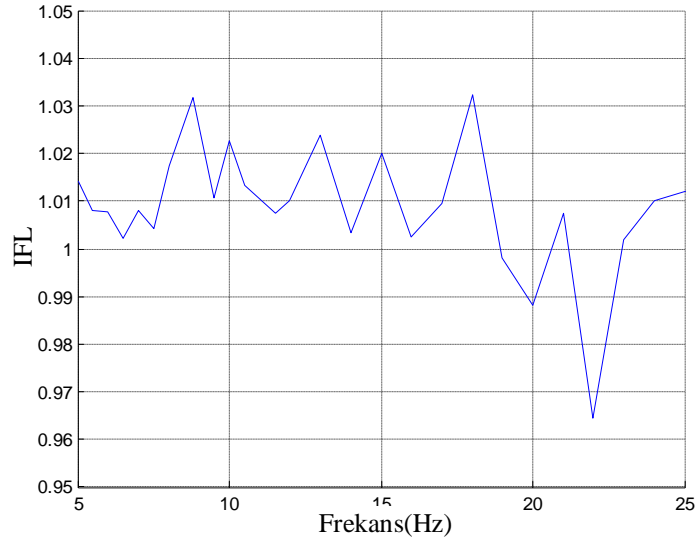
**Çizelge 5.1.** Sinüs biçimli gerilim dalgalanmaları için kırışma ölçer tepkisi

Frekans (Hz)	Gerilim dalgalanması ( $\Delta V / V$ %)	Anlık kırışma şiddeti (IFL)	IFL Hatası(%)
5.0	0.398	1.012	1.2
5.5	0.360	1.016	1.6
6.0	0.328	1.016	1.6
6.5	0.300	1.001	0.1
7.0	0.280	1.001	0.1
7.5	0.266	1.006	0.6
8.0	0.256	1.003	0.3
8.8	0.250	1.000	0.0
9.5	0.254	1.001	0.1
10.0	0.260	0.994	0.6
10.5	0.270	0.995	0.5
11.0	0.282	0.992	0.8
11.5	0.296	0.988	1.2
12.0	0.312	0.986	1.4
13.0	0.348	0.982	1.8
14.0	0.388	0.976	2.4
15.0	0.432	0.973	2.7
16.0	0.480	0.975	2.5
17.0	0.530	0.975	2.5
18.0	0.584	0.979	2.1
19.0	0.640	0.982	1.8
20.0	0.700	0.988	1.2
21.0	0.760	0.987	1.3
22.0	0.824	0.989	1.1
23.0	0.890	0.989	1.1
24.0	0.962	0.995	0.5
25.0	1.042	1.007	0.7

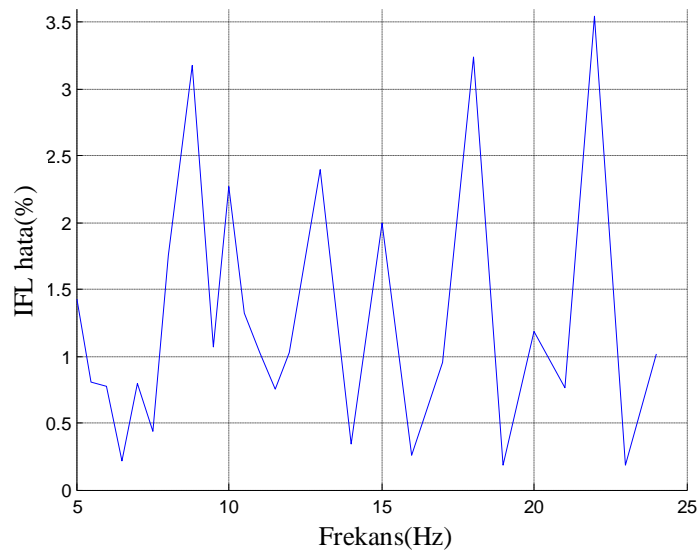
### 5.1.2. Kare biçimli gerilim dalgalanmaları için kırışma ölçerinin tepkisi

230V/50 Hz'lik sisteme 5Hz ile 25Hz arasında farklı frekanslarda kare biçimli gerilim dalgası ile modüle edilmiş gerilim sinyali uygulanarak IFL ve %IFL hatası elde edilmiştir. Çizelge 5.2'de kare biçimli gerilim dalgalanmaları için kırışma ölçerinin çıkışı gösterilmektedir.

Şekil 5.3'de anlık kırışma şiddeti (IFL) gösterilmektedir. Şekil 5.4'de anlık kırışma şiddeti hatası (%IFL) gösterilmektedir.



Şekil 5.3. Kare biçimli gerilim dalgalanmaları için IFL eğrisi



Şekil 5.4. Kare biçimli gerilim dalgalanmaları için IFL hata eğrisi(%)

**Çizelge 5.2.** Kare biçimli gerilim dalgalanmaları için kırışma ölçer tepkisi

Frekans (Hz)	Gerilim dalgalanması ( $\Delta V/V$ %)	Anlık kırışma şiddeti (IFL)	IFL Hatası (%)
5.0	0.293	1.014	1.4
5.5	0.269	1.008	0.8
6.0	0.249	1.007	0.8
6.5	0.231	1.002	0.2
7.0	0.217	1.008	0.8
7.5	0.207	1.004	0.4
8.0	0.201	1.017	1.8
8.8	0.199	1.031	3.2
9.5	0.200	1.010	1.1
10.0	0.205	1.022	2.3
10.5	0.213	1.013	1.3
11.0	0.223	1.010	1.0
11.5	0.234	1.007	0.8
12.0	0.246	1.010	1.0
13.0	0.275	1.024	2.4
14.0	0.308	1.003	0.3
15.0	0.344	1.020	2.0
16.0	0.376	1.002	0.3
17.0	0.413	1.009	1.0
18.0	0.452	1.032	3.2
19.0	0.498	0.998	0.2
20.0	0.546	0.988	1.2
21.0	0.586	1.007	0.8
22.0	0.604	0.964	3.5
23.0	0.680	1.001	0.2
24.0	0.743	1.010	1.0

## 5.2. Geleneksel Kırpışma Ölçerin Performans Testi

230V/50Hz'lik sistem kare biçimli gerilim değişiminin düzenli bir serisine maruz bırakılmaktadır. Her durumda kırpışma şiddeti ( $P_{st}$ )  $1.00 \pm 0.05$  aralığında olması gerekmektedir. Çizelge 5.3'de farklı kare biçimli gerilim değişimlerine karşılık ölçülen  $P_{st}$  ve  $P_{st}$  hatası (%) gösterilmektedir. Çizelge 5.3'den, yapılan en büyük hatanın % 4.035 olduğu görülmektedir.

**Çizelge 5.3.** 230V/50Hz'lik sistem için  $P_{st}$  değerlendirme sonuçları

Dakikadaki kare değişimler	Dakikadaki kare değişimler (Hz)	Gerilim değişimleri ( $\Delta V/V$ %)	$P_{st}$	$P_{st}$ Hatası(%)
1	0.0083	2.724	0.972	2.894
2	0.0167	2.211	0.992	0.751
7	0.0583	1.459	1.001	0.163
39	0.3250	0.906	1.009	0.886
110	0.9167	0.725	0.989	1.126
1620	13.5	0.402	0.961	4.035
4000	33.33	2.40	1.028	2.763

## 5.3. Geleneksel Kırpışma Ölçerin Lineerlik Testi

230V/50Hz'lik sistemde bütün kırpışma ölçer ve onun sınıflandırıcısının Çizelge 3.7'de verilen çarpma faktörleri için test edilmesi gerekmektedir. Her durumda kırpışma şiddeti ( $P_{st}$ )  $1.00 \pm 0.05$  aralığında olması gerekmektedir. Farklı çarpma faktörleri için çarpma faktörü iki katı olduğu zaman  $P_{st}$  değerinde bunun sonucu olarak iki katı olması gerekmektedir. Çizelge 5.4'de kırpışma ölçerin lineerlik test sonuçları gösterilmektedir. Çizelge 5.4'den görüldüğü gibi kırpışma şiddeti ( $P_{st}$ )  $1.00 \pm 0.05$  aralığında değerler almaktadır.

**Çizelge 5.4.** Kırpışma ölçerin lineerlik test sonuçları

Çarpma faktörü	$P_{st}$	$P_{st}$ hatası(%)
0.05	0.050	1.4
0.1	0.099	0.2
1.0	0.992	0.7
2.0	1.984	0.8
5.0	4.947	1.0
10.0	9.805	1.9
15.0	14.489	3.4

#### 5.4. Geleneksel Kırpışma Ölçerin Homojenlik Testi

IEC 61000-4-15 standardı homojenlik özelliğine sahip olması gereken bir kırpışma ölçer gerektirmektedir. Örneğin  $\Delta V / V$  değeri iki katı olduğu zaman  $P_{st}$  değeride bunun sonucu olarak iki katı olmalıdır. Kırpışma ölçerin homojenliği farklı frekanslarda  $\Delta V / V$  değerinin iki katı ve yarısı uygulanarak kontrol edilmektedir.  $\Delta V / V$  değeri iki katı ve yarısı olduğu zaman  $P_{st}$  değeri de sırası ile iki katı ve yarısı olmaktadır. Çizelge 5.5’de kırpışma ölçerin homojenlik test sonuçları gösterilmektedir. Çizelge 5.5’den görüldüğü gibi kırpışma şiddeti ( $P_{st}$ )  $1.00 \pm 0.05$  aralığında değerler almaktadır.

Çizelge 5.5. Kırpışma ölçerin homojenlik test sonuçları

Sinüsoidal dalgalanmalı	$\Delta V / V$ (%)	$P_{st}$	$P_{st}$ hatası (%)
5	0.398	0.696	-
	$2 \times 0.398$	1.393	0.07
	$0.5 \times 0.398$	0.348	0.00
10	0.260	0.691	-
	$2 \times 0.260$	1.383	0.07
	$0.5 \times 0.260$	0.346	0.00
15	0.432	0.684	-
	$2 \times 0.432$	1.369	0.07
	$0.5 \times 0.432$	0.342	0.00
20	0.700	0.690	-
	$2 \times 0.700$	1.380	0.00
	$0.5 \times 0.700$	0.345	0.00

#### 5.5. Geleneksel Kırpışma Ölçere Farklı Frekanslarda ve Farklı Bağlı Genliklerde Modüle Edilmiş Giriş Sinyallerinin Uygulanması

##### 5.5.1. Kare biçimli dalga ile modüle edilmiş giriş sinyallerinin uygulanması

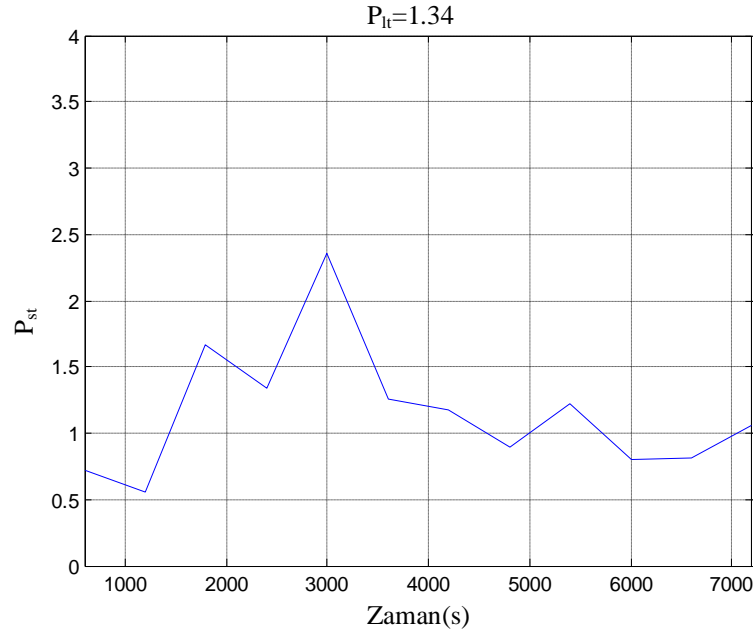
230V/50Hz’lik sisteme farklı frekanslarda ve farklı bağlı genliklerde kare biçimli dalga ile modüle edilmiş 12 tane gerilim sinyali uygulanarak kısa dönem kırpışma şiddeti ( $P_{st}$ ) elde edilmiştir.  $P_{st}$  değerleri kullanılarak uzun dönem kırpışma şiddeti ( $P_{lt}$ ) hesaplanmaktadır. Çizelge 2.4’de göre kırpışma için uygunluk seviyeleri  $P_{st}$  değeri için 0.8 ve  $P_{lt}$  değeri için 1.0’dır. Bu iki değer

altındaki değerler uygun olarak kabul edilmektedir. Çizelge 5.6'da kırpışma ölçerin sonuçları gösterilmektedir.

Şekil 5.5'de elde edilen  $P_{st}$  eğrisi gösterilmektedir ve  $P_{lt}$  1.34 olarak hesaplanmıştır.

**Çizelge 5.6.** 12 tane kare biçimli dalga ile modüle edilmiş giriş sinyali sonucunda ölçülen  $P_{st}$  ve  $P_{lt}$  değeri

Hz	$\Delta V / V$ (%)	$P_{st}$	$P_{lt}$
1.00	0.514	0.719	1.343
2.50	0.300	0.552	
5.00	0.700	1.661	
7.50	0.401	1.344	
8.00	0.680	2.359	
8.80	0.355	1.256	
10.00	0.345	1.180	
12.50	0.333	0.900	
15.00	0.600	1.219	
17.50	0.500	0.805	
20.00	0.650	0.818	
22.50	0.980	1.053	



**Şekil 5.5.** Kare biçimli gerilim dalgalanmaları için elde edilen  $P_{st}$  ve  $P_{lt}$  değeri

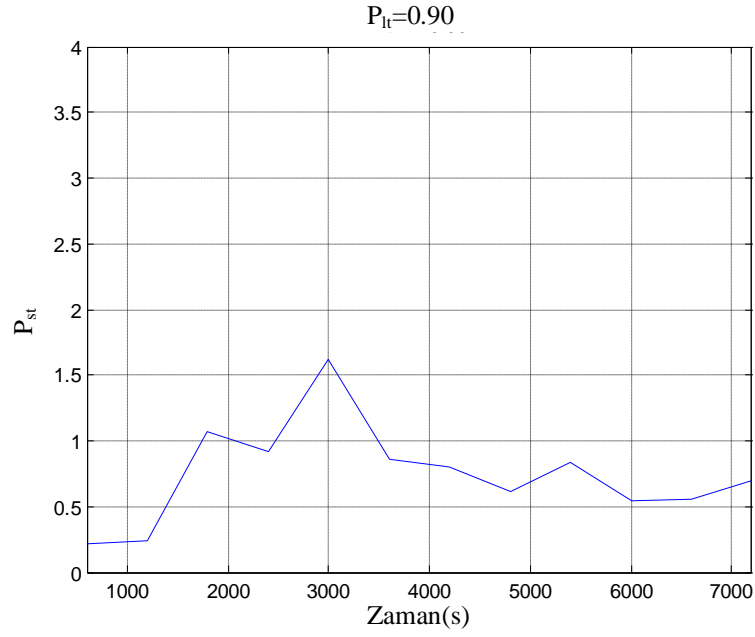
### 5.5.2. Sinüs biçimli dalga ile modüle edilmiş giriş sinyallerinin uygulanması

230V/50Hz'lik sisteme farklı frekanslarda ve farklı bağıl genliklerde sinüs biçimli dalga ile modüle edilmiş 12 tane gerilim sinyali uygulanarak kısa dönem kırpışma şiddeti ( $P_{st}$ ) elde edilmiştir.  $P_{st}$  değerleri kullanılarak uzun dönem kırpışma şiddeti ( $P_{lt}$ ) hesaplanmaktadır. Çizelge 2.4'de göre kırpışma için uygunluk seviyeleri  $P_{st}$  değeri için 0.8 ve  $P_{lt}$  değeri için 1.0'dır. Bu iki değer arasındaki değerler uygun olarak kabul edilmektedir. Çizelge 5.7'de kırpışma ölçerinin sonuçları gösterilmektedir.

Şekil 5.6'da elde edilen  $P_{st}$  gösterilmektedir ve  $P_{lt}$  0.90 olarak hesaplanmıştır.

**Çizelge 5.7.** 12 tane sinüs biçimli dalga ile modüle edilmiş giriş sinyali sonucunda ölçülen  $P_{st}$  ve  $P_{lt}$  değeri

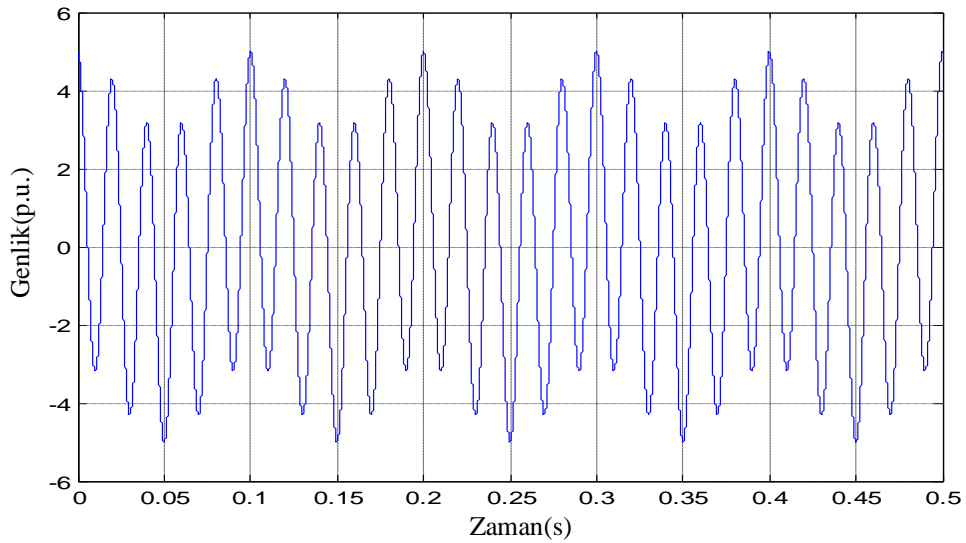
Hz	$\Delta V / V$ (%)	$P_{st}$	$P_{lt}$
1.00	0.514	0.220	0.904
2.50	0.300	0.243	
5.00	0.700	1.073	
7.50	0.401	0.918	
8.00	0.680	1.615	
8.80	0.355	0.862	
10.00	0.345	0.803	
12.50	0.333	0.609	
15.00	0.600	0.833	
17.50	0.500	0.540	
20.00	0.650	0.561	
22.50	0.980	0.692	



**Şekil 5.6.** Sinüs biçimli gerilim dalgalanmaları için elde edilen  $P_{st}$  ve  $P_{lt}$  değeri

### 5.6. Farklı Frekans ve Farklı Genlikteki İki Sinyalin Toplamından Elde Edilen Sinyalin HHT Kullanılarak Analizi

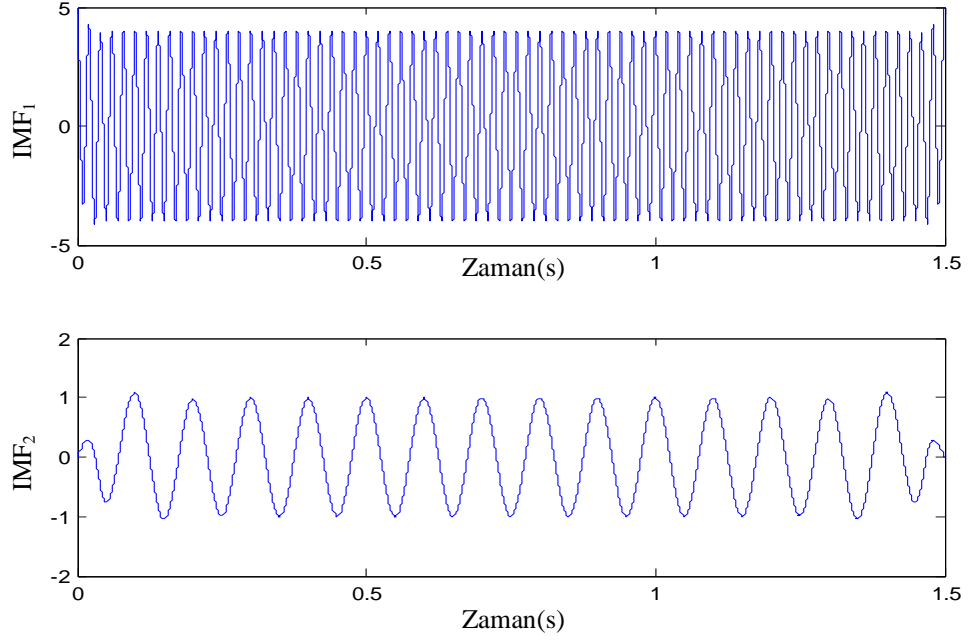
Giriş sinyali  $u(t) = 1\sin(2\pi f_1 t) + 4\sin(2\pi f_2 t)$ 'dir. Burada  $f_1 = 10\text{Hz}$  ve  $f_2 = 50\text{Hz}$ 'dir. Giriş sinyali Şekil 5.7'de gösterilmektedir. Örnekleme frekansı  $f_s = 10\text{KHz}$ 'dir. EMD'nin sonucunda elde edilen ilk IMF giriş sinyalinde en yüksek frekansa sahip olan bileşendir. İkinci IMF frekansı küçük olan bileşendir.



**Şekil 5.7.** Farklı frekans ve farklı genlikteki iki sinyalin toplamından elde edilen giriş sinyali

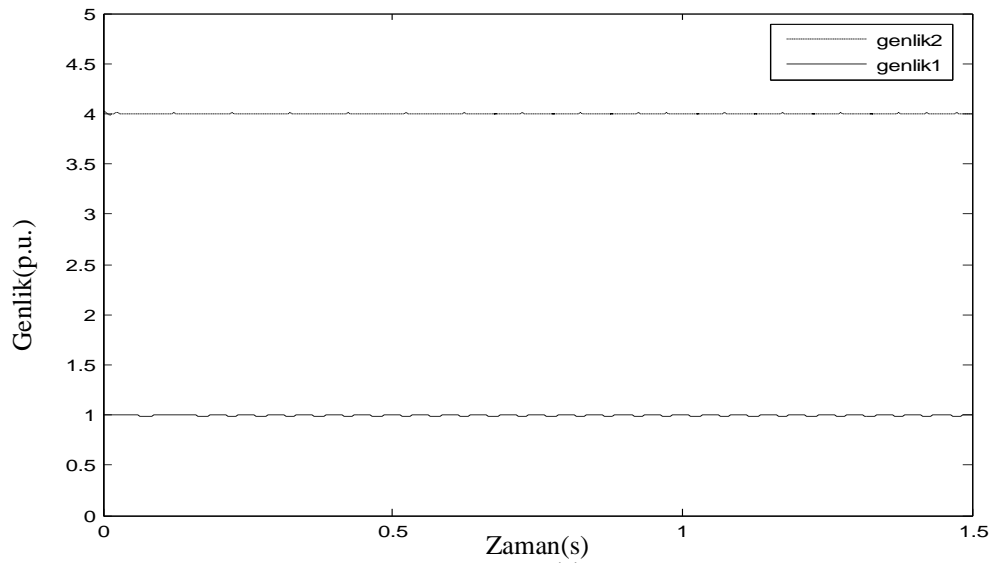


Şekil 5.8’de EMD sonucunda elde edilen IMF’ler gösterilmektedir.  $IMF_1$  ve  $IMF_2$ ’ye HT uygulandığında sinyalin birinci ve ikinci bileşenlerinin genlikleri ve frekansları elde edilmektedir.

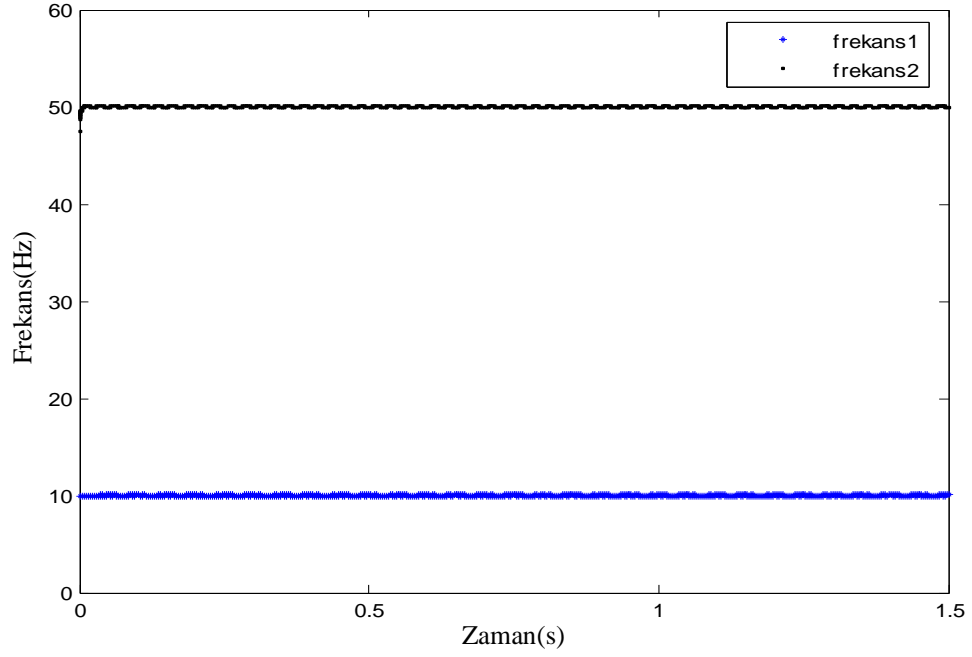


Şekil 5.8. Farklı frekans ve farklı genlikteki iki sinyalden elde edilen IMF’ler

Şekil 5.9 a’da elde edilen genlik sinyalleri ve b’de frekans sinyalleri gösterilmektedir.



(a)



(b)

**Şekil 5.9.** Farklı frekans ve farklı genlikteki iki sinyalden HHT'sinden elde edilen (a)genlikler ve (b)frekanslar

Çizelge 5.8'de iki sinyalin toplamı olan giriş sinyali için program sonucunda hesaplanan genlik, genlik hatası, frekans ve frekans hatası gösterilmektedir.

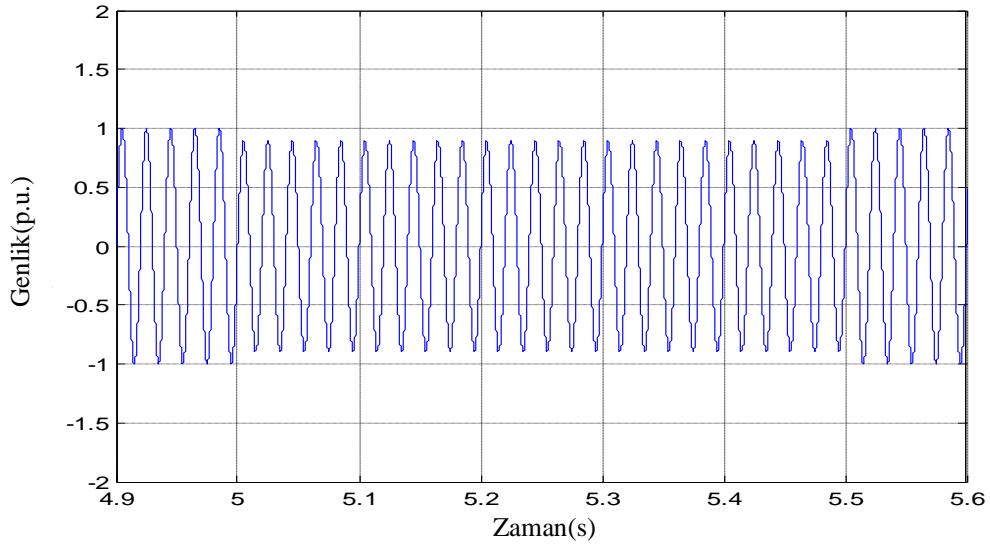
**Çizelge 5.8.** Farklı frekans ve farklı genlikteki iki sinyalden ölçülen genlik ve frekans değerleri

		Sinyal 1	Sinyal 2
Genlik(p.u)	Uygulanan	1	4
	Ölçülen	0.9948	4.000
	Hata(%)	0.522	0.005
Frekans(Hz)	Uygulanan	10	50
	Ölçülen	10.0058	49.995
	Hata(%)	0.0058	0.009

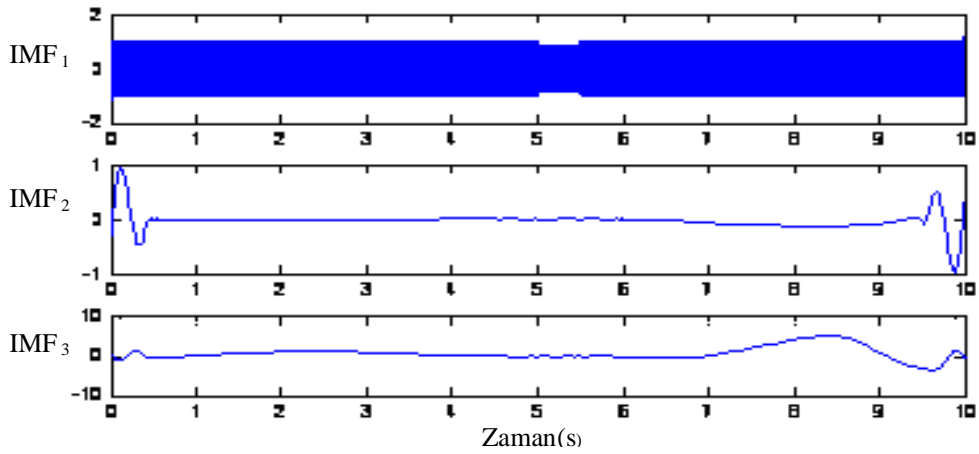
## 5.7. Güç Kalitesi Bozukluklarının HHT Kullanılarak Analizi

### 5.7.1. Gerilim çökmesi olan sinyalin analizi

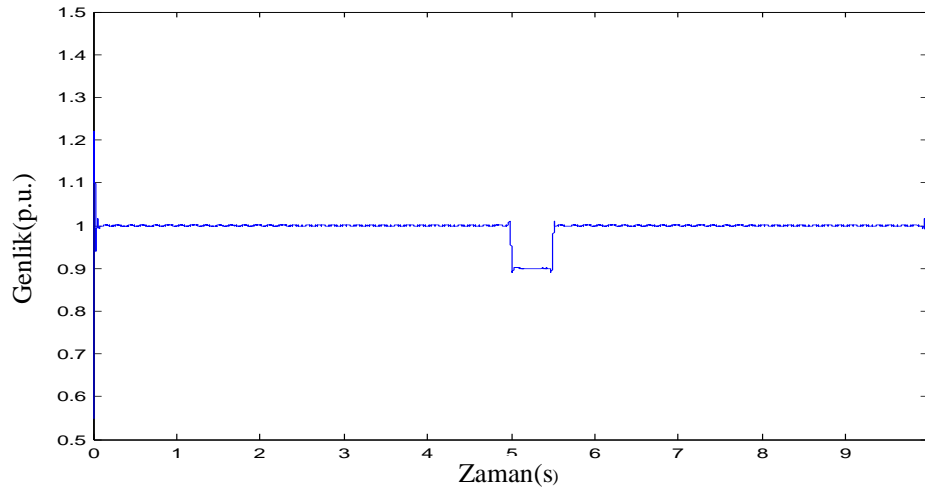
Giriş sinyalinde sinyalin genliği 5-(5.5). saniyeler arasında 1 birimden 0.9 birime düşürülmektedir. Şekil 5.10'da giriş sinyali gösterilmektedir. Örnekleme frekansı  $f_s = 20\text{KHz}$ 'dir. Giriş sinyaline EMD uygulanarak IMF'ler elde edilmektedir. Şekil 5.11'de EMD sonucunda elde edilen IMF sinyalleri gösterilmektedir.  $\text{IMF}_1$ 'e HHT uygulanarak gerilim düşümü olan sinyalin genliği ve frekansı elde edilmektedir. Şekil 5.12 a'da elde edilen genlik sinyali ve b'de frekans sinyali gösterilmektedir.



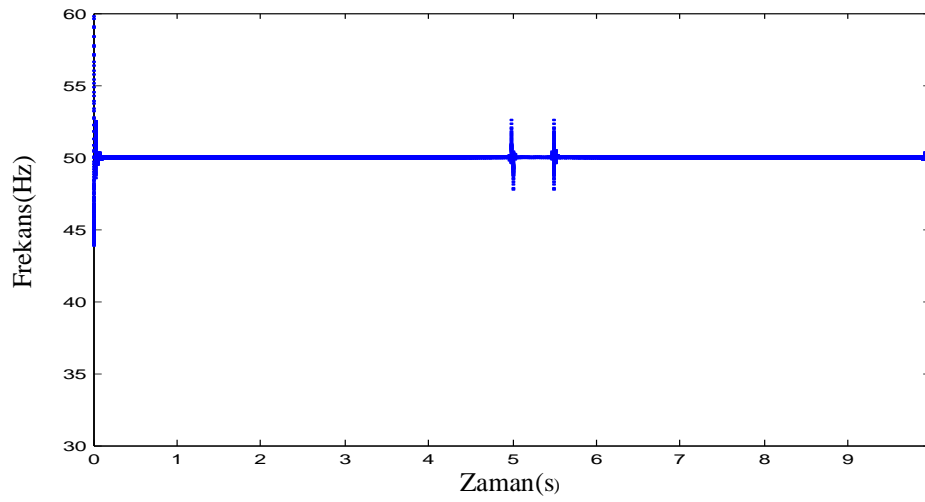
Şekil 5.10. Gerilim çökmesi olan sinyal



Şekil 5.11. Gerilim çökmesi olan sinyalden elde edilen IMF'ler



(a)



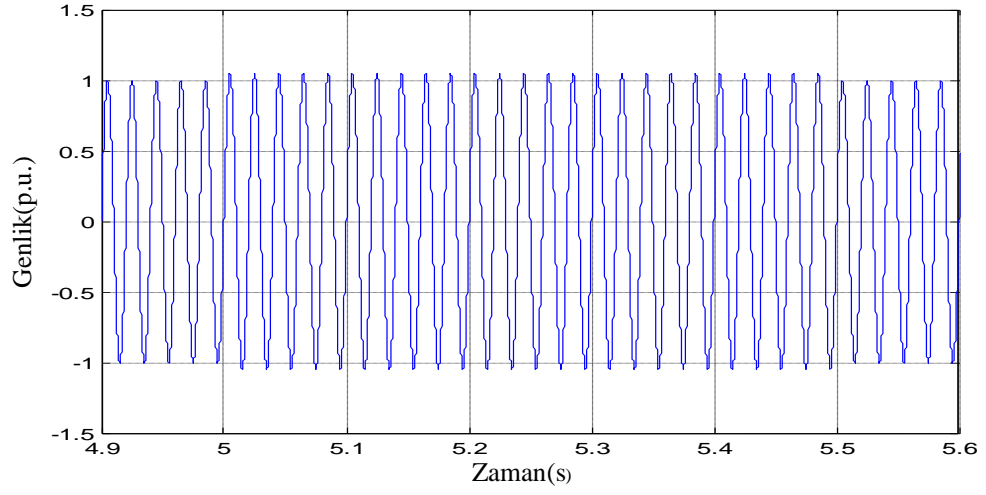
(b)

**Şekil 5.12.** Gerilim çökmesi olan sinyalin HHT'sinden elde edilen (a) genlik ve (b) frekans sinyali

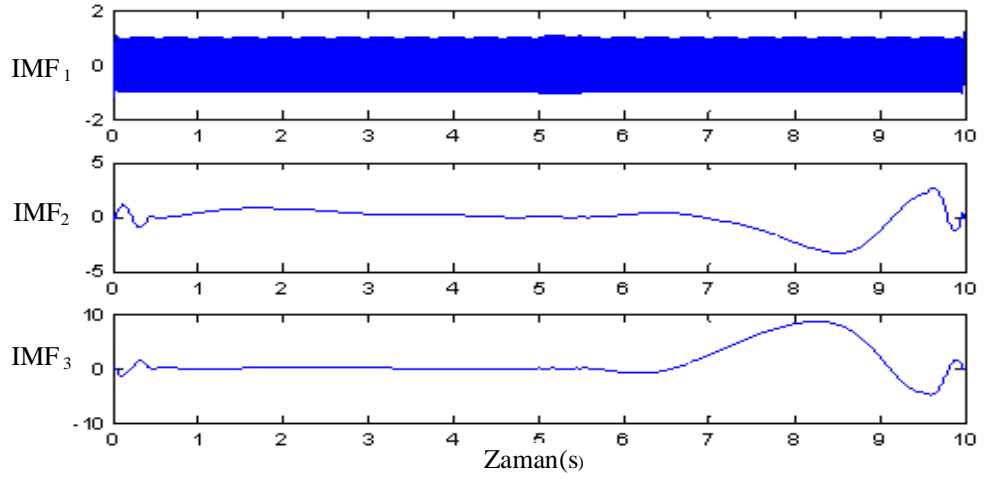
### 5.7.2. Gerilim yükselmesi olan sinyalin analizi

Giriş sinyalinde sinyalin genliği 5-(5.5). saniyeler arasında 1 birimden 1.05 birime yükseltilmektedir. Şekil 5.13'de giriş sinyali gösterilmektedir. Örnekleme frekansı  $f_s = 20\text{KHz}$ 'dir.

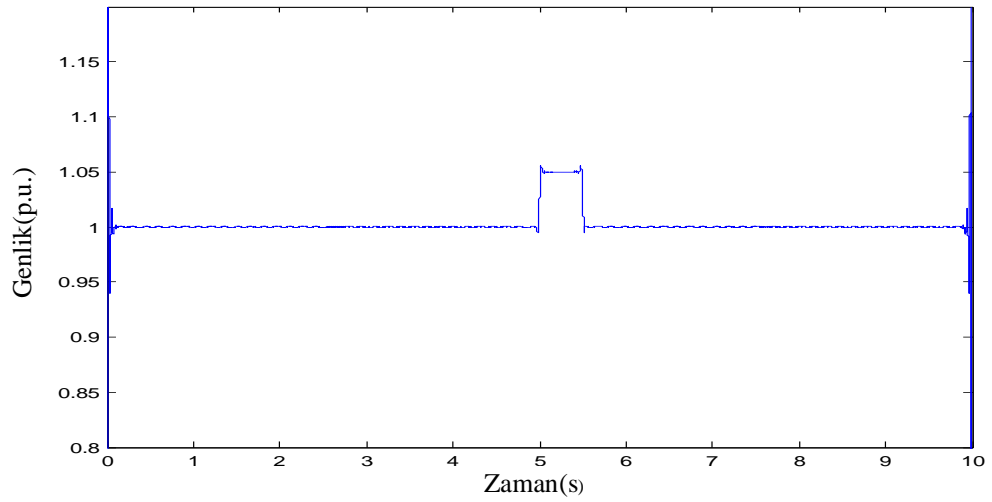
Giriş sinyaline EMD uygulanarak IMF'ler elde edilmektedir. Şekil 5.14'de EMD sonucunda elde edilen IMF sinyalleri gösterilmektedir. IMF1'e HHT uygulanarak gerilim yükselmesi olan sinyalin genliği ve frekansı elde edilmektedir. Şekil 5.15 a'da elde edilen genlik sinyali ve b'de frekans sinyali gösterilmektedir.



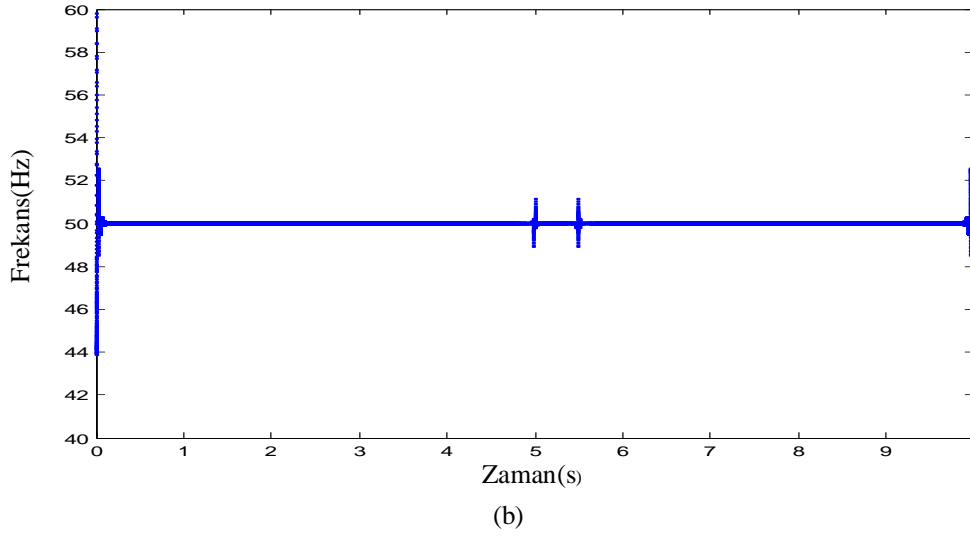
Şekil 5.13. Gerilim yükselmesi olan sinyal



Şekil 5.14. Gerilim yükselmesi olan sinyalden elde edilen IMF'ler



(a)

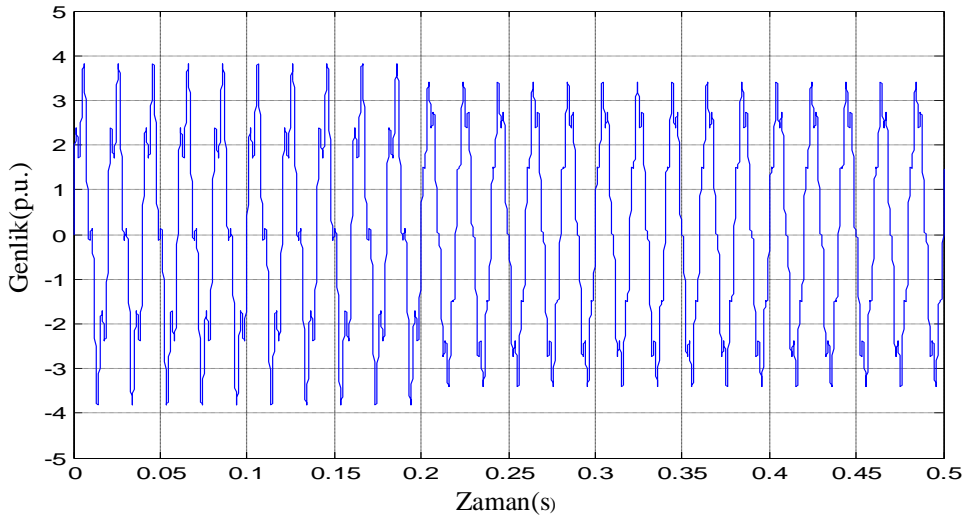


Şekil 5.15. Gerilim yükselmesi olan sinyalin HHT’inden elde edilen (a) genlik ve (b)frekans sinyali

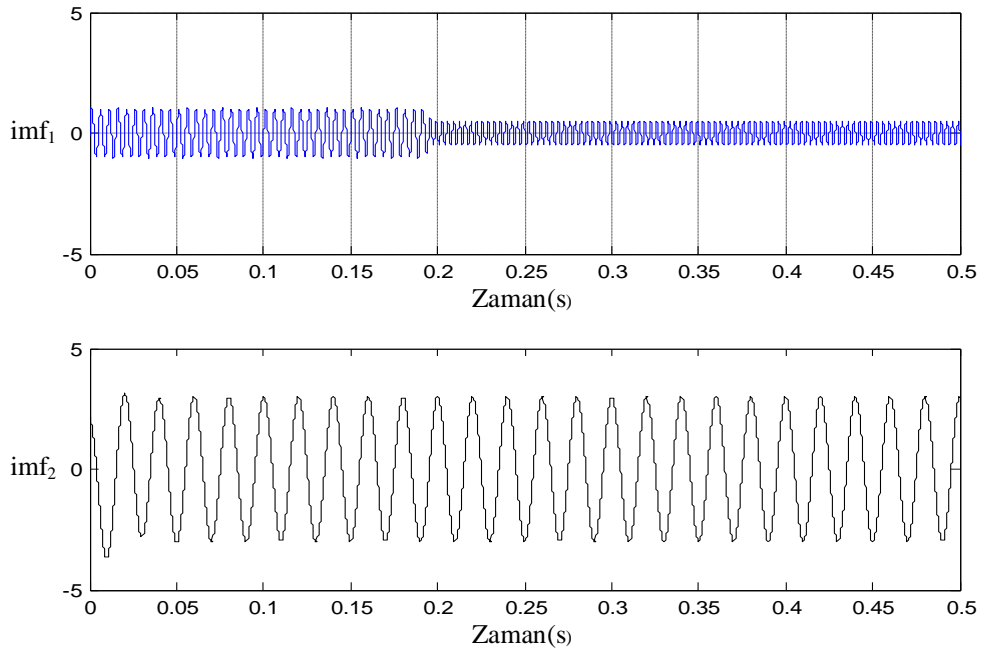
### 5.7.3. Harmonikli giriş sinyalinin analizi

$$\text{Giriş sinyali } u(t) = \begin{cases} 3 \sin(2\pi 50t) + \sin(2\pi 200t) & (0 \leq t \leq 0.2) \\ 3 \sin(2\pi 50t) + 0,5 \sin(2\pi 300t) & (0.2 \leq t \leq 0.5) \end{cases} \quad \text{eşitliği ile}$$

elde edilmektedir. Harmonikli giriş sinyali Şekil 5.16’da gösterilmektedir. Örnekleme frekansı  $f_s = 10\text{KHz}$ ’dir. EMD’nin sonucunda elde edilen ilk IMF giriş sinyalinde en yüksek frekansa sahip olan bileşendir. İkinci IMF frekansı küçük olan bileşendir. Şekil 5.17’de EMD sonucunda elde edilen IMF’ler gösterilmektedir.

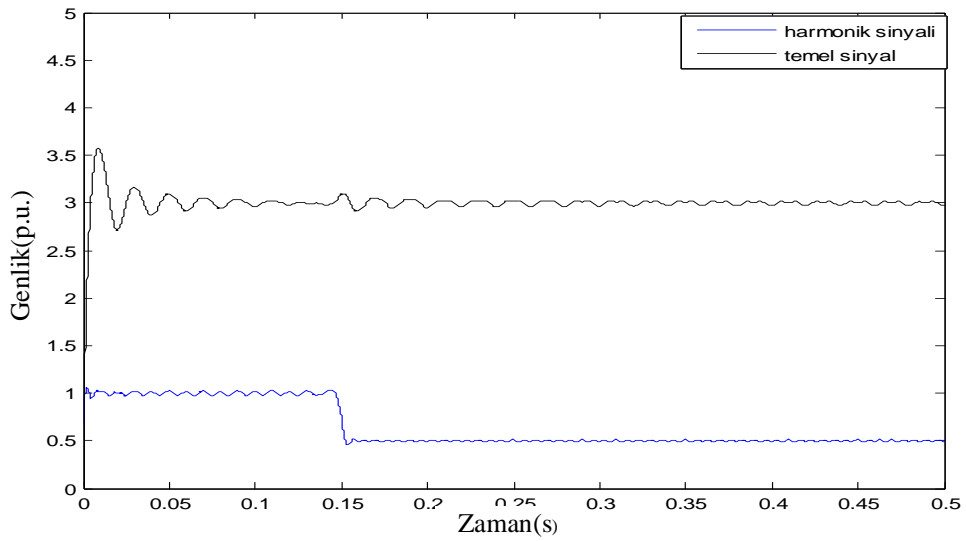


Şekil 5.16. Harmonikli giriş sinyali

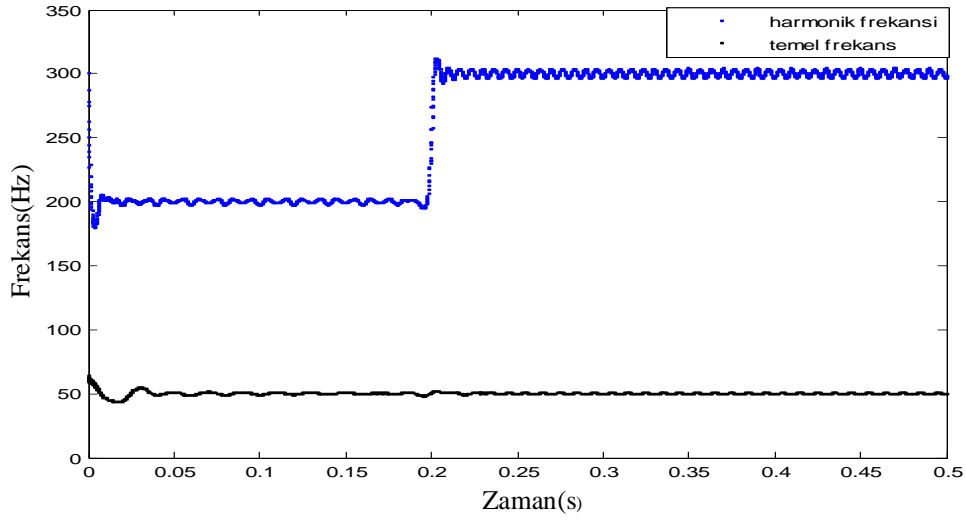


Şekil 5.17. Harmonikli giriş sinyalinden EMD kullanılarak elde edilen IMF'ler

IMF<sub>1</sub> 200Hz ve 300 Hz'lik frekanslara sahip iki harmonik sinyalini ve IMF<sub>2</sub>'de 50 Hz'lik frekansa sahip temel sinyali içermektedir. Harmonikler ve temel sinyal EMD sonucunda ayrıştırılmaktadır. HT kullanılarak her IMF bileşeninden sinyallerin genlikleri ve frekansları elde edilmektedir. Şekil 5.18 a'da HHT sonucunda elde edilen genlik sinyalleri ve b'de frekans sinyalleri gösterilmektedir.



(a)



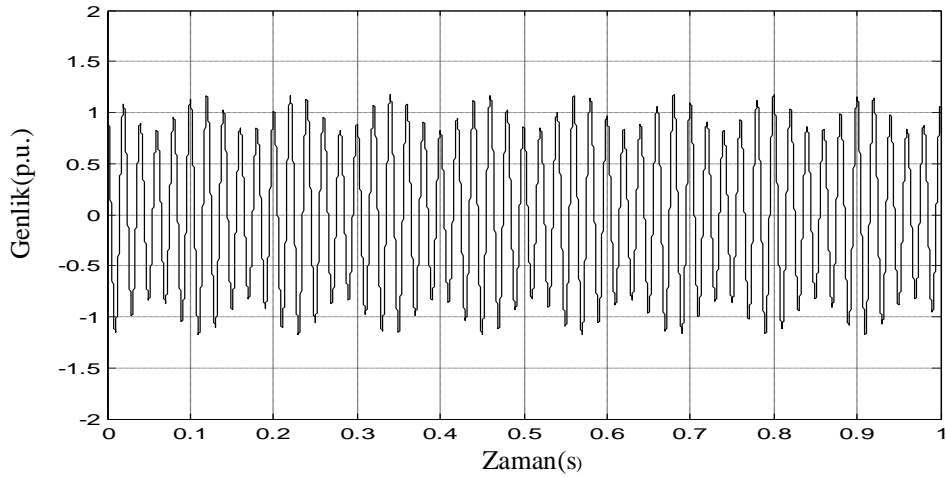
(b)

Şekil 5.18. Harmonikli sinyalden HHT kullanılarak elde edilen (a) genlikler ve (b) frekanslar

## 5.8. Tek Kırpışma Frekansı İçeren Gerilim Sinyalinin Önerilen Algoritma Kullanılarak Analizi

### 5.8.1. Tekli kırpışma frekansı içeren gerilim sinyalinde kırpışma frekansının ve genliğinin HHT ile elde edilmesi

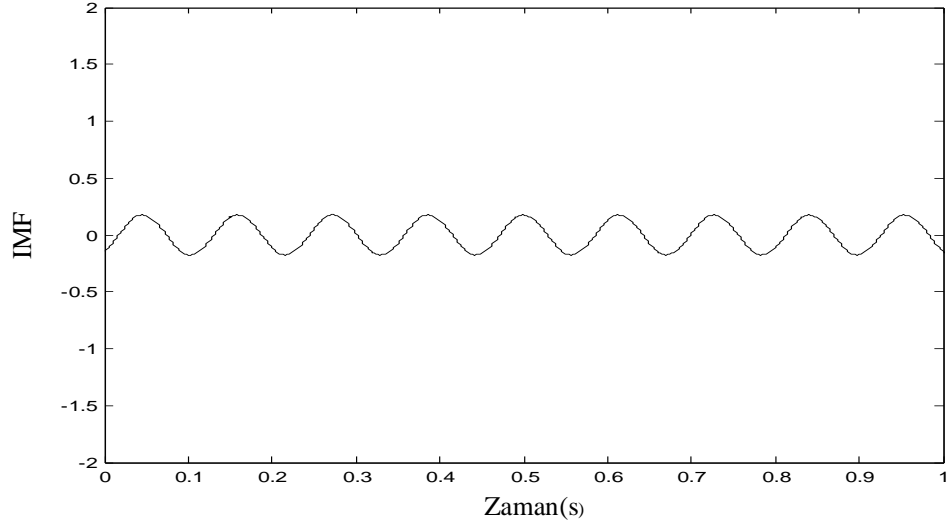
Tek kırpışma frekansı ile modüle edilmiş gerilimin ifadesi (4.11)'de verilmektedir. Ele aldığımız deneyde  $A_0 = 1$ ,  $m = 0.176$ ,  $f = 8.8\text{Hz}$ ,  $\phi_1 = 0$ ,  $f_0 = 50\text{Hz}$  ve  $\phi_0 = 0$ 'a ayarlanmaktadır [91]. Tek kırpışma frekansı ile modüle edilmiş gerilim sinyali Şekil 5.19'da gösterilmektedir.



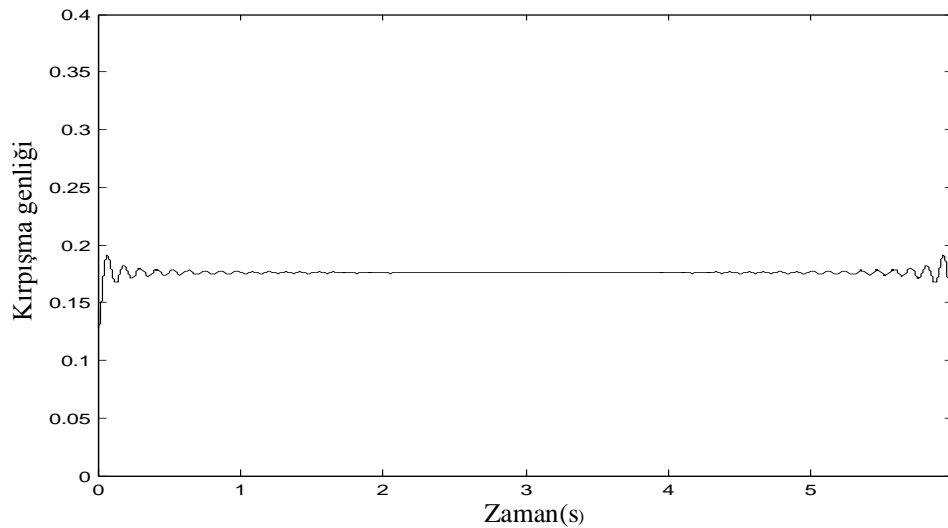
Şekil 5.19. Tek kırpışma frekansı içeren gerilim sinyali



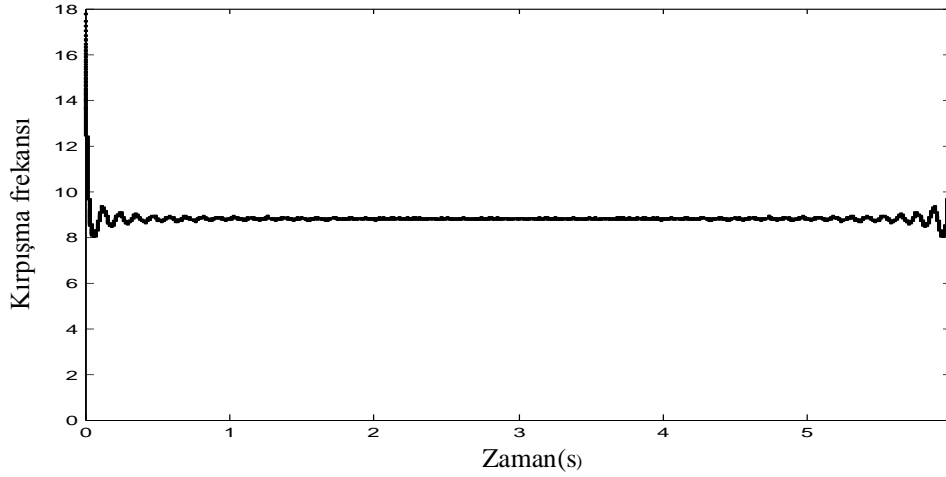
EMD sonucunda elde edilen kırpışma sinyali IMF Şekil 5.20’de gösterilmektedir. IMF sinyalinden kırpışma frekansını ve genliğini elde etmek için IMF sinyaline HT uygulanmakta ve elde edilen kırpışma genliğinin ve kırpışma frekansının sinyalleri sırasıyla Şekil 5.21(a) ve (b)’de gösterilmektedir. Genlik değeri uygulanan değerle karşılaştırıldığında hata %0.004204’dür. Frekans değeri uygulanan değerle karşılaştırıldığında hata %0.007940’dır.



Şekil 5.20. Tek kırpışma frekansı içeren gerilim sinyalinden EMD sonucu elde edilen IMF



(a)



(b)

**Şekil 5.21.** Tek frekans bileşenli kırışmanın (a) genlik sinyali, (b) frekans sinyali

Kırışma genliğinin ve frekansının sayısal değerleri Çizelge 5.9’da verilmektedir [91].

**Çizelge 5.9.** Tek frekans bileşenli kırışma sinyalinin genliği ve frekansı [91]

Parametre	f(Hz)	m(p.u.)
Ayarlanan değer	8.800000	0.176000
Ölçülen değer	8.799301	0.175992
Hata(%)	0.007940	0.004204

25Hz’in üzerindeki kırışma frekanslarının etkisi ihmal edilebilir. Kırışma genliği  $m_i$  %1 ile %10 arasında, kırışma frekansı  $f_i$  3.5Hz ile 24Hz arasında seçilirse kırışmanın frekansı ve genliği program sonucunda hesaplanmaktadır. Sonuçlar Çizelge 5.10, 5.11 ve 5.12’de gösterilmektedir.

**Çizelge 5.10.** Tek frekans bileşenli  $m_i = 0.02$  p.u. olan kırışma için sonuçlar

Uygulanan $f_i$ (Hz)	$f_i$ (Hz)	$e_{fi}$ (%)	$m_i$ (p.u.)	$e_{mi}$ (%)
3.5	3.4999582	0.0011946	0.0200005	0.0018258
4.5	4.4999768	0.0005163	0.0200001	0.0001728
5.5	5.4999352	0.0011782	0.0200001	0.0000790
6.5	6.4998521	0.0022757	0.0200001	0.0001957
7.5	7.4997465	0.0033798	0.0199998	0.0016914
<b>8.8</b>	8.7996105	0.0044267	0.0200000	0.0001545
10.0	10.0005916	0.0059158	0.0200000	0.0007141
15.0	14.9979269	0.0138227	0.0199931	0.0354112
20.0	20.0051404	0.0256953	0.0199997	0.0022122
24.0	24.0062344	0.0259700	0.0199924	0.0387975

**Çizelge 5.11.** Tek frekans bileşenli  $m_i = 0.06$  p.u. olan kırpışma için sonuçlar

Uygulanan $f_i$ (Hz)	$f_i$ (Hz)	$e_{fi}$ (%)	$m_i$ (p.u.)	$e_{mi}$ (%)
3.5	3.4999802	0.0005650	0.0600002	0.0000450
4.5	4.4999385	0.0013659	0.0600000	0.0001862
5.5	5.4999197	0.0014608	0.0600001	0.0000867
6.5	6.4998499	0.0023097	0.0600000	0.0001693
7.5	7.4997475	0.0033669	0.0599991	0.0016909
<b>8.8</b>	8.7996101	0.0044310	0.0599995	0.0009915
10.0	10.0005916	0.0059158	0.0599997	0.0007141
15.0	14.9987363	0.0084255	0.0599941	0.0101109
20.0	20.0006977	0.0034883	0.0600001	0.0113954
24.0	24.0063440	0.0264265	0.0600001	0.0498357

**Çizelge 5.12.** Tek frekans bileşenli  $m_i = 0.1$  p.u. olan kırpışma için sonuçlar

Uygulanan $f_i$ (Hz)	$f_i$ (Hz)	$e_{fi}$ (%)	$m_i$ (p.u.)	$e_{mi}$ (%)
3.5	3.4999573	0.0012198	0.1000001	0.0000229
4.5	4.4999601	0.0008868	0.1000001	0.0000279
5.5	5.4999200	0.0014548	0.1000000	0.0000967
6.5	6.4998505	0.0022996	0.0999999	0.0001696
7.5	7.4997474	0.0033687	0.0999984	0.0016911
<b>8.8</b>	8.7991855	0.0092564	0.1000036	0.0035235
10.0	9.9987813	0.0121885	0.0999950	0.0051416
15.0	14.9994024	0.0039844	0.0999555	0.0445883
20.0	19.9793153	0.1035306	0.0998289	0.1714649
24.0	24.0137789	0.0573790	0.0999498	0.0503381

Çizelge 5.10, 5.11 ve 5.12’de kırpışma genliği ve frekansı arttırıldığında kırpışma frekans hatası  $e_{fi}$  (%) ve kırpışma genlik hatası  $e_{mi}$  (%) çok az değişmektedir.

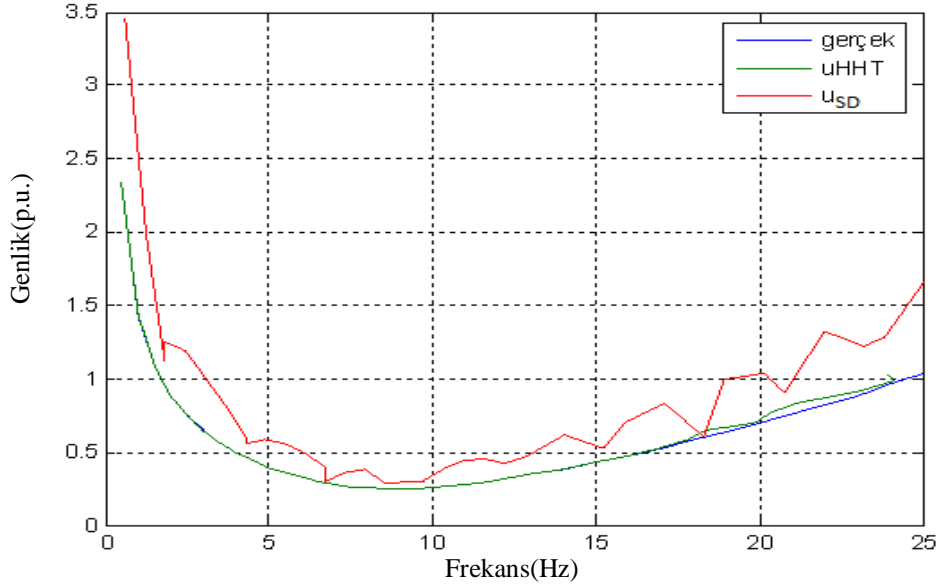
### **5.8.2. Kırpışma frekansının ve genliğinin elde edilmesinde HHT yönteminin ve SD yönteminin karşılaştırılması**

Tek kırpışma frekansları içeren gerilim sinyali HHT ve kare demodülasyonu (SD) yöntemleri ile ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.13’de verilmektedir.

**Çizelge 5.13.** HHT ve SD yöntemleri ile elde edilen kırışma genlikleri ve frekansları

Hz			$\Delta V / V$		
Uygulanan	HHT	SD	Uygulanan	HHT	SD
0.5	0.4992	0.6104	2.340	2.3412	3.4563
1.0	0.9987	1.2207	1.432	1.4332	2.0034
1.5	1.4993	1.2207	1.080	1.0803	1.1245
2.0	1.9978	1.8311	0.882	0.8828	1.2499
2.5	2.4887	2.4414	0.754	0.7555	1.1882
3.0	2.9950	3.0518	0.654	0.6543	1.0196
3.5	3.4998	3.6621	0.568	0.5680	0.8224
4.0	3.9813	4.2725	0.500	0.5007	0.5937
4.5	4.4990	4.2725	0.446	0.4460	0.5585
5.0	4.9722	4.8828	0.398	0.3986	0.5917
5.5	5.4973	5.4932	0.360	0.3600	0.5619
6.0	5.9972	6.1035	0.328	0.3280	0.4978
6.5	6.4966	6.7139	0.300	0.3000	0.4009
7.0	6.9971	6.7139	0.280	0.2800	0.2994
7.5	7.4969	7.3242	0.266	0.2660	0.3611
8.0	7.9891	7.9346	0.256	0.2561	0.3877
8.8	8.7926	8.5449	0.250	0.2501	0.2892
9.5	9.4941	9.7656	0.254	0.2541	0.3048
10.0	9.9956	9.7656	0.260	0.2601	0.3153
10.5	10.4991	10.3760	0.270	0.2700	0.3904
11.0	10.9983	10.9863	0.282	0.2820	0.4408
11.5	11.4979	11.5967	0.296	0.2960	0.4565
12.0	11.9921	12.2070	0.312	0.3119	0.4223
13.0	12.9941	12.8174	0.348	0.3480	0.4684
14.0	13.9937	14.0381	0.388	0.3880	0.6176
15.0	14.9918	15.2588	0.432	0.4320	0.5233
16.0	15.9947	15.8691	0.480	0.4795	0.7023
17.0	16.9352	17.0898	0.530	0.5312	0.8295
18.0	17.8232	18.3105	0.584	0.5893	0.6124
19.0	18.3188	18.9209	0.640	0.6458	0.9957
20.0	19.8362	20.1416	0.700	0.7043	1.0412
21.0	20.3791	20.7520	0.760	0.7682	0.9091
22.0	21.1182	21.9727	0.824	0.8371	1.3229
23.0	22.9921	23.1934	0.890	0.9209	1.2228
24.0	24.1098	23.8037	0.962	0.9878	1.2881
25.0	23.8881	25.0244	1.042	1.0373	1.6647

Şekil 5.22’de iki yöntemin karşılaştırılması gösterilmektedir. Burada HHT sonuçlarının SD’ye göre daha doğru sonuçlar verdiği görülmektedir.



Şekil 5.22. Uygulanan değerler ile HHT ve SD’den elde edilen değerlerin karşılaştırılması

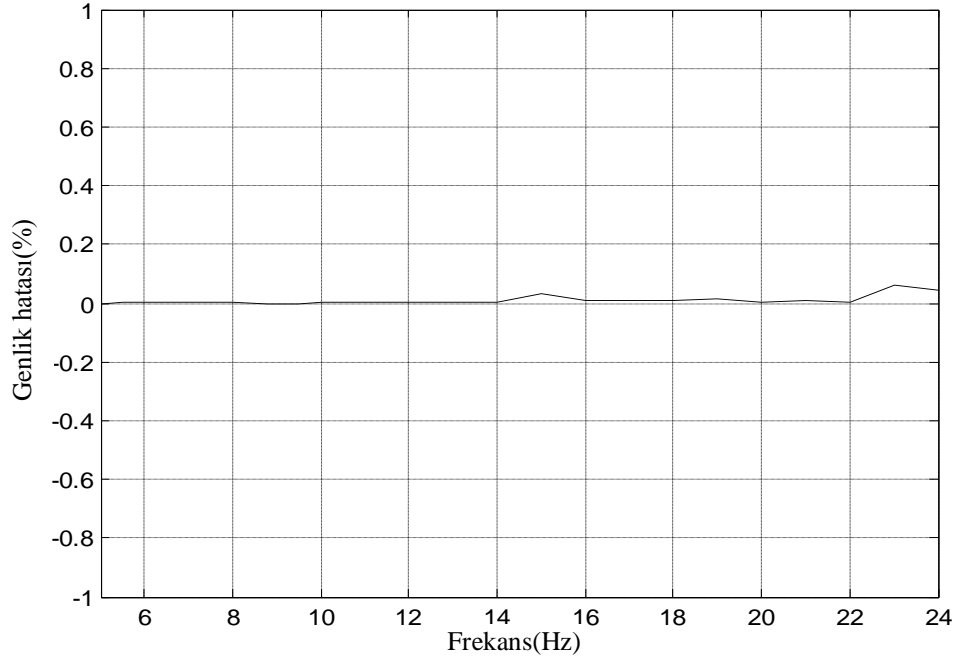
### 5.8.3. Tekli kırpışma frekansı içeren gerilim sinyalinde kısa dönem kırpışma şiddetinin önerilen algoritma ile elde edilmesi

Tek kırpışma frekansı ile modüle edilmiş gerilimin ifadesi (4.11)’de verilmektedir. Ele aldığımız deneyde  $A_0 = 1$ ,  $\phi_1 = 0$ ,  $f_0 = 50\text{Hz}$  ve  $\phi_0 = 0$ ’a ayarlanmıştır [93]. Gerçek durumlara yakın bir simülasyon analizi yapmak amacıyla, kırpışma frekansı  $f$  ve genliği  $m$  anlık kırpışma algılaması (IFL)’nin 1 olduğu gerilim dalgalanma değerlerine göre ayarlanmıştır. Kırpışma genliği  $m$  ve gerilim dalgalanma değeri  $\Delta V / V$  arasındaki ilişki  $m = (1 / 2\sqrt{2})\Delta V / V$  dir. Çizelge 5.14, IFL’nin 1’e eşit değerler olmasını içerdiği için, bu değerlerle yapılan testin sonucunda IFL’nin 1’e yakın bir değer alması beklenmektedir. En duyarlı frekans olan 8.8 Hz’in etrafındaki 25 tane frekans bileşeni seçilmiştir.

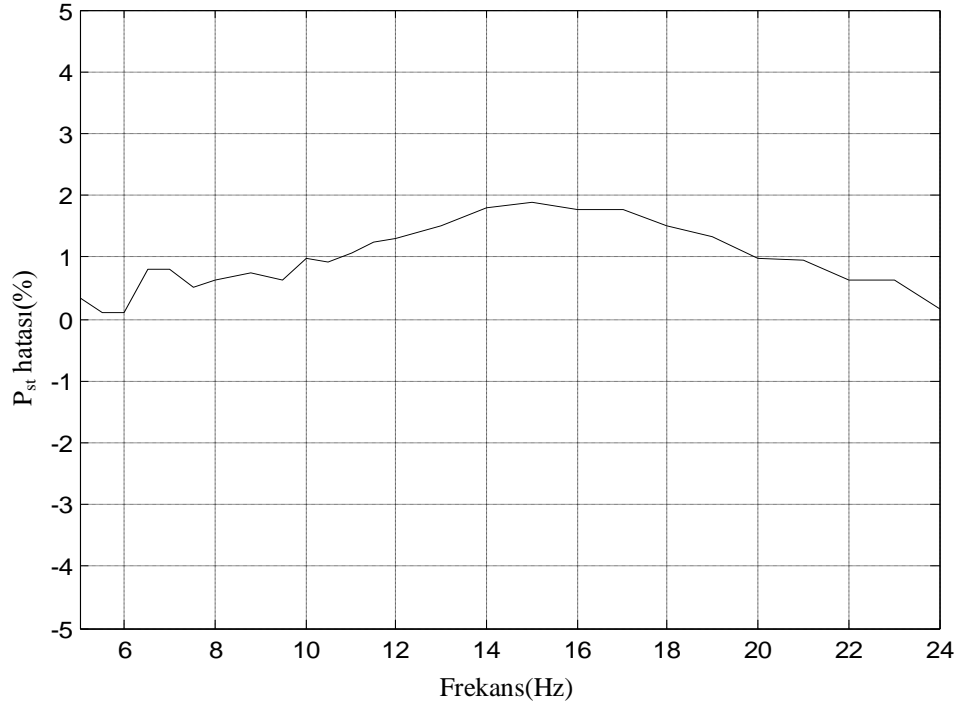
Seçilen kırpışma frekansı ve gerilim dalgalanmaları Çizelge 5.14’de listelenmektedir.  $P_{st}$  0.7092’e sabitlenmiştir. Şekil 5.23 a’da elde edilen kırpışma genliğinin hatası, b’de tek kırpışma frekanslı gerilim sinyali için hesaplanmış  $P_{st}$  hatası gösterilmektedir [93]. IEC 61000-4-15’de belirtildiği gibi bu değerlerin %5’den küçük olması bu yöntemin uygulanabilir olduğunu göstermektedir.

**Çizelge 5.14.** Kırışma frekansları ve gerilim dalgalanma değerleri

Frekans f(Hz)	Gerilim dalgalanması ( $\Delta V / V$ %)	Frekans f(Hz)	Gerilim dalgalanması ( $\Delta V / V$ %)
5.0	0.398	12.0	0.312
5.5	0.360	13.0	0.348
6.0	0.328	14.0	0.388
6.5	0.300	15.0	0.432
7.0	0.280	16.0	0.480
7.5	0.266	17.0	0.530
8.0	0.256	18.0	0.584
8.8	0.250	19.0	0.640
9.5	0.254	20.0	0.700
10.0	0.260	21.0	0.760
10.5	0.270	22.0	0.824
11.0	0.282	23.0	0.890
11.5	0.296	24.0	0.962



(a)



(b)

Şekil 5.23. Tek kırpışma frekanslı gerilim sinyali için (a) kırpışma genlik hatası, (b) Pst hatası

#### 5.8.4. Kısa dönem kırpışma şiddetinin elde edilmesinde önerilen algoritmanın ve SD yönteminin karşılaştırılması

Tek kırpışma frekanslı gerilim sinyali SD ve önerilen yöntem için test edilmektedir. İki yöntemle kırpışma zarfı elde edildikten sonra anlık kırpışma seviyesi ve kısa dönem kırpışma şiddeti IEC’de önerilen yöntemle uygun olarak hesaplanmaktadır.  $P_{st}$  0.7144’e sabitlenmiştir [92].

Gerçek durumlara yakın bir simülasyon analizi yapmak amacıyla, değerler Çizelge 5.14’deki gerilim dalgalanma değerlerine göre ayarlanmaktadır. Çizelge 5.14 IFL’nin 1’e eşit değerler olmasını içerdiği için, bu değerlerle yapılan testin sonucunda IFL’nin 1’e yakın bir değer alması beklenmektedir.

Çizelge 5.15’de seçilen kırpışma frekansı, gerilim dalgalanmaları ve HHT ve SD yöntemi için IFL değerleri karşılaştırılmaktadır.

Çizelge 5.16’da HHT ve SD yöntemi için  $P_{st}$  değerleri karşılaştırılmaktadır [92].

**Çizelge 5.15.** IFL değeri için simülasyon sonuçlarının kıyaslanması

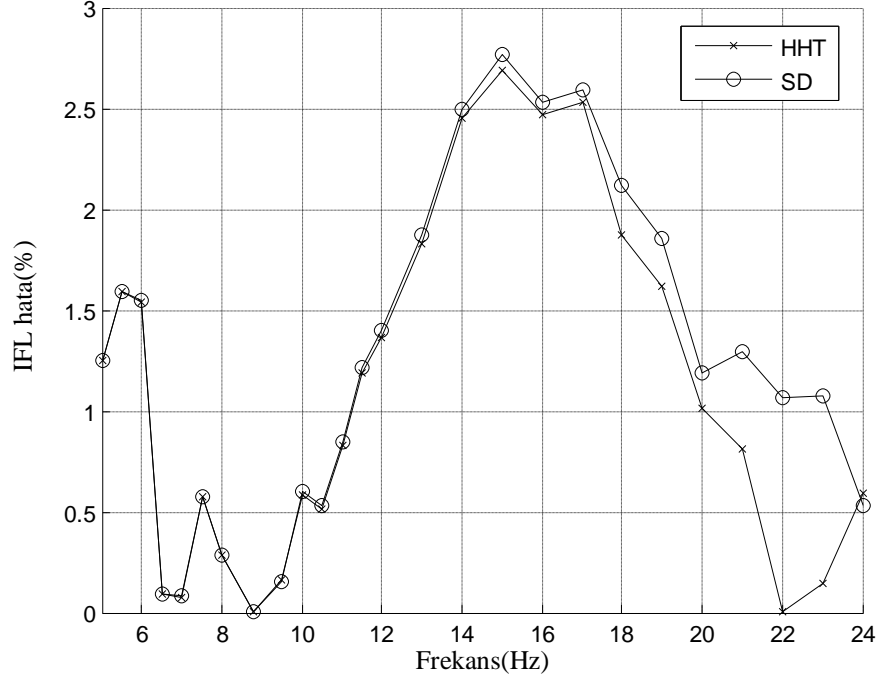
f (Hz)	IFL			f (Hz)	IFL		
	$\Delta V / V$ (%)	HHT	SD		$\Delta V / V$ (%)	HHT	SD
5.0	0.398	1.012	1.013	12.0	0.312	0.986	0.986
5.5	0.360	1.016	1.016	13.0	0.348	0.982	0.982
6.0	0.328	1.015	1.016	14.0	0.388	0.976	0.976
6.5	0.300	1.000	1.001	15.0	0.432	0.973	0.973
7.0	0.280	1.000	1.001	16.0	0.480	0.975	0.975
7.5	0.266	1.005	1.006	17.0	0.530	0.975	0.975
8.0	0.256	1.002	1.003	18.0	0.584	0.981	0.979
8.8	0.250	1.000	1.000	19.0	0.640	0.984	0.982
9.5	0.254	1.001	1.002	20.0	0.700	0.990	0.988
10.0	0.260	0.994	0.994	21.0	0.760	0.991	0.987
10.5	0.270	0.994	0.995	22.0	0.824	0.999	0.989
11.0	0.282	0.991	0.992	23.0	0.890	0.998	0.989
11.5	0.296	0.988	0.998	24.0	0.962	1.005	0.995

**Çizelge 5.16.**  $P_{st}$  değeri için simülasyon sonuçlarının kıyaslanması

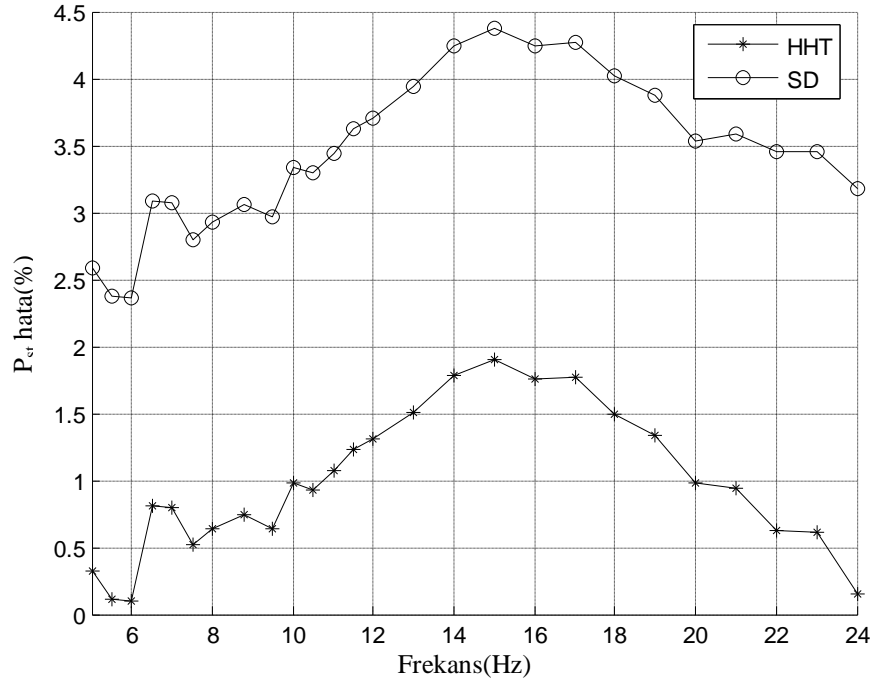
f (Hz)	$P_{st}$			f (Hz)	$P_{st}$		
	$\Delta V / V$ (%)	HHT	SD		$\Delta V / V$ (%)	HHT	SD
5.0	0.398	0.712	0.696	12.0	0.312	0.705	0.689
5.5	0.360	0.713	0.698	13.0	0.348	0.703	0.687
6.0	0.328	0.713	0.698	14.0	0.388	0.701	0.685
6.5	0.300	0.708	0.693	15.0	0.432	0.701	0.684
7.0	0.280	0.708	0.693	16.0	0.480	0.702	0.685
7.5	0.266	0.710	0.695	17.0	0.530	0.702	0.685
8.0	0.256	0.709	0.694	18.0	0.584	0.703	0.687
8.8	0.250	0.709	0.693	19.0	0.640	0.704	0.688
9.5	0.254	0.709	0.694	20.0	0.700	0.707	0.690
10.0	0.260	0.707	0.691	21.0	0.760	0.707	0.690
10.5	0.270	0.707	0.692	22.0	0.824	0.709	0.691
11.0	0.282	0.706	0.691	23.0	0.890	0.710	0.691
11.5	0.296	0.705	0.689	24.0	0.962	0.713	0.692



Şekil 5.24'de test sonuçlarından elde edilen IFL hatası (%) karşılaştırılmaktadır. Şekil 5.25'de test sonuçlarından elde edilen  $P_{st}$  hatası (%) karşılaştırılmaktadır.



Şekil 5.24. Simülasyon sonuçlarının IFL hatası(%) kıyaslamaları

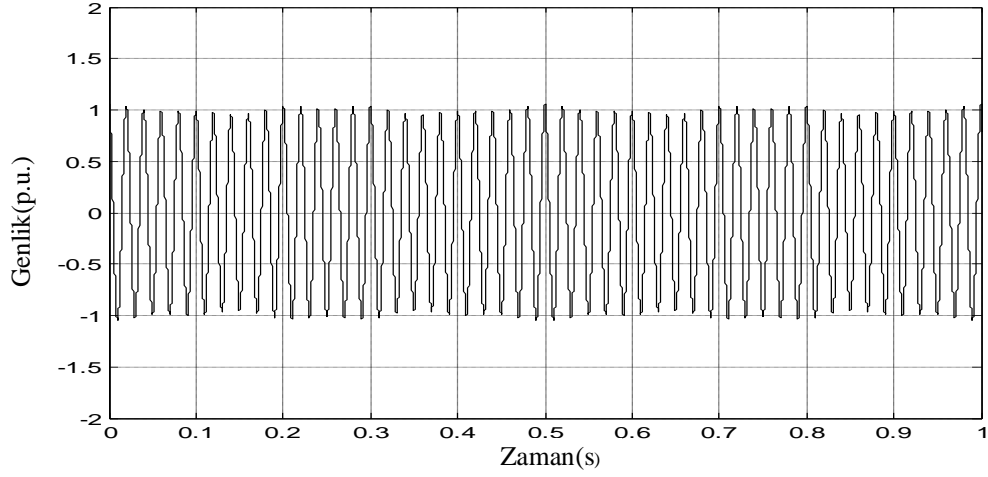


Şekil 5.25. Simülasyon sonuçlarının  $P_{st}$  hatası(%) kıyaslamaları

## 5.9. Çoklu Kırpışma Frekansı İçeren Gerilim Sinyalinin Önerilen Algoritma Kullanılarak Analizi

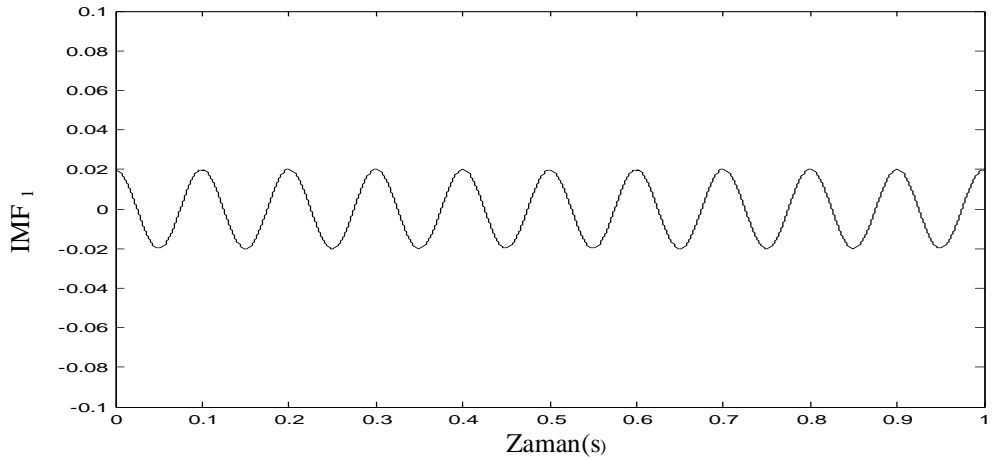
### 5.9.1. Çoklu kırpışma frekansı içeren gerilim sinyalinde kırpışma frekanslarının ve genliklerinin HHT ile elde edilmesi

İkili kırpışma frekansı ile modüle edilmiş gerilimin ifadesi (4.14)'de verilmektedir. Ele aldığımız deneyde  $A_0 = 1$ ,  $m_1 = 0.02$ ,  $f_1 = 10\text{Hz}$ ,  $\phi_1 = 0$ ,  $m_2 = 0.033$ ,  $f_2 = 4\text{Hz}$ ,  $\phi_2 = 0$ ,  $f_0 = 50\text{Hz}$  ve  $\phi_0 = 0$ 'a ayarlanmıştır [91]. Gerilim sinyali Şekil 5.26'da gösterilmektedir.

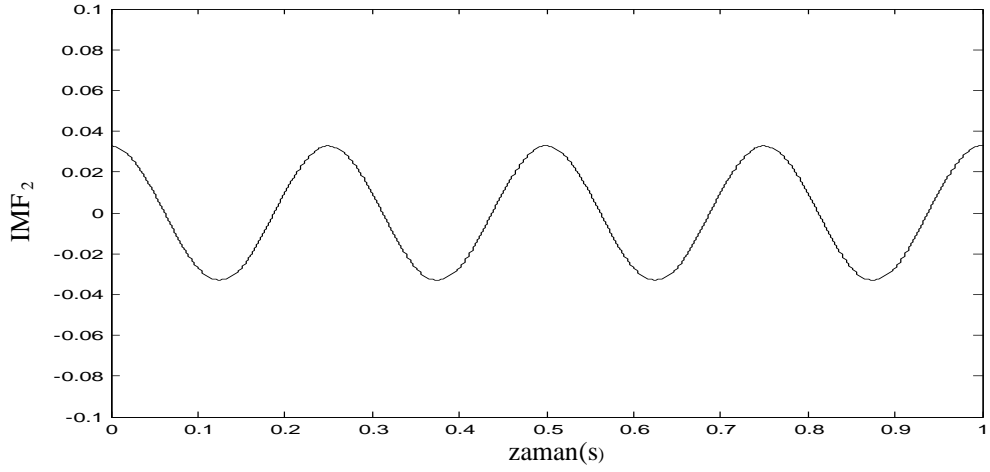


Şekil 5.26. İkili kırpışma frekansı içeren gerilim sinyali

EMD sonucunda elde edilen  $\text{IMF}_1$  ve  $\text{IMF}_2$  Şekil 5.27'de a ve b'de gösterilmektedir.



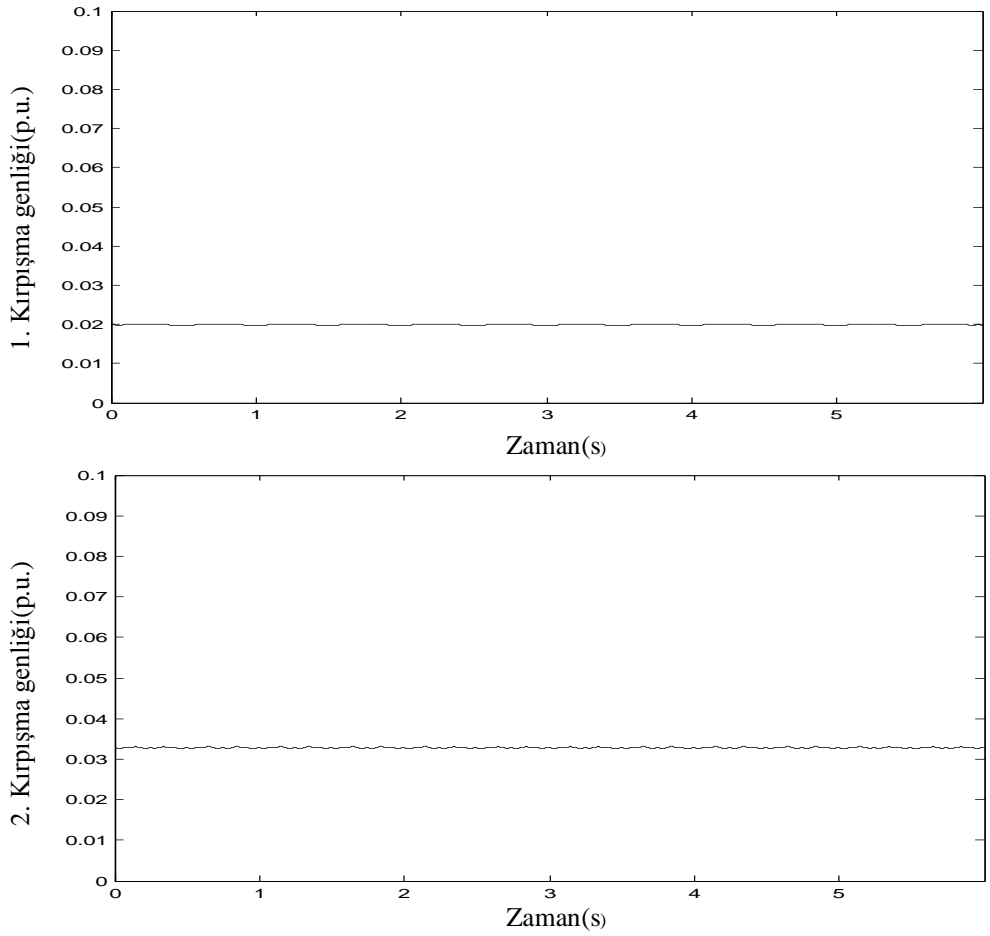
(a)



(b)

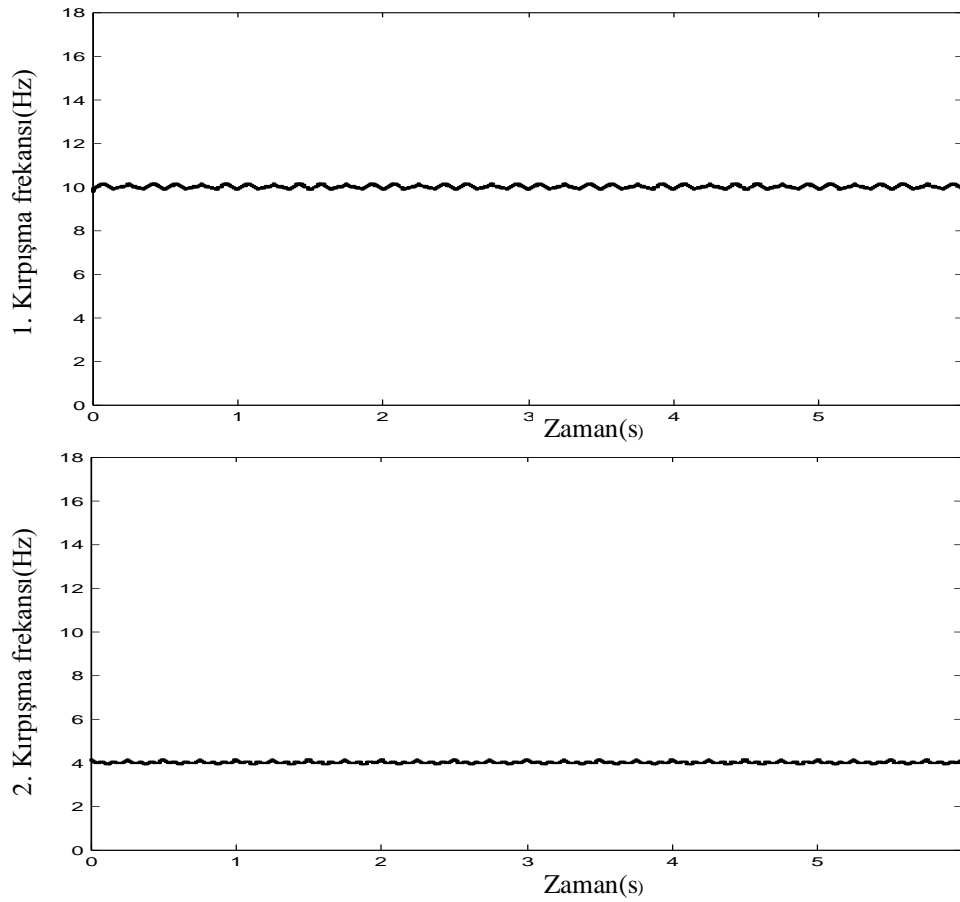
Şekil 5.27. İki kırpışma frekansı içeren gerilim sinyalinden EMD sonucu elde edilen IMF'ler

IMF<sub>1</sub> ve IMF<sub>2</sub> sinyalinden elde edilen kırpışma bileşenlerinin genlikleri Şekil 5.28'de gösterilmektedir.



Şekil 5.28. İki frekans bileşenli kırpışmanın 1. ve 2. genlik sinyalleri

IMF<sub>1</sub> ve IMF<sub>2</sub> sinyalinde elde edilen kırpışma bileşenlerinin frekansları Şekil 5.29’da gösterilmektedir. Kırpışma sinyalinin 1. bileşeninin genlik ve frekans değeri uygulanan değerle karşılaştırıldığında hata sırasıyla %0.517819 ve %0.140070’dır. Kırpışma sinyalinin 2. bileşeninin genlik ve frekans değeri uygulanan değerle karşılaştırıldığında hata sırasıyla %0.285814 ve %0.088748’dir. Kırpışma bileşenlerinin genliklerinin ve frekanslarının sayısal değerleri Çizelge 5.17’de verilmektedir.



Şekil 5.29. İki frekans bileşenli kırpışmanın 1. ve 2. frekans sinyalleri,

Çizelge 5.17. İki frekans bileşenli kırpışma sinyalinin genlikleri ve frekansları

Parametre	$f_1$ (Hz)	$m_1$ (p.u)	$f_2$ (Hz)	$m_2$ (p.u)
Ayarlanan	10.000000	0.020000	4.000000	0.033000
Ölçülen	9.991133	0.019943	3.994405	0.032830
Hata(%)	0.088748	0.285814	0.140070	0.517819

### 5.9.2. Çoklu kırpışma frekansı içeren gerilim sinyalinde kısa dönem kırpışma şiddetinin önerilen algoritma ile elde edilmesi

İkili kırpışma frekansı ile modüle edilmiş gerilimin ifadesi (4.14)'de verilmektedir. Ele aldığımız deneyde  $A_0 = 1$ ,  $m_1 = 0.00141$ ,  $f_1 = 5\text{Hz}$ ,  $\phi_1 = 0$ ,  $m_2 = 0.00153$ ,  $f_2 = 15\text{Hz}$ ,  $\phi_2 = 0$ ,  $f_0 = 50\text{Hz}$  ve  $\phi_0 = 0$ 'a ayarlanmıştır [93]. Çizelge 5.18'de ayarlanan kırpışma frekansları ve genlikleri, Çizelge 5.19'da ve Çizelge 5.20'de sırasıyla HHT kullanılarak hesaplanan kırpışma frekansları, frekans hataları, kırpışma genlikleri, genlik hataları ve  $P_{st}$  hatası gösterilmektedir.

**Çizelge 5.18.** İkili kırpışma frekanslı gerilim sinyali için ayarlanan değerler

Frekans (Hz)	5	15
Genlik (p.u.)	0.00141	0.00153

Çizelge 5.23'de HHT yöntemi ile TEO ve SD yöntemleri karşılaştırılmıştır[93]. Çizelge 5.23 ve 5.24'den görüldüğü gibi frekans hataları, genlik hataları ve  $P_{st}$  hatası %0.16'den küçük değerler almıştır. HHT yöntemi ile TEO ve SD yöntemi karşılaştırıldığında HHT yönteminin daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

**Çizelge 5.19.** İkili kırpışma frekanslı gerilim sinyali için sonuçlar

Frekans (Hz)	5	15
HHT-Frekans (Hz)	4.9991634	14.9996616
HHT-Frekans hatası (%)	0.0167353	0.0022563
HHT-Genlik (p.u.)	0.0014056	0.0015248
HHT-Genlik hatası (%)	0.1102016	0.1652988
TEO-Genlik (p.u.)	0.0014045	0.0015445
TEO-Genlik hatası (%)	0.394	0.945
SD-Genlik (p.u.)	0.0013842	0.0015425
SD-Genlik hatası(%)	1.828	0.819

**Çizelge 5.20.** İkili kırpışma frekanslı gerilim sinyali için  $P_{st}$

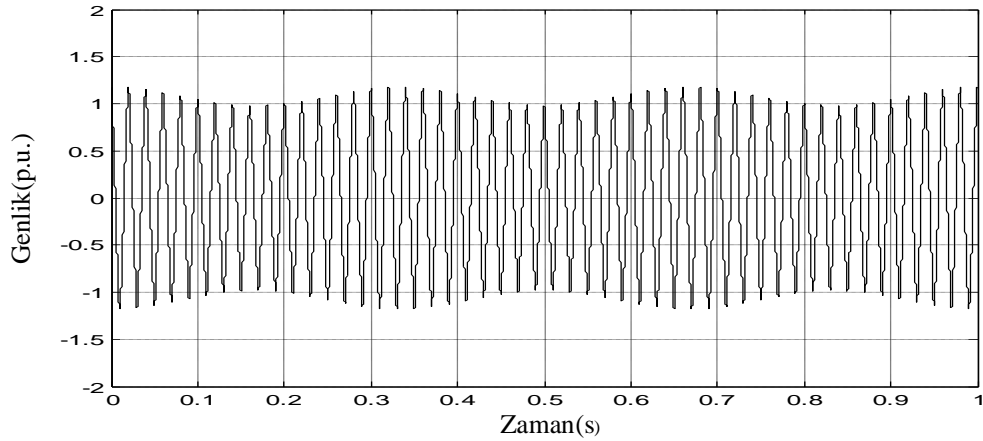
Ayarlanan $P_{st}$ (61000-4-15)	1.138298
Hesaplanan $P_{st}$	1.136377
$P_{st}$ hatası(%)	0.169

## 5.10. Harmonik İçeren Gerilim Sinyalinin Önerilen Algoritma Kullanılarak Analizi

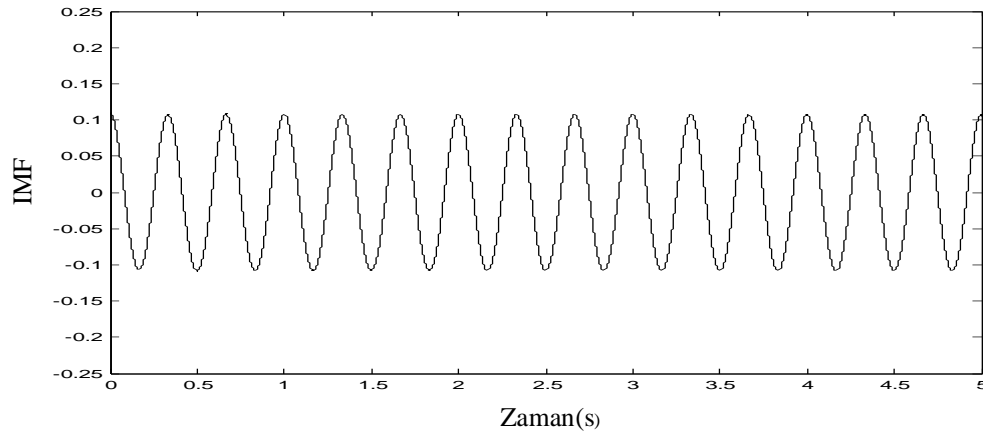
### 5.10.1. Harmonik içeren gerilim sinyalinde kırpışma frekansının ve genliğinin HHT ile elde edilmesi

Tek kırpışma frekansı ile modüle edilmiş harmonik içeren gerilimin ifadesi (4.17)'de verilmektedir. Ele aldığımız deneyde  $A_0 = 1$ ,  $m = 0.1$ ,  $f_f = 3\text{Hz}$ ,  $\phi_1 = 0$ ,  $f_0 = 50\text{Hz}$ ,  $\phi_0 = 0$ ,  $A_3 = 0.05$ ,  $A_5 = 0.03$ ,  $m_3 f_3 = 150\text{Hz}$  ve  $m_5 f_5 = 250\text{Hz}$  'e ayarlanmıştır [91].

Tek kırpışma frekansı ile modüle edilmiş harmonik içeren gerilim sinyali Şekil 5.30'da gösterilmektedir. EMD sonucunda elde edilen kırpışma sinyali IMF Şekil 5.31'de gösterilmektedir.

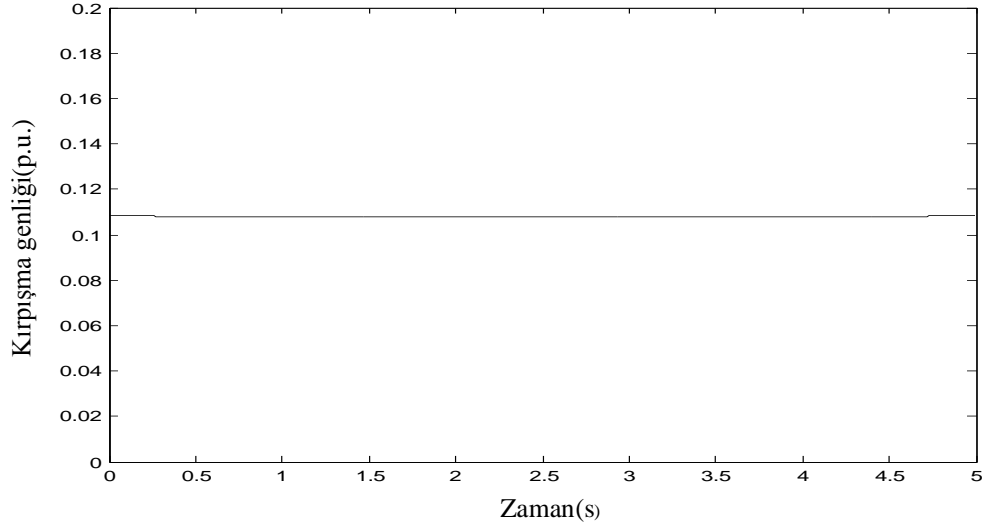


Şekil 5.30. Tek kırpışma frekansı ile modüle edilmiş harmonik içeren gerilim sinyali

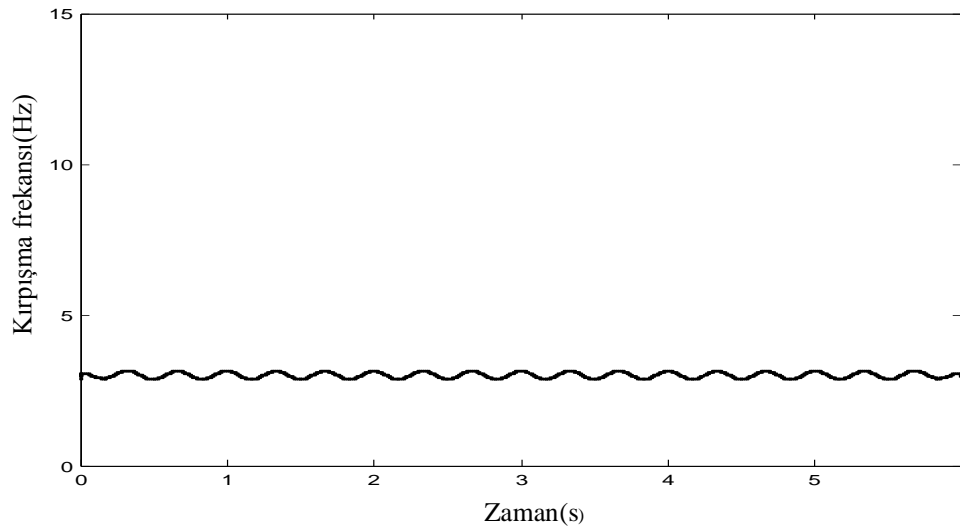


Şekil 5.31. Harmonik içeren gerilim sinyalinden elde edilen IMF

IMF sinyalinden kırpışma frekansını ve genliğini elde etmek için IMF sinyaline HT uygulanmakta ve elde edilen kırpışma genliğinin ve frekansının sinyali sırasıyla Şekil 5.32 (a) ve (b)'de gösterilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 5.32. Kırpışmanın (a) genlik sinyali, (b) frekans sinyali

Kırpışma sinyalinin genliğinin ortalama değeri 0.1020'dır. Genlik değeri uygulanan değerle karşılaştırıldığında hata %2.0212'dir. Kırpışma sinyalinin frekansının ortalama değeri 2.9999Hz'dir. Frekans değeri uygulanan değerle karşılaştırıldığında hata %0.0027'dir. Kırpışma genliğinin ve frekansının sayısal

değerleri Çizelge 5.21’de verilmektedir. Tek kırpışma frekansı ile modüle edilmiş harmonik içeren gerilim sinyalinde kırpışmanın frekans ve genlik değerinin bilgisi HHT ile verimli ve doğru bir biçimde çıkarılmaktadır.

**Çizelge 5.21.** Kırpışma sinyalinin genliği ve frekansı

Parametre	f(Hz)	m(p.u.)
Ayarlanan değer	3.0000	0.1000
Ölçülen değer	2.9999	0.1020
Hata(%)	0.0027	2.0212

### 5.10.2. Harmonik içeren gerilim sinyalinde kısa dönem kırpışma şiddetinin önerilen algoritma ile elde edilmesi

Tek kırpışma frekansı ile modüle edilmiş harmonik bileşeni içeren gerilimin ifadesi (4.17)’de verilmektedir. Ele aldığımız deneyde  $A_0 = 1$ ,  $m = 0.000884$  ( $d = 0,25\%$ ),  $f_f = 8.8\text{Hz}$ ,  $\phi_1 = 0$ ,  $f_0 = 50\text{Hz}$ ,  $\phi_0 = 0$ ,  $A_5 = 0.02$  ve  $m_5 f_5 = 250\text{Hz}$ ’e ayarlanmıştır.

Tek kırpışma frekansı ile modüle edilmiş 5. harmonik içeren gerilim sinyalinde kırpışma sinyalinin genliğinin ortalama değeri 0.000896 olarak ölçülmektedir. Genlik değeri uygulanan değerle karşılaştırıldığında hata %1.339300’dur. Kırpışma sinyalinin frekansının ortalama değeri 8.7953Hz’dur. Frekans değeri uygulanan değerle karşılaştırıldığında hata %0.0525’dur.  $P_{st}$  hatası %1.6093 olarak ölçülmüştür. Kırpışmanın genliğinin, frekansının ve  $P_{st}$ ’nin sayısal değerleri Çizelge 5.22 ’de verilmektedir.

**Çizelge 5.22.** Kırpışma sinyalinin genliği, frekansı ve  $P_{st}$  değeri

Parametre	f(Hz)	m(p.u.)	$P_{st}$
Ayarlanan değer(61000-4-15)	8.8000	0.000884	0.7092
Ölçülen değer	8.7953	0.000896	0.7208
Hata(%)	0.0525	1.339300	1.6093



### 5.11. Önerilen Algoritmanın Homojenliği

IEC- 61000-4-15 standartı homojenlik özelliğine sahip olan kırpışma ölçer cevabı gerektirmektedir. Örneğin d değeri iki katı olduğu zaman bunun sonucu olarak  $P_{st}$ 'de iki katı olmalıdır [5].

Önerilen algoritmanın homojenliği Çizelge 5.14'de verilen kırpışma frekanslarına karşılık gelen m değerlerinin iki katı ve yarısı uygulanarak kontrol edilmektedir. Sonuçlar Çizelge 5.23'de verilmektedir. Önerilen algoritmanın homojenliği varsa, m değerinin sırası ile iki katı ve yarısı uygulandığı zaman  $P_{st}$  değerinin de iki katı ve yarısı olması beklenmektedir. Çizelge 5.23'de verildiği gibi önerilen algoritmanın  $P_{st}$  değerini çok küçük hatalarla hesapladığı gözlemlenmektedir [92]. Bu tablodaki hata,  $P_{st}$ 'nin iki katı / yarısı hesaplanarak elde edilen değer ile m iki katına çıkarıldığı / yarıya indirildiği zaman önerilen algoritma ile elde edilen  $P_{st}$  arasındaki yüzde fark olarak tanımlanmıştır.

**Çizelge 5.23.** Önerilen algoritmanın homojenliği

Kırpışma frekansı(Hz)	Kırpışma genliği m(%)	$P_{st}$	Hata(%)
4	0.001768	0.7112	-
	$2 \times 0.001768$	1.4224	0.000
	$0.5 \times 0.001768$	0.3556	0.000
6	0.001160	0.7137	-
	$2 \times 0.001160$	1.4273	0.007
	$0.5 \times 0.001160$	0.3568	0.000
8	0.000905	0.7099	-
	$2 \times 0.000905$	1.4197	0.007
	$0.5 \times 0.000905$	0.3549	0.000
10	0.000919	0.7074	-
	$2 \times 0.000919$	1.4148	0.000
	$0.5 \times 0.000919$	0.3537	0.000
12	0.001103	0.7052	-
	$2 \times 0.001103$	1.4104	0.000
	$0.5 \times 0.001103$	0.3526	0.000
14	0.001372	0.7018	-
	$2 \times 0.001372$	1.4037	0.007
	$0.5 \times 0.001372$	0.3509	0.000
16	0.001697	0.7020	-
	$2 \times 0.001697$	1.4041	0.007
	$0.5 \times 0.001697$	0.3510	0.000
20	0.002475	0.7075	-
	$2 \times 0.002475$	1.4049	0.007
	$0.5 \times 0.002475$	0.3537	0.000

## 6. SONUÇLAR

Son zamanlarda ülkemizde ve dünyada elektrik enerji kalitesini ve verimliliğini artırmak için bilim adamları tarafından çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Güç kalitesi problemlerini ve etkilerini azaltmak için uluslararası kuruluşlar (IEC ve IEEE) tarafından çeşitli harmonik ve kırpışma standartları tanımlanmıştır. Bu standartlarda güç kalitesi bozuklukları sınıflandırılmakta ve bu sınıflardan bir tanesinde gerilim kırpışması olarak karşımıza çıkmaktadır.

Genellikle gerilim kırpışması için temel değerlendirme değişkeni olarak  $P_{st}$  kullanılmaktadır.  $P_{st}$  IEC standartlarında güç kalitesinin önemli ve geçerli bir endeksidir.  $P_{st}$ 'nin doğru bir biçimde hesaplanması güç kalitesinin izlenmesinde önemli bir yoldur. Gerilim dalgalanmalarının frekansı ve genliği doğru bir biçimde elde ettikten sonra kırpışma ile ilgili parametreler kolaylıkla hesaplanabilmektedir.

$P_{st}$  değerinin hesaplanması ile ilgili IEC ve IEEE standartlarında önerilen yöntem, giriş gerilim sinyalinin karesinin alındığı “square demodulation” olarak isimlendirilen yöntemdir [6]. Ancak literatürde  $P_{st}$  değerinin nasıl elde edileceği konusunda farklı yöntemler geliştirilmiştir.

Bu tez çalışmasında gerilim kırpışmasının belirlenmesine yönelik bir çalışma yapılmıştır. Bu amaçla HHT'ye dayalı bir algoritma bu çalışmada uygulanmıştır. HHT anlık frekansa dayalı yeni bir sinyal dönüşümüdür. HHT lineer ve durağan olmayan sinyallerin analizinde kullanılmakta ve iyi sonuçlar vermektedir. Kırpışmanın da gerilim seviyesi üzerinde belli bir süre ile “zarf” oluşturduğu bilindiğinden HHT yöntemi ile analizi uygun görülmüştür. Güç kalitesi sorunlarından olan gerilim kırpışmasının genlik ve frekansını belirlemek ve 61000-4-15 kırpışma ölçer standartına uygun olarak  $P_{st}$ 'yi hesaplamak için HHT'ye dayalı etkili bir kırpışma ölçer algoritması geliştirilmiştir. Ayrıca önerilen algoritma ile  $P_{st}$ 'yi hesaplamak için kullanılan yöntemlerin ölçüm performansları karşılaştırılmıştır. Bu çalışmadaki bazı sonuçlar aşağıda verilmektedir:

- ✓ Tek kırpışma frekansı içeren gerilim sinyalinde olsa çoklu kırpışma frekansı içeren gerilim sinyalinde olsa, HHT tabanlı algoritma kullanıldığı zaman

genlik hatası %0.2'den küçük değerler almakta ve  $P_{st}$  hatası %2'den küçük değerler almaktadır. Bu değerlerin  $\pm 5$ 'den küçük olması yöntemin uygulanabilir olduğunu göstermektedir.

- ✓ Tek kırpışma frekansı ile module edilmiş gerilim kırpışması harmonik içerdiği zaman kırpışma sinyali HHT ile doğru bir biçimde elde edilmektedir. Elde edilen sinyalden kırpışma frekansı ve genliği çok küçük hatalarla hesaplanmaktadır.
- ✓ Önerilen algoritmada  $m$  değeri iki katı veya yarısı olduğu zaman bunun sonucunda hesaplanan  $P_{st}$ 'de iki katı veya yarısı olmaktadır. IEC 61000-4-15 standartı homojenlik özelliğine sahip olan kırpışma ölçer cevabı gerektirdiğinden dolayı önerilen kırpışma ölçer algoritmasının homojenlik özelliği bulunmaktadır.
- ✓ Simülasyondan elde edilen verilerde önerilen kırpışma ölçer algoritmasının, diğer yöntemler ile karşılaştırıldığında daha doğru ve kararlı cevap verdiği gözlemlenmektedir.
- ✓ Ayrıca güç kalitesi bozuklukları olarak isimlendirilen gerilim çökmesi, gerilim yükselmesi ve harmonikler HHT kullanılarak tespit edilmektedir.

Sonuç olarak bu çalışmada, HHT'ye dayanan yeni bir kırpışma ölçer algoritması önerilmiştir ve algoritmanın bilgisayar ortamındaki simülasyonlarla geçerliliği ispat edilmiştir. Ayrıca geleneksel kırpışma ölçer yöntemiyle karşılaştırılması yapılarak önerilen kırpışma ölçer algoritmasının geçerliliği kanıtlanmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] Dugan, R.C., McGranaghan, M.F., Santoso, S., Beaty, H.W., *Electrical Power Systems Quality*, MC Graw-Hill Companies, New York, 2003.
- [2] Ağalar, Ş., *Alçak Gerilim Güç Sistemlerinde Enerji Kalitesinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2003,
- [3] IEEE Standards Association, *IEEE Std 519-1992, Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*, 1992.
- [4] Kesler, M., *Birleşik Güç Kalite Düzenleyicisinin Senkron Referans Yapı Tabanlı Uygulama Tasarımı ve Analizi*, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2010.
- [5] IEC Standards Association, *IEC Std 61000-4-15, Flickermeter: Functional and Design Specifications*, 1999.
- [6] IEEE Standards Association, *IEEE Std 1453, Recommended Practice for Measurement and Limits of Voltage Fluctuations and Associated Light Flicker on AC Power Systems*, 2004.
- [7] IEC Standards Association, *IEC Std 1000-3-3, Electromagnetic Compatibility (EMC)-Part 3-3: Limitation of Voltage Fluctuations and Flicker in Low-Voltage Supply Systems for Equipment with Rated Current  $\leq 16 A$* , 1994.
- [8] Kennedy B.W., *Power Quality Primer*, MCGraw-Hill Companies, A.B.D., 2000.
- [9] Atasal M., *Güç Kalitesi ve Fliker*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2000.
- [10] Halpin S.M., Bergeron R.T.M., Burch R.F., Conrad L.E., “Voltage and Lamp Flicker Issues: should the IEEE Adopt the IEC Approach”, *IEEE Trans. Power Deliv.*, **18-3**, 1088-1097, 2003.
- [11] Keppler T., Watson N.R., Arrillaga J., “Computation of the Short-Term Flicker Severity Index”, *IEEE Trans. on Pow. Deliv.*, **15-4**, 1110-1115, 2000.

- [12] IEEE Standards Association, *IEEE Std 141, Recommended Practice for Electric Power Distribution For Industrial Plants*, 1993
- [13] Gallo D., Landi C., Langelle R., Testa A., "Implementation of a Test System for Advanced Calibration and Performance Analysis of Flickermeters", *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, **53-4**, 1078-1085, 2004.
- [14] Piekarz M., Szlosek M., Hanzelka Z., Bien A., Piatek K., "Comparative Tests of Flickermeters", 17th International Conference on Electricity Distributions, Barcelona Spain, No: 1, 220-227, 2003.
- [15] Huoy S.L., Jamuar S.S., Sidek R.M., Marhaban M.H., "Digital Signal Processing Based Waveform Generator for Flicker Calibration Test System", 4th Student Conference on Research and Development (SCoReD 2006), Selangor, 108-111, 2006.
- [16] Srinivasan K., "Digital Measurement of Voltage Flicker", *IEEE Trans. on Power Delivery*, **6-4**, 1593-1598, 1991.
- [17] Toivonen L., Mörsky J., "Digital Multirate Algorithms for Measurement of Voltage, Current, Power and Flicker" ,*IEEE Transactions on Power Delivery*, **10-1**, 116-126, 1995.
- [18] Chen M.T., "Digital Algorithms for Measurement of Voltage Flicker", *IEE Proceeding-Generation Transmission and Distribution*, **144-2**, 175-180, 1997.
- [19] Chen M.T., Meliopoulos S.M., "A Hybrid Digital Algorithm For Harmonic And Flicker Measurements", *IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, Taiwan*,. No:2, 1488-1493, 2002.
- [20] Mombauer W., "Flicker Simulation and Minimization", *Proc. 10th Int. Conf. Electr. Distrib., Brighton-U.K.*, No: 2, 102-106, 1989.
- [21] Chen M.T., Hsiao S.J., Lu C.W., "Enhancement of FFT-Based Algorithm for Voltage Flicker Measurement", *Harmonics and Quality of Power, (ICHQP 2008) 13th International Conference on, Wollongong NSW*, 1-5, 2008.

- [22] Köse N., Solar Ö., “A New Frequency Domain Approach for Light Flicker Evaluation of Power Systems”, Instrumentation and Measurement Technology Conference (12MTC 2009), Singapore, 618-623, 2009.
- [23] Hernandez A. Mayordomo J.G. Asensi R., Beites L.F.,” A New Frequency Domain Approach for Flicker Evaluation of Arc Furnaces”, IEEE Trans. On Power Delivery, **18-2**, 2003.
- [24] Keppler T., Watson N.R., Chen S.,Arrillaga J., “Digital Flickermeter Realisation in The Time and Frequency Domains”,In Proc. of Australasion Power Engineering Conference, Australia, 1-6, 2001.
- [25] Chang G.W., Chen C.I., Huang Y.L., “A Digital Implementation of Flickermeter in the Hybrid Time and Frequency Domains”, IEEE Transactions on Power Delivery, **24-3**,1475-1482, 2009.
- [26] Alencar B.P., Filho J.I.G., Melo R.A., Leao R.P.S., “A Flickermeter Design on LabView Based on IEC 61000-4-15”, Harmonics and Quality of Power 11th International Conference on (ICHQP 2006), 1-6, 2006.
- [27] Caldara S., Nuccio S., Spataro C., “A Virtual Instrument for Voltage of Flicker”, Instrumentation and Measurement Technology Conference (IMTC/98), No:1, 342-345 , 1998.
- [28] Marei M.I., El-Saadany E.F., Salama M.M.A., “Estimation Techniques for Voltage Flicker Envelope Tracking”, Electric Power Systems Research, **70**, 30-37, 2004.
- [29] Girgis, A.A., Stephens J.W., Makram E.B., “Measurement and Prediction of Voltage Flicker Magnitude And Frequency”, IEEE Transactions on Power Delivery , **10**, 1600-1605, 1995.
- [30] Köse N., Solar Ö., Leblebicioğlu K., “A Kalman Filter Based Approach for Light Flicker Evaluation of Power Systems”, IEEE 17th Signal Processing and Communications Applications Conference, No:5, 57-69, 2009.
- [31] Girgis, A.A., E.B. Markam, “Measurement of Voltage Flicker Magnitude and Frequency Using a Kalman Filtering Based Approach”, Elect. and Comput. Eng. IEEE Can. Conf. on, Calgary Canada, No:2, 659-662, 1996.

- [32] Elnady A., Salama M.M.A., “Unified Approach for Mitigating Voltage Sag and Voltage Flicker Using The DSTATCOM”, IEEE Transactions on Power Delivery , **20-2**, 992-999, 2005.
- [33] Abdel-Galil T.K., E.F. El-Saadany, M.M.A. Salama, “Energy Operator for On-Line Tracking of Voltage Flicker Levels”, Power Engineering Society Winter Meeting IEEE, 1153-1157, 2002.
- [34] Jia X., Chen Q., “A Method of Tracking Voltage Flicker Envelope Real-Time”, Power&Energy Society General Meeting, Calgary A.B., 1-6, 2009.
- [35] Shu, H., Wang Y., “Detection of Voltage Flicker Based on Mathematical Morphology Filter and Teager Energy Operator”, Power System Technology International Conference on, Chongqing, 1-6, 2006.
- [36] Xiaopu W., Yonghai X., Xiangning X., “Parameter Estimation of Voltage Flicker Based on Hilbert Transform and Pisarenko Harmonic Decomposition”, Energy and Environment Technology International Conference on, Guilin Guangxi, 189-192, 2009.
- [37] Feilat E. A., “Detection of Voltage Envelope Using Prony Analysis Hilbert Transform Method”, IEEE Transactions on Power Delivery , **21-4**, 2091-2093, 2006.
- [38] Abdel-Galil T. K., E. F. El- Saadany, M. A. Salama, “Online Tracking of Voltage Flicker Utilizing Energy Operator and Hilbert Transform”, IEEE Transactions on Power Delivery, **19-2**, 861-867, 2004.
- [39] Jayasree T., Deveraj D., Sukanesh R., “Power Quality Disturbance Classification Using Hilbert Transform and RBF Network”, Neurocomputing, Elsevier, **73-7-9**, 1451-1456, 2010.
- [40] Chen Q., Jia X., Zhao C., “Analysis on Measuring Performance of Three Flicker Detecting Methods”, Power Energy Society General Meeting, 1-7, 2009.
- [41] Chen M.T., Meliopoulos A.P.S., “Wavelet-Based Algorithm for Voltage Flicker Analysis”, Proc. 9th Int. Conf. Harmonics Quality Power, **2**, 732-738, 2000.

- [42] Tong W., Yuan Shuai, Li Z., Song X., “Detection of Voltage Flicker Based on Hilbert Transform and Wavelet Denoising”, DRPT 2008, Nanjing China, 2286-2289, 2008.
- [43] Huang S.J., Hsieh C.T., “Application of Continuous Wavelet Transform for Study of Voltage Flicker-Generated Signals”, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, **36-3**, 925-932, 2000.
- [44] Zhang R., Xu J.F., “The Application of Wavelet in the Short-Term Flicker Severity Calculation”, Information Science and Engineering International Symposium on, Shanghai, 511-514, 2008.
- [45] Ruiz J., Gutierrez J.J., Lazkano A., Ruiz de Gauna S., “A Review of Flicker Severity Assessment by the IEC Flickermeter”, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, **59-8**, 2037-2047, 2010.
- [46] Huang N.E., Shen Z., Long S.R., Wu M.C., Shih H.H., Zheng Q., Yen N.-C., Tung C.C., Liu H.H., *The Empirical Mode Decomposition and The Hilbert Spectrum for Nonlinear and non-stationary time series analysis*, Proc R. Soc. Lond A., Great Britain, 1998.
- [47] Bollen, M.H.J., Gu, I.Y.-H., *Signal Processing of Power Quality Disturbances*, IEEE Press Series on Power Engineering, A.B.D., 2006.
- [48] Hemetsberger F. A., *An Investigation of Power Quality Problems In A Remote Mine Site*, M.S. Thesis, The University of Queensland, 2003.
- [49] Fuchs, E.F., Masoum M.A.S., *Power Quality in Electrical Machines and Power Systems*, Academic Press, 2008.
- [50] Alexander, K, Thompson, M.T., “*Power Quality in Electrical Systems*”, McGraw-Hill Companies, A.B.D., 2007.
- [51] Uyar M., *Güç Kalitesindeki Bozulma Türlerinin Akıllı Örüntü Tanıma Yaklaşımları İle Betimlenmesi*, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2008.
- [52] Kesler, M., *Paralel Aktif Güç Filtresinin Tasarımı ve VisSim Yazılımı İle DSP Üzerinden Denetimi*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2005.
- [53] Acha E., Madrigal M., *Power System Harmonics Computer Modeling and Analysis*, John Wiley&Sons Ltd, England, 2001.



- [54] Grady W.M., Santoso S., “Understanding power system harmonics”, IEEE Power Engineering Review, **21-11**, 8-11, 2001.
- [55] Bollen M.H.J., “*Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions*”, IEEE Press Series on Power Engineering, New York, 2000.
- [56] Gunther E. W., “Interharmonics in Power Systems”, Power Engineering Society Summer Meeting, No:2, 813-817, 2001.
- [57] Copper Development Association, *Power Quality Application Guide- Voltage Disturbances Flicker*, Leonardo Power Quality Initiative, No: 5.1.4, 1-13, 2006.
- [58] Power Quality Working Group WG2, *Guide to Quality of Electrical Supply for Industrial Installations Part 5, Flicker and Voltage Fluctuations*, 2000.
- [59] IEC Standards Association, *IEC Std 1000-3-5, Limitation of Voltage Fluctuations and Flicker in Low-Voltage Supply Systems for Equipment With Rated Current >16 A*, 1994.
- [60] IEC Standards Association, *IEC Std 1000-3-7, Limitation of Voltage Fluctuation and Flicker for Equipments Connected to Medium and High Voltage Power Supply Systems*, 1996.
- [61] TSE Standart, *TS EN 61000 3 3, Elektromanyetik uyumluluk Compatibility (EMC)-Part 3-3: Limitation of Voltage Fluctuations and Flicker in Low-Voltage Supply Systems for Equipment with Rated Current  $\leq 16 A$* , 2005.
- [62] IEC Standards Association, *IEC Std 868, Flickermeter: Functional and Design Specifications*, 1991.
- [63] Peixoto G.R., Oliveira C.J., Oliveira F.A., “A Proposal for Voltage Flicker Measurement in Electrical Power Systems”, Circuits and Systems, Proceedings of the 38th Midwest Symposium on, 1309-1312, 1995.
- [64] Wang C.-S., Devaney M. J., Yang S.W, “Decomposition of the IEC Flickermeter Weighting Curves”, Instrumentation and Measurement Technology Conference (IMTC 04), No:2, 1378-1382, 2004.
- [65] Wei K., Li H.M., Yan X.W., Zhang L.X., Sun F.Z., “A Modified Demodulation Method For Flicker Measurement”, Power Electronic,

- Electrical Derives, Automation and Motion International Symposium, Taormina, 765-768, 2006.
- [66] Gunther E.W., “North American Experiences with the IEC Flickermeter”, PQA 2004, Enernex, 1-11, 2004.
- [67] TSE Standart, *TS EN 61000-4-15, Elektromanyetik uyumluluk kısıpırma ölçer fonksiyon ve tasarım özellikleri*, 2004.
- [68] Cho S.-H., Jang G., Kwon S.-H., S.-K. Joo, “Measurement and Testing Specifications of Voltage Flicker in 220V/60 Hz Power Systems”, IET Sci. Meas. Technol., **3-2**, 113-122, 2009.
- [69] Medeiros C.A.G., Belchior F.N., de Oliveira J.C., “A Proposal for UIE/IEC Flicker Measurement Using Digital Filters: Equipment Prototype and Validation”, Harmonics and Quality of Power 11th International Conference on, 549-554, 2004.
- [70] Copper Development Association, *Power Quality Application Guide-Voltage Disturbances Flicker*, Leonardo Power Quality Initiative, No: 5.2.3, 1-12, 2005.
- [71] Hsu Y.J., Lu C.N., “A Comparison of  $\Delta V_{10}$  and Pst at Industrial Sites with Wind Turbine and Arc Furnace”, IEEE Region on Conference Tencon , Hong Kong, 2006.
- [72] Gallo D., Landi C., Pasquino N., “Design and Calibration of an Objective Flickermeter”, IEEE Trans. Instrum. Meas., Braunschweig Germany, **55-6**, 2118-2125, 2006.
- [73] N.E Huang, Shen S.S.P., “*Hilbert-Huang Transform and Its Application*”, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore, 2005.
- [74] Baykut S., Akgül T., Ergintav S., “EMD Based Analysis And Denoising of GPS Data”, IEEE 17th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU 2009), Antalya, 644-647, 2009.
- [75] Yang C., Dong S., Tong Z., Wan Y., “Analysis and research of the transient composite disturbance signal of power system based on HHT”, International Symposium on Intellegent Information Technology Application Workshops, Shanghai, 1029-1032, 2008.

- [76] Shukla S., Mishra S., Singh B., “Empirical Mode Decomposition with Hilbert Transform for Power Quality Assessment”, IEEE Transactions on Power Delivery, **24-4**, 2159-2165, 2009.
- [77] Yu J., Yang L., “Analysis of Harmonic and Inter-Harmonic Based on Hilbert Huang Transform”, Computational Intelligence and Software Engineering, International Conference on (CISE 2009), Wuhan, 1-4, 2009.
- [78] Liu W., Huang C., Xing Y., Wu Y., “Application of Empirical Mode Decomposition and Hilbert Spectrum Analysis on Detection of Voltage Flicker”, Computer Measurement & Control, **6**, 707-756, 2006.
- [79] Yong H., Yongqiang L., Zhiping H., “Detection and Location of Power Quality Disturbances based on Mathematical Morphology and Hilbert Huang Transform”, Electronic Measurement&Instruments (ICEMI'09) 9th International Conference on, Beijing, 2-319-2-324, 2009.
- [80] Rilling G., Flandrin P., Gonvalves P., “On Empirical Mode Decomposition And Its Algorithms”, EEE-EURASIP Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing NSIP-03, Grado, No:3, 8-11, 2003.
- [81] Rosero J., Garcia A., Cusido J., Romeral L., Ortega J.A., “Fault Detection by Means of Hilbert Huang Transform of the Stator Current in a PMSM with Demagnetization”, Intelligent Signal Processing WISP 2007 IEEE International Symposium on, Alcala de Henares, 1-6, 2007.
- [82] Kopecky M., “Hilbert-Huang Transformation and Its Application in Optical Flow Evaluation”, STC, 2009.
- [83] Kizhner S., Flatley T.P., Huang N.E., Blank K., Conwell E., “On the Hilbert-Huang Transform Data Processing System Development”, IEEE Aerospace Conference 2004. Proceedings., 2004.
- [84] Zhang S., Wang Q., Liu R., “Power System Harmonic Analysis Based on Improved Hilbert-Huang Transform”, Electronic Measurement & Instruments (ICEMI 2009) 9th International Conference on, Beijing, 4-343-4-347, 2009.
- [85] Cheng F., Tang B., He Q., “Research on Instantaneous Feature of Non-Stationary Signal Based on Hilbert Huang Transform and Wavelet Packet

- Decomposition”, Signal Processing, 8th International Conference on, Beijing, No:1, 16-20, 2006.
- [86] Kang W., Li H.-M., Yan X.-W., Zhang L.-X., Sun F.Z., “A Modified Demodulation Method For Flicker Measurement”, Power Electronic, Electrical Derives, Automation and Motion International Symposium on, Taormina, 765-768, 2006.
- [87] Li H., Deng X., Dai H., “Structural Damage Detection Using the Combination Method of EMD and Wavelet Analysis”, Mechanical Systems and Signal Processing, **21-1**, 298-306, 2007.
- [88] Zhang L., Han X., Jia J., Gao T., Ma Y., “Power Systems Fault Location with Traveling Wave based on Hilbert Huang Transform”, International Conference on Energy and Environment Technology, Guilin Guangxi, 197-200, 2009.
- [89] Sikorski T., Ruczewski P., “On Hilbert Transform and Its Application to Assessment of Electrical Signal Waveform Distortion”, International Conference on Environment and Electrical Engineering, 1-4, 2010.
- [90] Chen H., Sun Y., Cheng Y., “Harmonic and Interharmonic Detection of Grid Connected Distributed Generation based on Modified Mathematical Morphology Filter and Hilbert Huang Transformation”, Power Electronics and Motion Control Conference IEEE 6th International, Wuhan, 1155-1160, 2009.
- [91] Önal Y., Ece D.G., Gerek Ö.N., “Analysis Of Voltage Flicker Using Hilbert-Huang Transform”, Signal Processing and Communications Applications 19th IEEE Conference on SIU, Antalya, 226-229, 2011.
- [92] Önal Y., Ece D.G., Gerek Ö.N., “Gerilim Kırpışmasının Belirlenmesinde Hilbert Huang Dönüşümü ve Kare Demodülasyonu Metotlarının Karşılaştırılması”, 6th International Advanced Technologies Symposium Elazığ, 2011.
- [93] Önal Y., Gerek Ö.N., Ece D.G., “Short-Term Flicker Severity Index Calculation Using Hilbert-Huang Transform”, Signal Processing and Communications Applications 19th IEEE Conference on SIU, Antalya, 230-233, 2011.