

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GERİLİM ÇENTİĞİ TESPİTİ İÇİN YENİ BİR ALGORİTMA TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Koray ERHAN

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GERİLİM ÇENTİĞİ TESPİTİ İÇİN YENİ BİR ALGORİTMA TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Koray ERHAN
(504101025)**

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ömer USTA

HAZİRAN 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün **504101025** numaralı Yüksek LisansÖğrencisi **Koray ERHAN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**GERİLİM ÇENTİĞİ TESPİTİ İÇİN YENİ BİR ALGORİTMA TASARIMI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Ömer USTA**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Yrd. Doç. Dr. V. M. İstemihan GENÇ**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet UZUNOĞLU

Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **03 Mayıs 2013**

Savunma Tarihi : **07 Haziran 2013**

Aileme ve sevdiklerime,

ÖNSÖZ

Tüm eğitim hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen, bugünlere gelmemi sağlayan aileme ve çalışmam boyunca sabırla beni motive edip, bana moral veren sevdiklerime teşekkür ederim.

Bu çalışmada bana yol gösteren, değerli görüşleriyle ufkumu açan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ömer USTA'ya teşekkür ederim. Ayrıca çalışmam boyunca karşılaştığım sorunları aşmamda yardımlarını esirgemeyen, mesai arkadaşım Arş. Gör. Kahraman Yumak'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca beni maddi olarak destekleyen TÜBİTAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2013

Koray ERHAN
Elektrik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	viix
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı.....	1
1.2 Literatür Araştırması	3
2. GÜÇ KALİTESİ TANIMI VE GÜÇ KALİTESİNİ BOZAN OLAYLAR.....	7
2.1 Güç Kalitesi Olayları.....	7
2.1.1 Geçici olaylar	7
2.1.2 Kısa süreli gerilim değişimleri	8
2.1.3 Uzun süreli gerilim değişimleri.....	8
2.1.4 Dengesizlikler	8
2.1.5 Dalga şekli bozuklukları	8
2.1.6 Gerilim dalgalanmaları.....	10
2.1.7 Frekans değişimleri	10
3. GERİLİM ÇENTİĞİ TESPİTİ ALGORİTMASI TASARIMI.....	11
3.1 Gerilim Çentik Tanımı	12
3.2 Algoritmanın Akış Diyagramı.....	14
3.3 Algoritmanın İşlem Basamaklarının Açıklanması	15
4. SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI VE PERFORMANS ANALİZİ	19
4.1 Üç Fazlı Tam Dalga Kontrolsüz Doğrultucu Modellenmesi	19
4.2 Algoritmanın Çentikli Gerilim Dalgası İle Test Edilmesi	22
4.3 Karşılaştırmalı Performans Analizi.....	26
4.4 Çentik Benzeri Harmonikli Sinüs İle Algoritmanın Performans Analizi	31
4.4.1 Karşılaştırmalı performans analizi	33
4.5 Transiyent İçeren Gerilim Dalgasına Algoritmanın Cevabı	36
4.6 Gerilim Çökmesi İçeren Gerilim Dalgasına Algoritmanın Cevabı.....	40
4.7 Gerilim Yükselmesi İçeren Gerilim Dalgasına Algoritmanın Cevabı	42
5. SONUÇLAR.....	45
KAYNAKLAR	47
ÖZGEÇMİŞ.....	49

KISALTMALAR

TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
RMS	: Root Mean Square (kare kök)
THD	: Total Harmonic Distortion (toplam harmonik bozulma)
IEEE	: Institute of Electrical and Electronical Engineers
Std	: Standart
AA	: Alternatif Akım
DA	: Doğru Akım

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1: Güç sistemlerinde meydana gelen olayların kategorizasyonu ve karakterizasyonu [2].	9
Çizelge 3.1: Farklı sistemler için sınır değerler.	14
Çizelge 4.1: Çentik derinliği (d) ve çentik anındaki şebeke geriliminin ani değeri (v).	25
Çizelge 4.2: Çentik derinliği ve çentik alanı ile THD değerleri.	25
Çizelge 4.3: Standarttaki kriterlerin harmonik bileşenli bir dalgaya uygulanması sonucu elde edilen değerler.	29
Çizelge 4.4: Standarttaki kriterlerin harmonik bileşenlere uygulanması sonucu elde edilen değerler.	35

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1: Komütasyon olayı [1].	11
Şekil 3.2: Çentikli sinüs dalgası.	12
Şekil 3.3: Çentik derinliği ve alanı tanımı [1].	12
Şekil 3.4: Geliştirilen algoritmanın akış diyagramı.	17
Şekil 4.1: Simülasyonlar için oluşturulan 3 fazlı kontrolsüz doğrultucu devresi.	19
Şekil 4.2: Çentikli gerilim dalgası ($L=0,001$ H).	20
Şekil 4.3: Çentikli gerilim dalgası ($L=0,002$ H).	20
Şekil 4.4: Çentik işareti ($L=0,001$).	21
Şekil 4.5: Çentik işareti ($L=0,002$).	21
Şekil 4.6: Çentik işaretinin türevi.	23
Şekil 4.7: Küçük genlikli bileşenleri filtrelenmiş çentik işareti.	24
Şekil 4.8: Negatif yarı periyodu pozitif yarı periyoda çevrilmiş çentik işareti.	24
Şekil 4.9: Çentikli sinüs dalgasına algoritmanın cevabı.	26
Şekil 4.10: Harmonikli gerilim dalgası.	27
Şekil 4.11: Gerilim işaretinin harmonik bileşenleri.	28
Şekil 4.12: Küçük genlikli bileşenleri filtrelenmiş harmonik dalgası.	28
Şekil 4.13: Negatif genlikli kısımları pozitifte çevrilmiş harmonik dalgası.	29
Şekil 4.14: Harmonik işaretin türevi.	30
Şekil 4.15: Harmonikli gerilim dalgası.	31
Şekil 4.16: Gerilim harmoniklerinin oluşturduğu işaret.	32
Şekil 4.17: Harmonikli işaretin türevi.	33
Şekil 4.18: Küçük genlikli bileşenleri filtrelenmiş harmonik işareti.	34
Şekil 4.19: Negatif genlikli kısımları pozitifte çevrilmiş harmonik dalgası.	35
Şekil 4.20: Sinüs dalgasının bir periyodu için analiz programı ekran görüntüsü.	36
Şekil 4.21: Darbe etkisi barındıran gerilim dalgası.	37
Şekil 4.22: Darbe işareti.	38
Şekil 4.23: Darbe işaretinin türevi.	38
Şekil 4.24: Filtrelenmiş darbe işareti.	39
Şekil 4.25: Mutlak değeri alınmış darbe işareti.	40
Şekil 4.26: Gerilim çökmesi.	41
Şekil 4.27: Gerilim çökmesine neden olan işaret.	41
Şekil 4.28: Türevi alınmış gerilim çökme işareti.	42
Şekil 4.29: Gerilim yükselmesi bulunan sinüs dalgası.	43
Şekil 4.30: Bozucu dalga şekli.	44
Şekil 4.31: Türevi alınmış dalga şekli.	44

GERİLİM ÇENTİĞİ TESPİTİ İÇİN YENİ BİR ALGORİTMA TASARIMI

ÖZET

Günümüzde enerji ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Artan ihtiyaçla birlikte enerjinin üretilmesi ve tüketilmesi konuları da önem kazanmaktadır. Teknolojinin ilerlemesiyle, geçmişte çok fazla dikkat edilmeyen ve ihmal edilebilecek boyutlarda olan bazı olaylar, bugün dikkat edilmesi ve önlem alınması gereken durumlar haline almıştır. Bu durumlar neticesinde, zaman içerisinde bir takım yeni kavramlar ortaya çıkmıştır. Bu kavramlardan biri de “Güç Kalitesi”dir.

Güç kalitesi kavramı enerjinin üretim evresinden başlayarak iletimi, dağıtımı ve son kullanıcı tarafından tüketilmesine kadar geniş bir yelpazede ele alınmaktadır. Enerjinin yol aldığı her bir aşama için dünya genelinde güç kalitesini düzenleyen bazı standartlar ortaya konulmuştur. Bu standartlar enerji üretimi ve tüketimi arasında kalite bakımından bir denge kurmak üzere hazırlanmışlardır.

Bu tezde güç kalitesini olumsuz yönde etkileyen olaylardan biri olan “Gerilim Çentigi” etkisini tespit etmek için bir algoritma tasarlanmıştır. Birinci bölümde tezin amacına ve neden gerilim çentigi algılama algoritması geliştirilmek istendiğine yer verilmiştir. Gerilim çentiginin sebep olduğu olaylardan bahsedildikten sonra literatür araştırması yapılmıştır. Literatürde gerilim çentigi tespiti yapılmak üzere hangi yöntemlerin kullanıldığı ve bu yöntemlerin pozitif ve negatif yönlerinden bahsedilmiştir. Ayrıca literatürdeki çalışmaların eksik yönlerine atıfta bulunularak çalışma sonunda bu eksikler kapatılmıştır.

İkinci bölümde öncelikle güç kalitesi kavramı açıklanmıştır. Ardından IEEE Std 1159-2009 ve IEEE Std 519-1992 standartları temel alınarak güç kalitesini bozan olaylar sırasıyla açıklanmıştır. Geçici olaylar, kısa süreli gerilim değişimleri, uzun süreli gerilim değişimleri, dengesizlikler, dalga şekli bozuklukları, gerilim dalgalanmaları ve frekans değişimleri tek tek ele alınmıştır.

Üçüncü bölümde standartlar çerçevesinde gerilim çentigi tanımına yer verilmiştir. Bununla birlikte gerilim çentigi tespitinde kullanılacak olan kriterler irdelenerek bu kriterler hakkında açıklamalarda bulunulmuştur. Aynı zamanda kabul edilebilir sınır değerler tablo halinde verilmiştir. Daha sonra gerilim çentigi tespiti için tasarlanan algoritmanın akış diyagramı çizilmiştir. Akış diyagramında numaralandırılan işlem basamakları teker teker açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde geliştirilen algoritmanın performans analizine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Öncelikle standartta gerilim çentiginin oluşmasına sebep olarak gösterilen üç fazlı kontrolsüz bir doğrultucu modeli oluşturulmuştur. Ardından bu modelden elde edilen gerilim dalgası algoritmayı test etmek için kullanılmıştır. Test işleminin ardından elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Bir sonraki test işleminde karşılaştırmalı performans analizi yapılmıştır. İlk olarak standartta belirtilen kriterlerden yola çıkılıp bir algoritma oluşturularak, performans analizi harmonikli bir dalga ile gerçekleştirilmiştir. Sonucunda standarttaki kriterlerin yeterli seçiciliğe sahip olmadığı tespit edilmiştir. Ardından standarttaki kriterlere ek olarak yeni bir

kriter ortaya konulup işlem basamakları algoritmaya eklenmiştir. Daha sonra aynı harmonikli dalga kullanılarak performans analizi işlemi tekrar edilmiştir. Sonucunda çentik etkili dalga ile harmonikli dalga birbirinden başarı ile ayırt edilebilmiştir. Bir sonraki kısımda grafiksel olarak çentik etkisine çok benzeyen bir dalga ile algoritma performansı karşılaştırmalı olarak test edilmiştir. Test işleminin sonucunda çentik etkisine benzer özellikler gösteren harmonikli dalga çentik etkisinden başarılı bir şekilde ayırt edilmiştir.

Bir sonraki performans analizinde darbeışareti kullanılarak algoritma test işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu test işlemi sonucunda da hedeflenen sonuç elde edilmiştir. Ardından algoritma şebekenin sinüzoidal formunu bozmayangerilim düşmesi (voltage sag) olayı ile test edilmiştir. Sonuç olarak algoritma bu testten de başarılı bir şekilde geçmiştir. Bir sonraki performans analizi güç kalitesini bozucu etkilerden biri olan gerilim şişmesi (voltage swell) olayı ile gerçekleştirilmiştir. Algoritma bu performans analizinden de başarılı bir şekilde geçerek ele alınan bütün bozucu etkileri çentik etkisinden ayırt etmede olumlu sonuçlar vermiştir.

DESIGN OF A NEW ALGORITHM TO DETECT VOLTAGE NOTCHING

SUMMARY

At the present time, the need of electrical energy has been increasing. With this rising need, the subjects of being produced and being consumed of energy has gained importance. By development of technology; some events like transients, RMS variations, unbalance conditions, waveform distortions, voltage fluctuations and power frequency variations that were unimportantly observed and could be accepted as neglected events in the past have today become the situations to be considered and taken precautions on. As a result of those cases mentioned above, in time, some new concepts have come out and one of these concepts is called “Power Quality”.

The concept of power quality has been handled within the large spectrum of starting from the production stage of electricity to its transmission, distribution and also being consumed by last user. For each process of progressing energy, some worldwide standards which regulate the power quality have been presented. Those standards have been prepared to harden between the producing and consuming electrical energy in terms of power quality.

In this thesis, an algorithm has been proposed in order to detect the “Voltage Notch” which is one of the events that affects power quality. In the first section of the thesis included objectives of the thesis, a literature review is carried out for power quality and voltage notch detection. The literature survey covers present techniques used to detect voltage notch. The advantages and disadvantages of the present techniques in detecting voltage notch are also discussed.

Notching is a periodic voltage disturbance caused by the normal operation of power electronics devices when current is commutated from one phase to another. During this period, there is a momentary short circuit between two phases. Voltage notching represents a special case that is periodic, yet has frequency content that is quite high. Thus it has attributes that could be considered both transients and harmonic distortion. Since notching occurs continuously (steady-state), it can be characterized through the harmonic spectrum of the affected voltage. However, the frequency components associated with notching can be quite high and may not be readily characterized with measurement equipment normally used for harmonic analysis. Three-phase converters are the most important case of voltage notching.

In the second section, primarily the concept of “Power Quality” was explained. Then, the events distorting Power Quality and included in IEEE Std 1159-2009 and IEEE Std 519-1999 standards were discussed in detail. These events are; transients, short-duration RMS variations, long-duration RMS variations, imbalanced, waveform distortions, voltage fluctuations and power frequency variations.

Transient simply states that it is the “part of the change in a variable that disappears during transition from one steady-state operating condition to another. Broadly speaking, transients can be classified into two categories, impulsive and oscillatory. These terms reflect the wave-shape of a current or voltage transient. An impulsive

transient is a sudden, non-power frequency change from the nominal condition of voltage, current, or both, that is unidirectional in polarity. An oscillatory transient is a sudden, non-power frequency change in the steady-state condition of voltage, current, or both, that includes both positive and negative polarity values.

Short-duration RMS variations category encompasses the IEC category of voltage dips and short interruptions as well as the antithesis of dip: the swell. Short-duration voltage variations are almost always caused by fault conditions, the energization of large loads which require high starting currents, or intermittent loose connections in power wiring.

Long-duration variations encompass rms deviations at power frequencies for longer than 1 min. Long-duration variations can be either overvoltages or undervoltages, depending on the cause of the variation. Overvoltages and undervoltages generally are not the result of system faults. They are caused by load variations on the system and system switching operations.

Imbalance (sometimes called unbalance) in a three-phase system is defined as the ratio of the magnitude of the negative sequence component to the magnitude of the positive sequence component, expressed as a percentage. This definition can be applied for either voltage or current. Typically, the voltage imbalance of a three-phase service is less than 3%. The current imbalance can be considerably higher, especially when single-phase loads are present.

Voltage fluctuations are systematic variations of the voltage envelope or a series of random voltage changes. Such voltage fluctuations can be perceived by humans by changes in lamp illumination intensity. To measure these voltage fluctuations, the functional and design specifications of flickermeter are given in IEC 61000-4-15.

Power frequency variations are the deviation of the power system fundamental frequency from its specified nominal value (e.g., 50 Hz, 60 Hz). The steady-state power system frequency is directly related to the rotational speed of the generators on the system. At any instant, the frequency depends on the balance between the load and the capacity of the available generation. When this dynamic balance changes, small changes in frequency occur.

Waveform distortion is defined as a steady-state deviation from an ideal power frequency sinusoid principally characterized by the spectral content of the deviation. There are five primary types of waveform distortion: DC offset, harmonics, interharmonics, notching and noise.

In the third section, the definition of “Voltage Notch” took place firstly as in the related standards. Secondly the weakness of the notch detection algorithm included in the standard is discussed. The present algorithm consists of three criteria as follows.

Criteria 1: The average depth of the line voltage notch from the sine wave of voltage.

Criteria 2: The area of the line voltage notch. It is the product of the notch depth, in volts, times the width of the notch measured in microseconds.

Criteria 3: The ratio of the root-mean-square of the harmonic content to the root-mean-square value of the fundamental quantity, expressed as a percent of the fundamental.

The weakness in the present algorithm stated in the standard was about the discrimination between detection of the harmonic related events and voltage notches.

A new criterion was added to present algorithm to overcome the weakness. The new criterion use the derivative of the voltage signal, calculates the RMS value of the derivative and compare the obtained with a pre-defined value. This pre-defined value was obtained using several experimental tests. The new criterion provides an ability to distinguish between voltage notch and harmonic related events. Thus the proposed algorithm consists of four different criteria as stated follows, while the standard has a technique with three criteria.

Criteria 0: The derivative of the distorting signal which is obtained by superposition principle will be calculated. Then RMS of this signal will be calculated and normalized by the mains voltage. Lastly, the result will be compared with the setting value of 1.5 which is obtained by previous experiences. With this comparison, application of the rest of the criteria will be determined.

Criteria 1: The average depth of the line voltage notch from the sine wave of voltage.

Criteria 2: The area of the line voltage notch. It is the product of the notch depth, in volts, times the width of the notch measured in microseconds.

Criteria 3: The ratio of the root-mean-square of the harmonic content to the root-mean-square value of the fundamental quantity, expressed as a percent of the fundamental.

Finally, the flow chart of the proposed algorithm was also given step by step in section 3.

In the fourth section, the computer simulation studies required to analyze the performance of the new algorithm in detecting voltage notch and distinguishing between voltage notch and other power quality events. For this purposes a three phase uncontrolled rectifier model was developed using Matlab-Simulink to produce voltage waveform corrupted with voltage notches. Then these types of waveforms were used to test the performance of the new algorithm. Computer simulation studies have shown that the new method detects the voltage notch correctly as stated in the related standards.

Computer simulation studies were also extended to include the comparative performance analysis of the developed algorithm with the algorithm defined in the related standard. A voltage distortion similar to the voltage waveform distorted by a notch was produced using Matlab. This distortion was produced using different harmonic waveforms rather than using a switching event. The new algorithm did not detect this switching event as a voltage notch as it is expected. However the method in the standard detects this event as a voltage notch.

The new algorithm performance was also tested using different voltage signals as corrupted by transient, sag and swell. As it is expected the new algorithm did not detect these events as a voltage notch.

1. GİRİŞ

Elektrik enerjisi üretilip son kullanıcıya ulaşana kadar birçok aşamadan geçmektedir. Bu aşamalarda temel olarak hedeflenen durum, üretilen enerjinin en az kayıpla ve kaliteli bir şekilde, yani sinüzoidal formu bozulmadan son kullanıcıya ulaştırılmasıdır. Bu noktada “Güç Kalitesi” kavramı ortaya çıkmaktadır. Teknolojik gelişmelere paralel olarak, istenilen bu durumların sağlanması kolaylaşmış gözükmemektedir. Ancak yine teknolojik gelişmelerin getirdiği, güç kalitesini olumsuz yönde etkileyen bazı durumlardan da söz edilebilir. Günümüzde yarı iletken teknolojisinin gelişmesiyle birlikte elektrikle çalışan alıcıların büyük çoğunluğunda bu elemanlar görülebilmektedir. Bu durum güç kalitesini olumsuz etkileyen elemanların sayısının azımsanamayacak kadar çok olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte şebeke gerilimini bozan ve şebeke güvenilirliğini tehdit eden farklı durumlar da tespit edilmiştir. Bütün bu etkiler göz önüne alınarak bazı standartlar oluşturulmuş ve güç kalitesini bozan durumlar bu standartlarda ele alınmıştır [1,2].

Güç kalitesini bozan olayları şu şekilde sıralamak mümkündür: geçici olaylar, kısa süreli ve uzun süreli rms değişimleri, gerilim dengesizlikleri, sinüzoidal formdaki bozulmalar, gerilim dalgalanmaları ve frekans değişimleri. Geçici olayları darbe (impuls) ve osilasyon yapan olaylar, kısa süreli rms değişimlerini birkaç periyotluk kesintiler, gerilim çökmeleri ve yükselmeleri (sag, swell), uzun süreli rms değişimlerini uzun süreli gerilim yükselmeleri ve çökmeleri (under, over voltage), sinüzoidal formdaki bozulmaları DC offset, harmonikler, kırışma (flicker), çentik (notch) ve gürültü olarak sayabiliriz [1,2].

1.1 Tezin Amacı

Bir önceki başlıkta sayılan, güç kalitesini bozucu etkilerden çentik etkisi;

- Şebeke geriliminin bozulması,
- Şebekeye bağlı cihazların ısınması, gürültülü çalışması, ömrünün kısalması,
- Endüksiyon tipi sayaçlarda yanlış ölçmeler,

- Uzaktan kumanda, yük kontrolü vb. yerlerde çalışma bozuklukları,
- Koruma ve kontrol düzenlerinde sinyal hataları,
- Sesli, görüntülü iletişim araçlarında ve mikroişlemcilerde parazit ve anormal çalışmagibi olaylarasebebiyet vermektedir.

Çentik olayının şebeke geriliminin sinüzoidal formunu bozmasından dolayı ve frekans bileşenleri bakımından incelendiğinde çok geniş bir frekans bandına yayılmış olmasından ötürü, şebeke üzerinden yapılan eş zamanlı iletimlere olumsuz etki etmektedir. Özellikle günümüzde hali hazırda çalışır durumda olan elektrik şebekesi üzerinden aynı zamanda veri iletimine ve haberleşmeye yönelik yapılan çalışmalar göz önüne alındığında, çentik etkisini tespit edebilmenin önemi daha da artmıştır. Çentik etkisinin çok yüksek frekanslarda dahi kendini göstermesi, yüksek frekanslar kullanarak şebeke hattı üzerinden yapılan veri iletiminin parazitli bir hale gelmesine veya bütünüyle bozulmasına neden olmaktadır.

Bu çalışmada standartlardan yola çıkılarak çentik etkisi incelenmiştir [1,2]. Ardından standartlardaki sınır değerler ve kriterler dikkate alınarak çentik etkisini algılayan bir algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritma ile çentik algılamada başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Ancak algoritmanın diğer bozucu etkilere karşı verdiği cevaplar analiz edildiğinde, harmonik bileşenler içeren bazı dalgaları çentik etkisi ile karıştırdığı tespit edilmiştir. Bu hatalı tespitleri ortadan kaldırmak üzere tekrar standarttaki kriterler incelenmiş ve bu kriterler ile oluşturulacak algoritmanın yeterli seçiciliğe sahip olamadığı kanısına varılmıştır. Ardından standarttaki kriterlere ilave olarak yeni bir kriter ortaya konmuş ve bu çerçevede yeni bir algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen bu algoritma çentik etkisini algılamakta başarılı olmuştur. Bununla birlikte algoritma, harmonikli dalga formlarıyla test edilmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Aynı zamanda, içerisinde farklı bozulma türleri bulunan dalga formlarıyla da test işlemleri gerçekleştirilmiş ve yine başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Son olarak ise elde edilen sonuçlar incelenerek oluşturulan algoritmanın başarı değerlendirmesi yapılmıştır.

Geliştirilen algoritmadan istenilen performansın elde edilmesi, yüksek güç kalitesi ihtiyacı olan cihazların korunmasına ve bu cihazları barındıran sistemlerin doğru çalışmasına yardımcı olacaktır. Bu sayede hem maddi kayıpların önüne geçilebilecek hem de sürekliliğin esas olduğu sistemlerin devre dışı kalması önlenebilecektir.

1.2 LiteratürAraştırması

Literatürde çentik etkisini inceleyen çok sayıda çalışma bulunmaktadır[3-10]. İncelenen ilk çalışmada standartlarda yer alan ve güç kalitesini bozan olaylar sırasıyla incelenmiştir. İncelemede diğer tüm bozucu etkilerin aksine çentik etkisini bertaraf etmenin herhangi bir yolunun olmadığına yer verilmiştir [3]. Bir sonraki çalışmada simülasyon olarakçentikli bir dalga oluşturulup daha sonra “b-spline wavelet transform” kullanılarak çentikli dalga analiz edilmiştir. Bu işlemin ardından çentiğim olduğu noktaların başlangıç ve bitiş noktaları tespit edilerek çentik derinliği ve çentik alanı hesaplanmıştır. Ancak standarttaki hangi sistem tipinin seçildiğine yer verilmemiş ve sınır değerlere göre herhangi bir karşılaştırma yapılmamıştır [4]. Başka bir çalışmada,yine dalgacık dönüşümü yöntemi kullanarak simülasyon ortamında oluşturulan çentikli dalganın analizi yapılmıştır. Öncelikle örnekleme frekansı 10 kHz olan 6 periyotluk bir dalga oluşturulmuştur. Ardından bu dalga dalgacık dönüşümü yöntemi ile 6 seviyeli bir ayrıştırmaya tabi tutularak işlemler burada sonlandırılmıştır. Standartta belirtilen sistem tiplerinden hangisinin seçildiğine, çentik tespiti için gerekli olan alan, çentik derinliği ve THD hesaplamalarına yer verilmemiştir [5].Bir diğer çalışmada, şebekeden alınan bir periyotluk çentikli gerilim dalgasının çentik derinliği ve alan hesaplanmıştır. Aynı zamanda bu gerilim dalgası çeşitli dalgacık dönüşüm fonksiyonları ile analizlere tabi tutularak çentik derinlikleri ve çentik alanları hesaplanmıştır. Nihai olarak bulunan sonuçlar karşılaştırılarak çeşitli dalgacık dönüşüm fonksiyonlarının hata payları hesaplanmıştır [6]. Diğer bir çalışmada,simülasyon ortamında oluşturulan ve farklı örnekleme frekanslarına sahip dalga şekilleri, dalgacık dönüşümü yöntemi kullanılarak belirli frekans bileşenlerine ayrılmıştır. Ardından bu alt bileşenlerin enerjileri hesaplanarak örnekleme frekanslarının çentik tespiti hassasiyeti üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ancak standartlardaki alan, derinlik hesapları ve sistem seçimi yapılmamıştır [7].Bir sonraki çalışmada, veri toplama kartı vasıtası ile elde edilen çentikli gerilim dalgası bilgisayar ortamına aktarılarak, dalgacık dönüşümü yöntemi ile analiz edilmiştir. Alt frekans bileşenlerine ayrılarak çentikli işaret elde edilmiş ve çalışma burada sonlandırılmıştır [8]. Başka bir çalışmada, güç sistemlerindeki dalga şekli bozuklukları incelenmiştir. Çentik etkisinin incelenmesinde simülasyon yardımı ile elde edilen bir dalga kullanılmıştır. Oluşturulan bu dalga şekli dalgacık dönüşümü yöntemi ile iki seviyeli bir ayrıştırmaya tabi tutulmuş ve sonuçlar irdelenmiştir. Nihai

olarak ayrıştırma sonucunda elde edilen işaretlerden sinüzoidal yapıyı bozan etkilerin olduğu anlaşılabilmektedir. Ancak çalışmada standartlardaki sınır değerler, alan ve derinlik hesaplamaları kullanılmadığından elde edilen işaretlerin tam olarak ne ifade ettiği bilinmemektedir [9].İncelenen başka bir çalışmada, gerilim çentikli dalgası simülasyon ile oluşturulmuştur. Ardından geliştirilen bir program yardımıyla hem fourier hem de dalgacık dönüşümü yöntemi kullanılarak bu dalganın analizinin yapıldığı ifade edilmiştir. Ancak oluşturulan program ve analiz sırasındaki süreçlerle ilgili herhangi bir açıklama yapılmamıştır [10]. Diğer bir çalışmada, AA/DA dönüştürücülerin sebep olduğu gerilim çentikleri incelenmiştir. Aynı zamanda sistemin farklı kısımlarındaki endüktansların oluşan çentikçe etkisi de incelenmiştir. Bununla birlikte oluşturulan simülasyonlarda anahtarlama açıları değiştirilerek çentik işaretinin nasıl değiştiği gözlemlenmiş ve sistemdeki endüktansların çentik işareti sonrasında oluşturduğu osilasyonlar irdelenmiştir [11]. İncelenen bir diğer çalışmada, çentikli gerilim dalgası süperpozisyon ilkesi uygulanarak ayrıştırılmıştır. Elde edilen çentik işareti çentik derinliği, çentik alanı ve THD hesaplamalarına tabi tutulmuştur. Sonuç olarak ise standartta belirtilen sınır değerler ile karşılaştırmalar yapılmıştır [12]. Bir diğer çalışmada, çentikli sinüs dalgası dalgacık dönüşümü yöntemi kullanılarak frekans bileşenlerine ayrılmıştır. Daha sonra elde edilen frekans bileşenlerinden saf sinüs dalgası dışındaki işaretler toplanmıştır. Sonuç olarak çentik işareti elde edilmiştir. Bir sonraki aşamada elde edilen çentik işareti standartta belirtilen hesaplamalara tabi tutulmuştur. Ancak geliştirilen algoritma çentik etkisi dışındaki bozucu etkilerle test edilmemiştir [13].

Genel olarak bu çalışmaların çoğunda “Dalgacık Dönüşümü Yöntemi (wavelet)” kullanılmaktadır. Bu yöntemin dışında çentik olduğu andaki enerji değişiminden yola çıkarak sonuca ulaşmaya çalışan örnekler de mevcuttur [7]. Çentik ile ilgili standartta belirtilen üç kriter dikkate alınarak herhangi bir hesaplamanın yapılmamış olması, bu çalışmaların genel eksiği olarak görülmüştür[8,9]. Buna ilave olarak dalgacık dönüşümü yöntemi kullanan çalışmalarda çentik etkisi barındıran örnek işaret, frekans bandı olarak belirli bir seviyeye kadar sürekli ikiye bölünerek farklı frekanslarda birçok dalga şekli elde edilmektedir. Bu parçalanmış dalgalar yorumlanarak çentik etkisinin hangi frekans bandında ortaya çıktığı belirlenmektedir. Ancak standartta belirtilen kriterlerle ilgili herhangi bir hesaplama yapılmamış ve bunun neticesinde standartta belirtilen sınır değerlerle elde edilen

sonularınkarşılaştırılmasına yer verilmemiştir[4-6,9]. Bu da yapılan çalışmaların neticesinde elde edilen verilerin standartlar çerçevesinde bir sonuca bağlanamamasına neden olmaktadır [1,2]. Bu çalışmada ise standartlardaki çentik etkisi tanımı incelenmiş, ardından bu tanıma göre çentik algılayan bir algoritma geliştirilmiş ve standarttaki kriterlerin seçicilik bakımından yeterliliğiirdelenmiştir.

2. GÜÇ KALİTESİ TANIMI VE GÜÇ KALİTESİNİ BOZAN OLAYLAR

Geçmişten günümüze doğru bakıldığında enerji kullanımı her geçen gün artmaktadır. Bu artışla birlikte en endişe verici husus enerjinin sürdürülebilirliği ve kalitesi olmaktadır. Özellikle teknolojinin ilerlemesiyle birlikte lineer olmayan çok çeşitli yük tiplerinin ortaya çıkması, güç kalitesi konusunu daha da önemli bir hale getirmektedir. Bu tip yükler fabrikalar, ticari işletmeler, konutlar ve hastaneler gibi yerlerdeki alıcılar için zaman zaman tehlike arz edebilmektedir.

Lineer olmayan güç elektroniği devreleri, ark fırınları, statik VAR kompanzasyonu, vb. gibi yükler güç kalitesini kritik bir eşiğe getirmektedir. Çünkü güç kalitesinin istenilen düzeyde olmaması birçok beklenmedik sonuca yol açabilmektedir. Bu sonuçlardan bazıları; ölçüm cihazlarının hatalı ölçümler yapması, koruma rölelerinin hatalı tepkiler vermesi, arıza durumlarından dolayı oluşan vakit kayıpları, maddi kayıplar ve elektromanyetik uyumluluk konusunda ortaya çıkan problemler olarak sayılabilir.

Güç kalitesi problemi yıllar geçtikçe daha da büyümekte ve günümüz dünyasında ciddi bir problem haline gelmektedir. Güç kalitesi problemlerinin sadece Amerika’da yol açtığı kaybın büyüklüğü 2009 yılı için 100 milyar \$’dan fazla olmuştur [3].

2.1 Güç Kalitesi Olayları

Güç kalitesi problemlerini çözmeye yönelik birçok yaklaşım ve tanımlama mevcuttur. İncelenecek olan olaylar IEEE Std 1159-2009 standardı dikkate alınarak sıralanmıştır. Bu olayların isimleri, etki süreleri, genlikleri ve frekans aralıkları Çizelge 2.1’de detaylı bir şekilde verilmiştir.

2.1.1 Geçici olaylar

Geçici olaylar darbe şeklindeki geçici olaylar ve osilasyona giren geçici olaylar olarak sayılabilir. Darbe şeklindeki geçici olaylar 50 nanosaniye ile 1 milisaniye arasında sürebilmektedir ve anlık olarak yüksek gerilim değerlerine ulaşabilmektedir.

Osilasyon yapan geçici olaylar ise anlık olarak çıktığı gerilim değerinden osilasyon yaparak azalma eğilimindedir ve frekansları 5 MHz'e kadar çıkabilmektedir.

2.1.2 Kısa süreli gerilim değişimleri

Kısa süreli RMS değişimleri kesintiler, gerilim düşmesi ve gerilim şişmesi olarak adlandırılabilir. Kesintiler yarım periyottan bir dakikaya kadar çıkabilmektedir. Gerilim düşmesi ana gerilimin yüzde onuna kadar düşmesi, gerilim yükselmesi ise ana gerilimin yüzde kırk kadar üstüne çıkması olarak tanımlanabilir.

2.1.3 Uzun süreli gerilim değişimleri

Uzun süreli RMS değişimleri yüksek gerilim, düşük gerilim, sürekli kesintiler ve aşırı akım olarak sıralanabilir. Standarda göre bu etkilerin uzun süreli olarak adlandırılabilmesi için minimum bir dakika sürmesi gerekmektedir.

2.1.4 Dengesizlikler

Dengesizlikler gerilim dengesizlikleri ve akım dengesizlikleri olarak sayılabilir. Üç fazlı sistemlerde fazların gerilim değerleri birbirinden farklı olması veya fazlardan çekilen akımların arasında çok büyük farklılıkların olması durumunda ortaya dengesizlik durumları çıkabilmektedir.

2.1.5 Dalga şekli bozuklukları

Dalga şekli bozuklukları DC ofset, harmonikler, ara harmonikler, çentik etkisi ve gürültü şeklinde sıralanabilir. Sinüzoidal formdaki dalgaya DC bir bileşen etki ettiğinde, dalganın negatif yarı periyodu ile pozitif yarı periyodu arasındaki alanların oranı 1'den farklı olmaktadır. Bu etki DC ofset olarak adlandırılmaktadır. Harmonikler sinüzoidal gerilimin katlı bileşenleri şeklinde ortaya çıkan yine sinüzoidal şekle sahip bir bozucu etkidir. Yarı iletken elemanlar harmonik oluşumunun en önemli sebeplerinden biri olarak sayılabilir. Ara harmonikler ise sinüzoidal gerilimin tam katı olmayıp, tam katlar arasında kalan frekans değerlerine sahip harmoniklerdir. Çentik etkisi ilerleyen bölümlerde detaylı bir şekilde incelenmekle birlikte temel olarak sıklıkla kullanılan üç fazlı kontrolsüz doğrultucuların sebep olduğu bir etkidir. Gürültü ise belirli bir band aralığı olmayan, çok çeşitli frekans aralıklarında olabilen, her periyotta grafiksel olarak ufak değişiklikler gösterebilen bir bozucu etkidir.

Çizelge 2.1:Güç sistemlerindemeydana gelen olayların kategorizasyonu ve karakterizasyonu [2].

Kategori	Frekans Aralığı	Tipik Süre	Tipik Gerilim Genliği (per unit)
1.Geçici olaylar 1.1Darbe şeklinde 1.1.1Nanosaniye 1.1.2Mikrosaniye 1.1.3Milisaniye 1.2Osilasyon yapan 1.2.1Düşük frekanslı 1.2.2Orta frekanslı 1.2.3Yüksek frekanslı	5 ns yükselme 1 µs yükselme 0,1 ms yükselme < 5 kHz 5-500 kHz 0,5-5 MHz	< 50 ns 50 ns-1 ms > 1 ms 0,3-50 ms 20 µs 5 µs	 0-4 pu 0-8 pu 0-4 pu
2.Kısa süreli RMS değişimleri 2.1Ani 2.1.1Gerilim çökmesi 2.1.2Gerilim şişmesi 2.2Kısa süreli 2.2.1Kesinti 2.2.2Gerilim çökmesi 2.2.3Gerilim şişmesi 2.3Geçici 2.3.1Kesinti 2.3.2Gerilim çökmesi 2.3.3Gerilim şişmesi		0,5-30 per. 0,5-30 per. 0,5 per.-3 s 30 per.-3 s 30 per.-3 s > 3 s-1 dk > 3 s-1 dk > 3 s-1 dk	0,1-0,9 pu 1,1-1,8 pu < 0,1 pu 0,1-0,9 pu 1,1-1,4 pu < 0,1 pu 0,1-0,9 pu 1,1-1,2 pu
3.Uzun süreli RMS değişimleri 3.1Devamlı kesintiler 3.2Düşük gerilim 3.3Yüksek gerilim 3.4Aşırı akım		> 1 dk > 1 dk > 1 dk > 1 dk	0,0 pu 0,8-0,9 pu 1,1-1,2 pu
4.Dengesizlik 4.1Gerilim 4.2Akım		sürekli hal sürekli hal	% 0,5-2 % 1,0-30
5.Dalga şekli bozuklukları 5.1DC ofset 5.2Harmonikler 5.3Ara harmonikler 5.4Çentik 5.5Gürültü	0-9 kHz 0-9 kHz Geniş bant	sürekli hal sürekli hal sürekli hal sürekli hal sürekli hal	% 0-0,1 % 0-20 % 0-2 % 0-1
6.Gerilim dalgalanmaları	< 25 Hz	kesintili	% 0,1-7 %0,2-2 P _{st} (fliker indeksi)
7.Frekans değişimleri		< 10 s	± 0,10 Hz

2.1.6 Gerilim dalgalanmaları

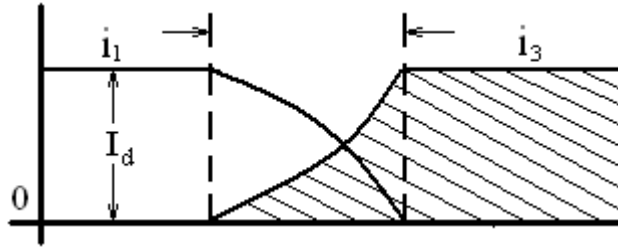
Gerilim dalgalanmaları genellikle insan gözünün ayırt edebileceği, düzensiz bir şekilde meydana gelen, gerilimdeki maksimum $\pm$ % 5'lik bir değişim olayıdır. Standarda göre 25 Hz'in altında meydana gelmektedir. Genellikle bu bozucu etkiye ark fırınları neden olmaktadır.

2.1.7 Frekans değişimleri

Frekans değişimi sistemin temel frekansından sapması sonucu meydana gelmektedir. Sürekli haldeki sistem frekansı yük ve generatör arasındaki dengeye bağlıdır. Eğer yük artarsa generatör yavaşlamaya başlar ve bu da frekans düşümüne sebep olur. Ancak genel olarak frekans değişimleri enterkonnekte sistemden bağımsız bir şekilde çalışan ayırık güç sistemlerinde gözlemlenmektedir.

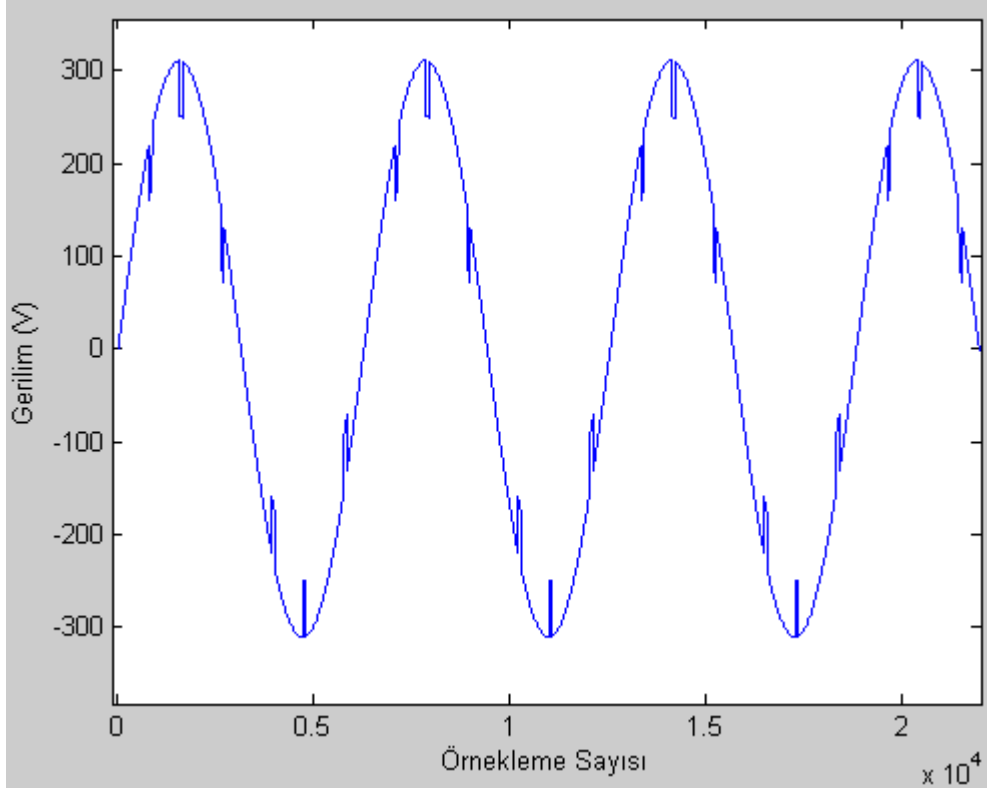
3. GERİLİM ÇENTİĞİ TESPİTİ ALGORİTMASI TASARIMI

Gerilim çentiğistandartlarda,günümüzde sıklıkla kullanılan 3 fazlı kontrollü veya kontrolsüz doğrultucuların sebep olduğu gerilimdeki bir bozulma olayı olarak tarif edilmektedir. Bu bozulmanın nedeni, farklı fazlar üzerindeki diyotların veya tristörlerin faz geçişleri sırasında bir kısmının ilettime geçmesi ve diğer kısmının da kesime girmesi neticesinde oluşan komütasyon olayıdır. Şekil 3.1’de görüldüğü gibi komütasyon olayı sırasında yarıiletken elemanlardan i_1 akımını geçiren diyotun kesime girmesibelirli bir zaman almaktadır. Aynı şekilde i_3 akımını geçiren diyotun da ilettime geçmesi belirli bir süre almaktadır. Bu kesim ve iletim gecikmelerinin aynı zaman diliminde olması neticesinde anlık bir kısa devre meydana gelmektedir. Bunun sonucunda gerilimlerdeŞekil 3.2’deki gibi kısa süreli çökmeler oluşmaktadır [1,2].



Şekil 3.1: Komütasyon olayı [1].

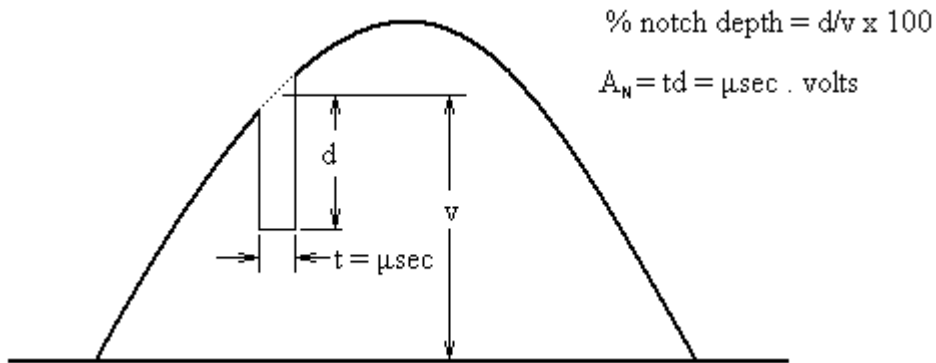
Şekil 3.2’de de görüldüğü gibi çentik standartta periyodik bir bozulma olarak tanımlanmıştır. Aynı zamanda çentik hem negatif yarı periyota hem de pozitif yarı periyota etki eden bir olaydır. Temel olarak sinüzoidal dalga formu çentik olayı olduğu anda sıfır potansiyele doğru bir yaklaşım içerisine girmektedir. Bununla birlikte bozucu etkinin çentik olarak tanımlanabilmesi için bir yarı periyodugeçmemesi gerektiği de belirtilmiştir [2]. Gerilimde sıfır potansiyele doğru meydana gelen ve bir yarı periyodu geçen düşümler standartta gerilim çökmesi olarak sınıflandırılmaktadır.



Şekil 3.2: Çentikli sinüs dalgası.

3.1 Gerilim Çentiği Tanımı

Standartta çentik tanımlanırken ve değerler hesaplanırken Şekil 3.3 referans alınmıştır. Hesaplamalar yapılırken üç adet büyüklük kullanılmaktadır. Bunlar “d”, “v” ve “t”dir. Bu büyüklüklerden yola çıkılarak % d/v ve A_N değerleri hesaplanmaktadır [1].



Şekil 3.3: Çentik derinliği ve alanı tanımı[1].

Şekilde gösterilen “d” yüksekliği çentiğin başlama ve bitiş noktalarının ortası ile çentiğin bittiği yer arasındaki mesafenin volt cinsinden büyüklüğüdür. “v” ise çentiğin başlama ve bitiş noktalarının ortası ile sıfır potansiyel arasındaki gerilim

değeridir. Bu büyüklüklerin yüzde olarak birbirine oranı ise çentik derinliğini “% d/v” vermektedir. “t” çentiğin başlangıcı ve bitişi arasında geçen sürenin mikro saniye olarak değeridir. A_N ise t.d yani mikrosaniye.volt olarak çentiğin alanını ifade etmektedir. Ancak burada verilen örnekte alan hesabı kare şeklindeki bir çentiğin alanıdır. Halbuki uygulamalarda çoğu zaman bu şekilde bir alan karşımıza çıkmamaktadır. Aksine komütasyon olayının doğasından ötürü genellikle karşımıza üçgen veya yamuk şeklinde bir çentik çıkmaktadır. Bununla birlikte dalganın çentik anında osilasyona girmesinden ötürü gerilim değerinde önce azalma sonra artma olabilmektedir. Bu da alan hesaplamalarını zorlaştırmakta ve diğer bozucu etkilerle karıştırılmasına neden olabilmektedir. Alan hesabına ilaveten THD değerinin de hesaplanması gerekmektedir. Bu değer ise standartta A_N değerinden yola çıkılarak,

$$THD_{maks} = 0.074x \sqrt{\frac{A_N}{\rho}} \% \quad (3.1)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada “p” toplam endüktansın ortak sistem endüktansına oranı olarak ifade edilmektedir [1].Standartta göre çentik hesabı yapılırken Çizelge 3.1’deki parametrelerin hesaplanması gerekmektedir. Burada bozucu etkinin maksimum değerleri üç temel sistem baz alınarak oluşturulmuştur. Bu sistemler özel uygulamalar (laboratuar, hastane, vb.), genel sistem ve ayırık sistem (inverter üzerinden beslenen yükler, vb.) olarak sınıflandırılmıştır [1,2].

Çentik üç farklı değere bağlı olarak tanımlanmıştır. Bunlar; çentik derinliği, THD değeri ve çentik alanının büyüklüğüdür. Şebeke gerilimindeki çentik bu üç sınır değerinin içerisinde ise oluşan çentiğin kabul edilebilir limitler dahilinde olduğu ifade edilmiştir.Standartta sınır değerler gerilimin fazlar arası alınması koşuluyla verilmiştir. Bununla birlikte gerilim değeri olarak 480 volt seçilmiştir. Uygulanacak sistem gerilimi 480 volttan farklı ise A_N değeri $V/480$ ile çarpılarak yeni sınır değerler elde edilmeli ve işlemler bu yeni değerlere göre yapılmalıdır. Sınır değerler Çizelge3.1’deki gibidir.

Yapılan çalışmada gerilim çentiği algılama algoritması oluşturulurken, literatürde kullanılan dalgacık dönüşümü yöntemi yerine farklı bir yöntem oluşturulmuştur.Şekil 3.4’de algoritmanın akış diyagramı görülmektedir. Gri renkte görülen işlem basamakları yalnızca standarttaki kriterler dikkate alınarak oluşturulan algoritmayı temsil etmektedir.

Ancak kırmızıyla işaretlenen 5., 6., 7. ve 8. adımlar standarttaki kriterlerin her durumda yeterli olmadığı, bazı bozucu etkilerin çentik etkisiyle karıştırılmasına yol açtığı simülasyonlarla kanıtlandıktan sonra ilave edilmiştir.

Çizelge 3.1: Farklı sistemler için sınır değerler.

	Özel Uygulamalar	Genel Sistem	Ayrık Sistem
Çentik Derinliği (% d/v)	% 10	% 20	% 50
% THD _{maks} (gerilim)	% 3	% 5	% 10
Çentik Alanı (A _N)	16400	22800	36500

NOT: Gerilim değeri 480 volttan farklı sistemler için çizelgedeki A_N değerleri V/480 ile çarpılmalıdır.

Dalgacık dönüşümü yönteminde temel olarak ana frekansı belirli bir seviyeye kadar bölerek elde edilmek istenilen işaret bir küme içerisine alınmaya çalışılmaktadır. Bu işlemfrekansı ikiye bölerek alt frekanslarına ayırdığı için normalde ana dalga içerisinde bulunmayan işaretlerin ortaya çıkmasına sebep olabilmektedir. İlâveten, elde edilmek istenilen işaretin frekansı her zaman frekans alt kümelerinin içerisine tam olarak girmeyebilir. Bu da aranılan işaretin iki farklı kümeye dağılmasına sebep olmakta ve tespit edilmesini zorlaştırmaktadır. Ancak geliştirilen algoritma, farklı bir temel üzerinden gerilim çentiğini algıladığından böyle bir durum söz konusu olmamaktadır. Oluşturulan algoritma temel olarak süperpozisyon ilkesini kullanarak temel bileşen ile bozucu etkiyi birbirinden ayırmaktadır.

3.2Algoritmanın Akış Diyagramı

Öncelikle algoritmanın farklı tipteki olaylarla test edilebilmesi için,Matlab-Simulink araç kutusu yardımıyla Şekil 4.1'deki üç fazlı kontrolsüz doğrultucu modeli oluşturulmuştur. Sonra bölüm 4.2'de algoritmanın işleyişini adımlar halinde göstermek için doğrultucunun sebep olduğuçentikli bir gerilim dalgasına algoritmanın verdiği cevap incelenmiştir.Ardından bölüm 4.3'de algoritmanın karşılaştırmalı performans analizi yapılmıştır. Öncelikle sadece standarttaki kriterler dikkate alınarak oluşturulan algoritmanın harmonik bileşenler içeren bir sinüs dalgasına verdiği cevap adım adım incelenmiştir. Ardından bazı durumlarda harmonik bileşenlerin çentik benzeri bir etki yarattığı vestandartta belirtilen üç kriterin çentik etkisini tam olarak tanımlamakta ve ayırt etmekte eksik kaldığı

gösterilmektedir. Böyle bir bozucu karşısında çentik etkisinin tam olarak ayırt edilebilmesi için gerekli çözüm önerileri sunulmuş ve algoritmaya 5., 6., 7. ve 8. adımlar ilave edilmiştir. Yapılan ilavelerden sonra algoritmanın çentik benzeri etki gösteren harmonik bileşenli bir dalgaya karşı nasıl bir tepki verdiği incelenmiştir. Daha sonraki bölümlerde ise algoritma farklı bozucu etkilerle test edilmiştir.

3.3 Algoritmanın İşlem Basamaklarının Açıklanması

Sadece standarttaki kriterlere bağlı kalınarak geliştirilen algorithmada 5., 6., 7. ve 8. basamaklar bulunmamaktadır. Ancak daha sonraki testlerde standarttaki kriterlerin yeterli bir seçicilik sağlamadığı görülmüştür. Bunun üzerine 5., 6., 7. ve 8. basamaklar geliştirilip algoritmaya ilave edilmiştir. Çalışmaların sonucunda ilave edilen bu basamaklar sayesinde çentik etkisi ile harmonik kaynaklı bozucu etkilerin ayırt edilmesi hususunda başarı sağlanmıştır. Şekil 3.4’de akış diyagramı görülen algoritmanın işlem basamakları adım adım açıklanmıştır.

Adım 1: İlk adımda algoritmanın hangi sınır değerlere göre hesap yapacağı belirlenmelidir. Her bir sistemin A_N değeri ve % d/v değeri farklı olduğu için özel uygulamalar, ayırık sistem ve genel sistemden biri seçilmelidir.

Adım 2: Sistem tiplerinden biri seçildikten sonra bilgisayar ortamında hesaplamaların yapılabilmesi için gerçek işaret örneklenerek veriler sayısal ortama aktarılmaktadır.

Adım 3: Örneklenen işaretin üzerinde farklı tipte bozucu etkiler olabileceği için işaretin temel bileşeni bulunmaktadır.

Adım 4: Örneklenen işaretten temel bileşenin çıkarılmasıyla bozucu etki elde edilmektedir.

Adım 5: Daha sonraki basamaklarda kullanılmak üzere bozucu işaretin türevi alınmaktadır.

Adım 6: Türev alma işleminin ardından elde edilen işaretin RMS değeri hesaplanmaktadır.

Adım 7: Bozucu işaretin hesaplanan RMS değerinin (efektif değeri), dalganın temel bileşeninin RMS değerine bölünmesi ile normalizasyon işlemi gerçekleştirilmektedir. Böylelikle gerilim seviyesinden bağımsız olarak yüzdesellik aynı kalacaktır.

Adım 8: Standartta belirtilen kriterler bazı harmonik bileşenlerin çentik etkisinden ayrılmasında yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle standarttaki üç kriter ek olarak 5., 6., 7. ve 8. adımlardaki işlemler yapılmaktadır. Çok sayıda yapılan sayısal çalışmalar neticesinde çentik etkisiyle harmonik bileşenlerin ayrılması için bir limit değeri belirlenmiştir. İşlemler sonucunda elde edilen değeri algoritmada belirlenen limit değerden yüksek çıkarsa sistemdeki bozucu etki çentik etkisi olmamaktadır ve algoritma diğer periyotlar için hesap yapmak üzere başa dönerek 3. adımdan itibaren işlemleri tekrar eder. Ancak hesaplanan değeri limit değerden küçük çıkarsa bu bozucu etkinin çentik etkisi olma olasılığı bulunmaktadır ve algoritma standartta belirtilen diğer işlem basamaklarını hesaplamak için devam eder.

Adım 9: Algoritma diğer kriterler için işlemlere devam eder.

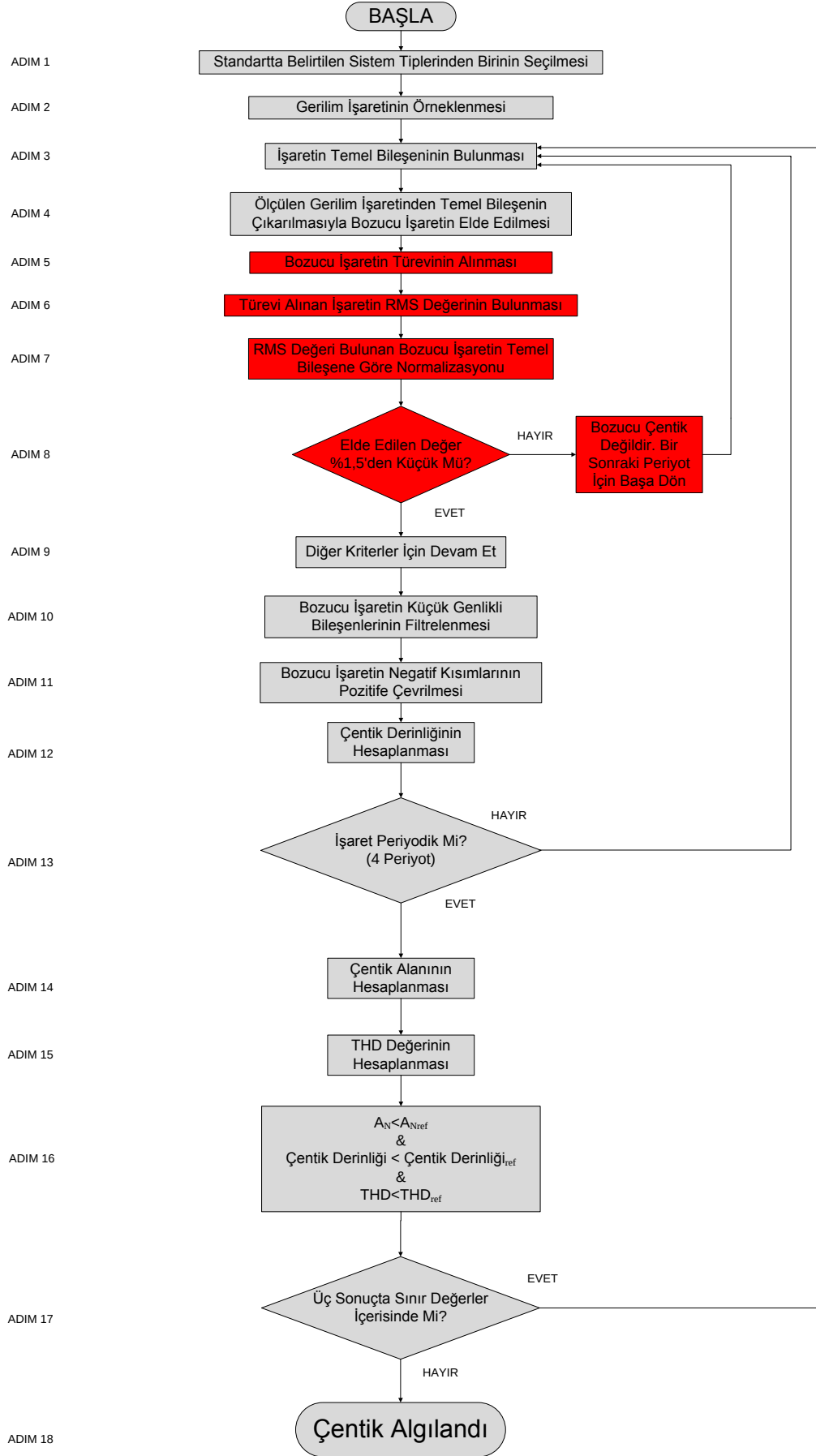
Adım 10: Çentik işareti genellikle salınım yapan sönümlü bir dalga şeklinde olduğu için, hesaplamalarda yanılmamak ve işlemciyi gereksiz hesaplamalarla meşgul etmemek için belirli değerin altındaki küçük genlikli işaretler filtrelenmektedir. Çentiğin sönümlü bir salınım yapmasından dolayı ilk salınımdan sonraki salınımlar mutlaka daha küçük genlikli olmaktadır. Bu da küçük genlikli işaretlerin filtrelenmesinde bir sorun teşkil etmemektedir.

Adım 11: Yine bilgisayar ortamındaki hesaplamalarda kolaylık sağlanması açısından sinüzoidal karakteristik gösteren çentik işaretinin negatif bileşenli kısımları pozitifte çevrilmektedir.

Adım 12: Bu adımda standartta belirtilen temel 3 kriterden % d/v değeri hesaplanmaktadır. Bunun için öncelikle çentik derinliği “d” ve çentik olduğu andaki gerilimin anlık değeri olan “v” değerleri bulunmalıdır daha sonra bulunan değerler birbirine oranlanarak % d/v değeri elde edilir.

Adım 13: Bu işlem basamağında standartta belirtilen koşullardan biri olan bozucu etkinin periyodik olup olmadığına bakılmaktadır. Eğer bozucu etki periyodik ise algoritma bir sonraki adım için işlemlere devam etmektedir. Ancak bozucu etki periyodik değil ise bu etkinin çentik olmadığı saptanarak diğer periyotlar için işlemlere devam etmek üzere algoritma 3. adıma dönmektedir.

Adım 14: Bu basamakta bozucu etkinin başlangıç ve bitiş zamanları bulunup birbirinden çıkartılarak çentiğin süresi “t” hesaplanır ve çentik derinliği ile çarpılarak çentik alanı “A_N” hesaplanır.



Şekil 3.4:Geliştirilen algoritmanın akış diyagramı.

Adım 15: Son olarak A_N değeri kullanılarak, $THD_{maks} = 0.074x \sqrt{\frac{A_N}{\rho}} \%$ formülünden % THD değeri bulunur.

Adım 16: Çentik derinliği, çentik alanı ve %THD değerlerinin elde edilmesinin ardından standartta belirtilen ve ilk adımda seçilen sistem tipi ile karşılaştırmalar yapılır.

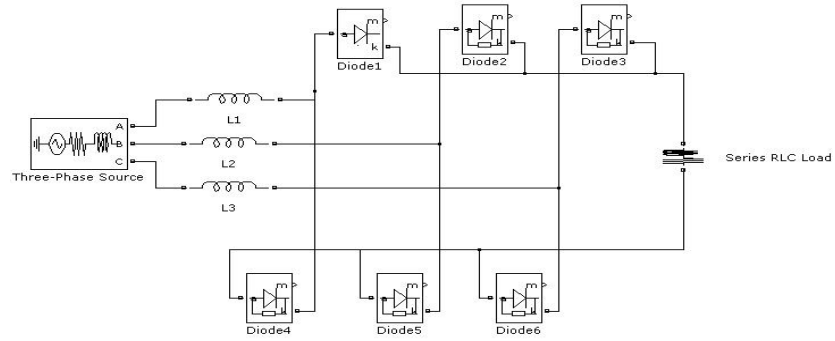
Adım 17: Karşılaştırmalar sonucunda % d/v, A_N ve % THD değerlerinin tamamı standartta belirtilen değerlerin altında kalıyorsa algoritma uyarı vermez ve diğer periyotlar için işlem basamaklarını tekrar etmek üzere başa döner. Ancak bu değerlerin herhangi biri standartta belirtilen sınır değerden büyük ise algoritma bu bozucu etkiyi gerilim çentiği olarak algılar ve 18. adımda bilgi ekranında çentiğin tespit edildiğine dair uyarı verir.

4. SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI VE PERFORMANS ANALİZİ

Simülasyon çalışmalarını gerçekleştirebilmek için öncelikle standartta gerilim çentiğinin ortaya çıkmasına sebep olarak gösterilen 3 fazlı kontrolsüz bir doğrultucu modeli oluşturulmuştur [1]. Modelleme Matlab-Simulink araç kutusu kullanılarak yapılmıştır.

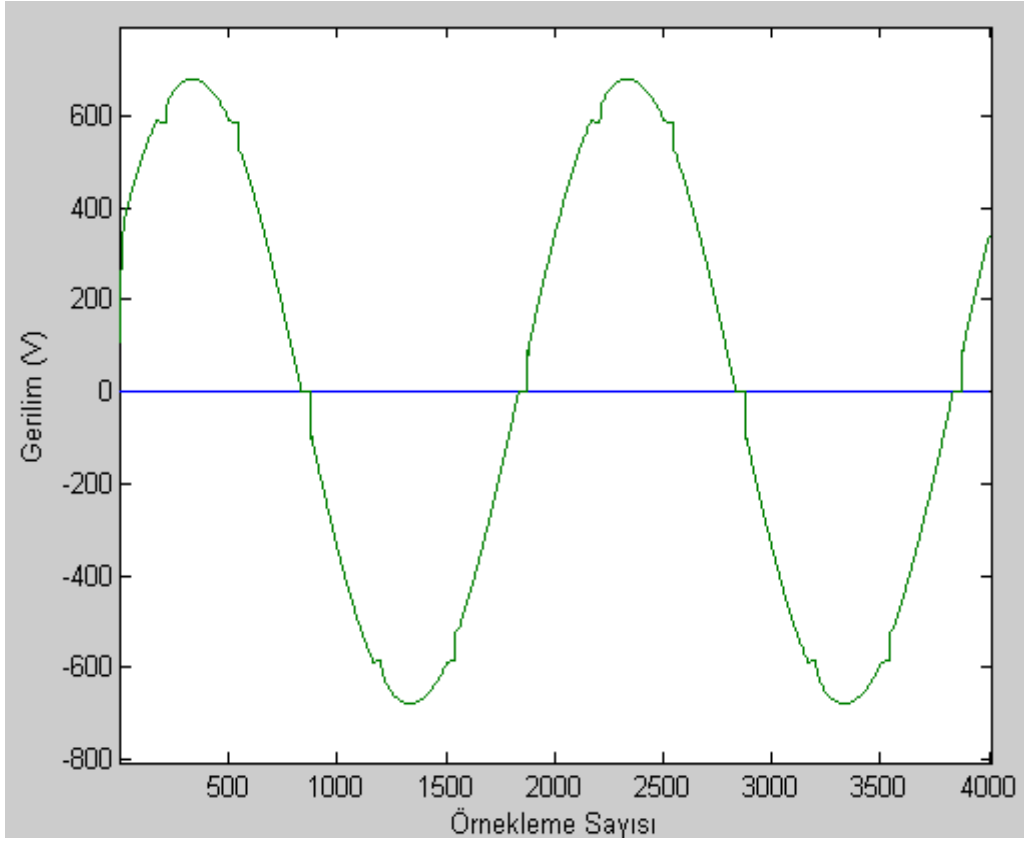
4.1 Üç Fazlı Tam Dalga Kontrolsüz Doğrultucu Modellenmesi

Matlab-Simulink araç kutusu kullanılarak oluşturulan 3 fazlı kontrolsüz doğrultucu devresi Şekil 4.1'de görülmektedir. Doğrultucu girişinde 3 fazlı bir kaynak kullanılmıştır. Bu kaynak 3 fazlı şebekeyi temsil etmektedir. Gerilimde çentik etkisi oluşabilmesi için gerçekteki gibi şebeke ile doğrultucu arasına L1, L2 ve L3 endüktansları konulmuştur. Bu endüktanslar gerçekte 3 fazlı bir izolasyon trafosundan veya düşürücü-yükseltici bir trafodan da kaynaklanabilmektedir. Doğrultucunun çıkışına ise bir RLC yükü bağlanmıştır.

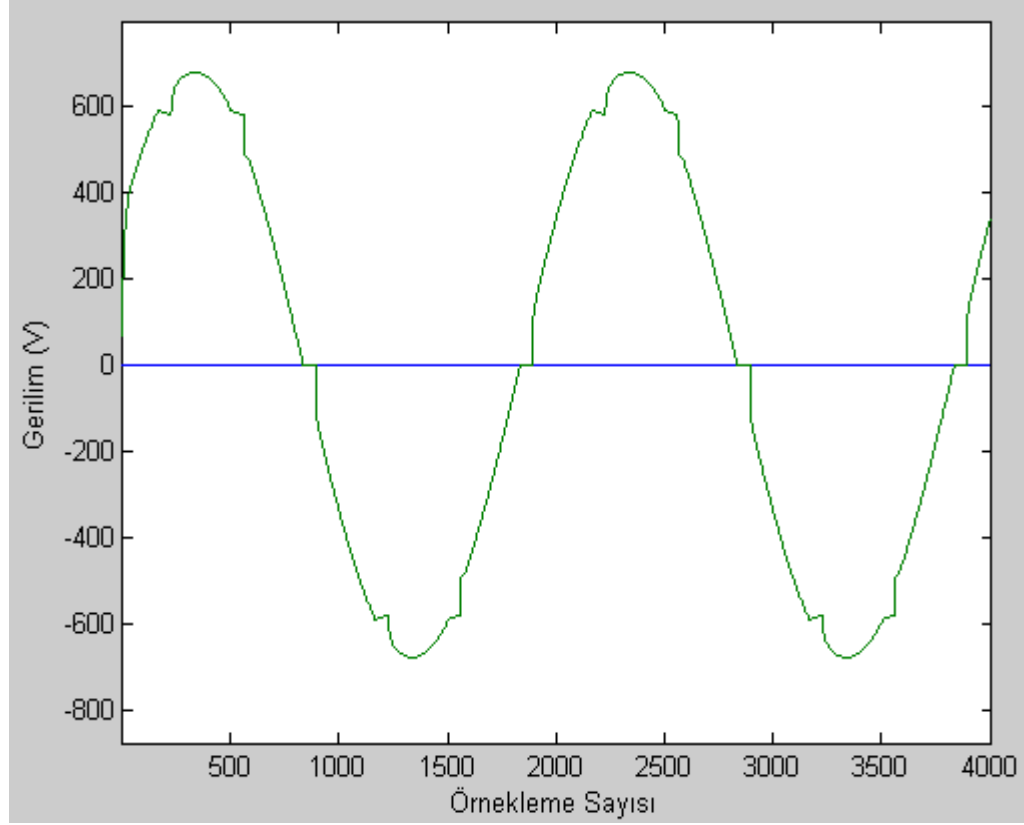


Şekil 4.1: Simülasyonlar için oluşturulan 3 fazlı kontrolsüz doğrultucu devresi.

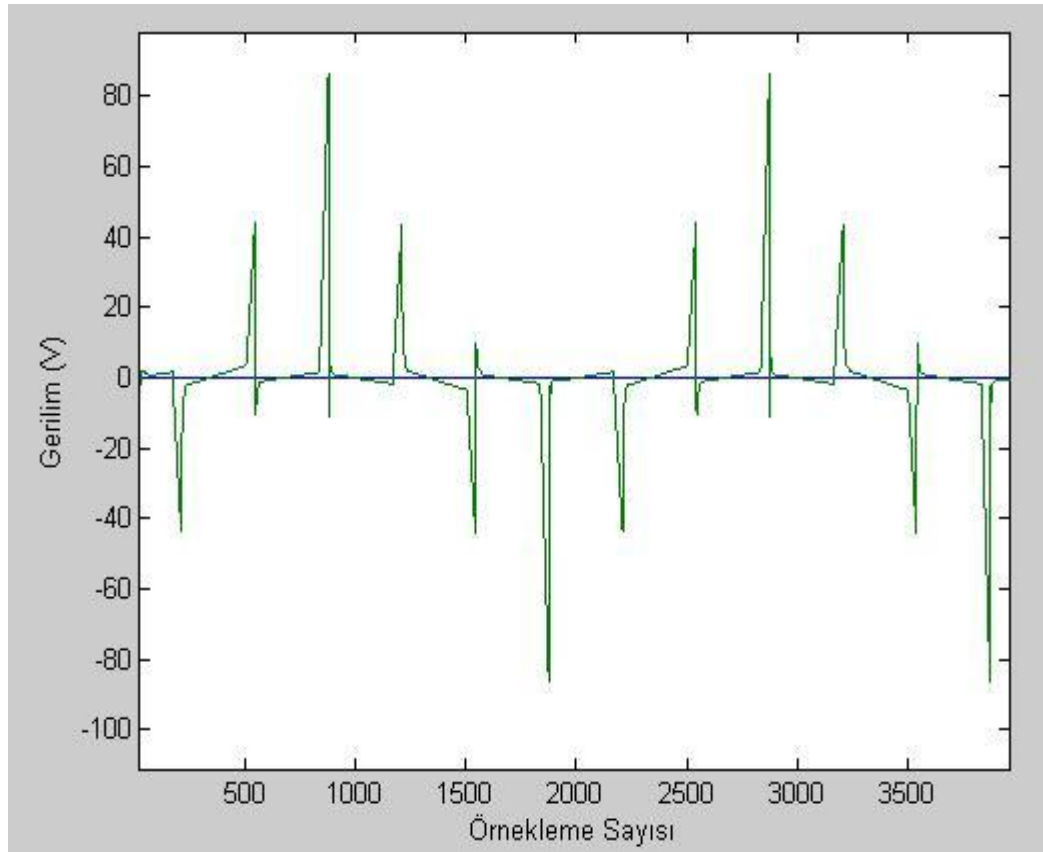
Doğrultucunun çektiği akım sonucunda şebeke tarafında oluşan gerilimdeki çentik etkisinin boyutları L1, L2, L3 endüktanslarının değeriyle orantılı şekilde değişmektedir. Şekil 4.2'de ve Şekil 4.3'de aynı kaynak gerilimleri altındaki, iki farklı endüktans değerindeki sinüs dalga formları görülmektedir. Şekil 4.4 ve 4.5'de ise çentik işaretinin gerilimleri görülmektedir. Şekil 4.2'de L1, L2, L3 endüktanslarının değeri 0.001 H seçilmiştir. Şekil 4.3'te ise endüktans değerleri 0.002 H seçilmiştir.



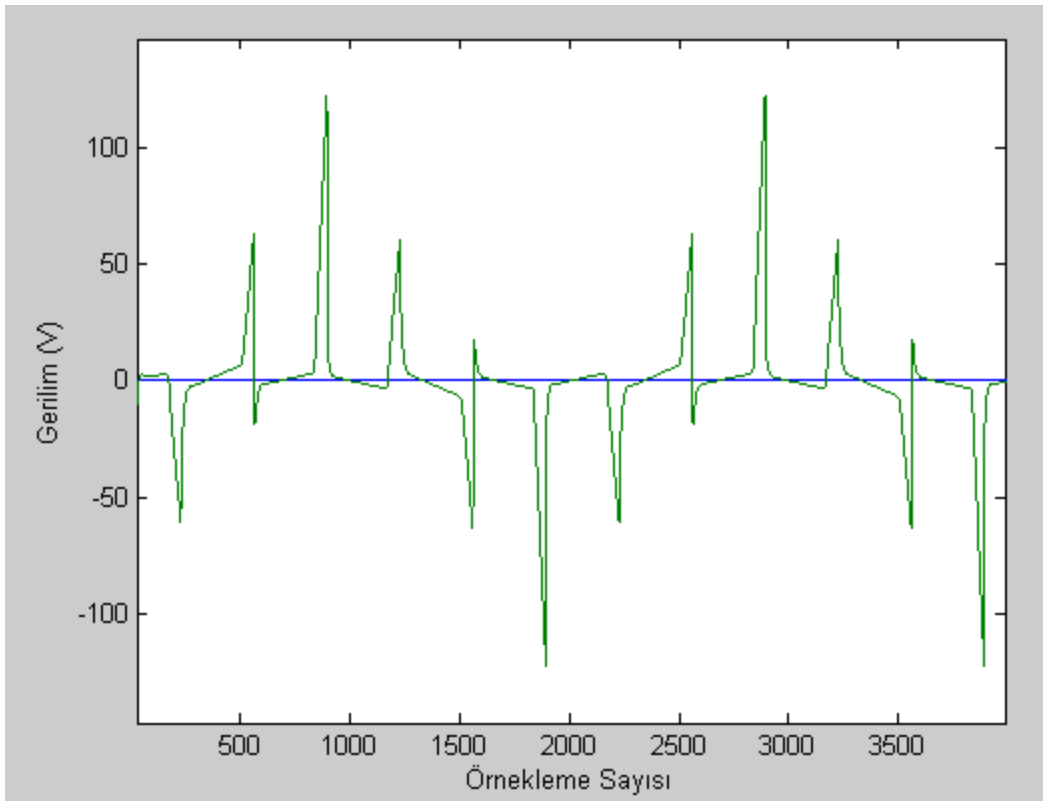
Şekil 4.2:Çentikli gerilim dalgası ($L=0,001$ H).



Şekil 4.3:Çentikli gerilim dalgası ($L=0,002$ H).



Şekil 4.4:Çentik işareti ($L=0,001$).



Şekil 4.5:Çentik işareti ($L=0,002$).

Yapılan ölçümler sonucunda endüktans değerleri arttıkça çentik geriliminin genliğinin de arttığı tespit edilmiştir.

4.2 Algoritmanın Çentikli Gerilim Dalgası İle Test Edilmesi

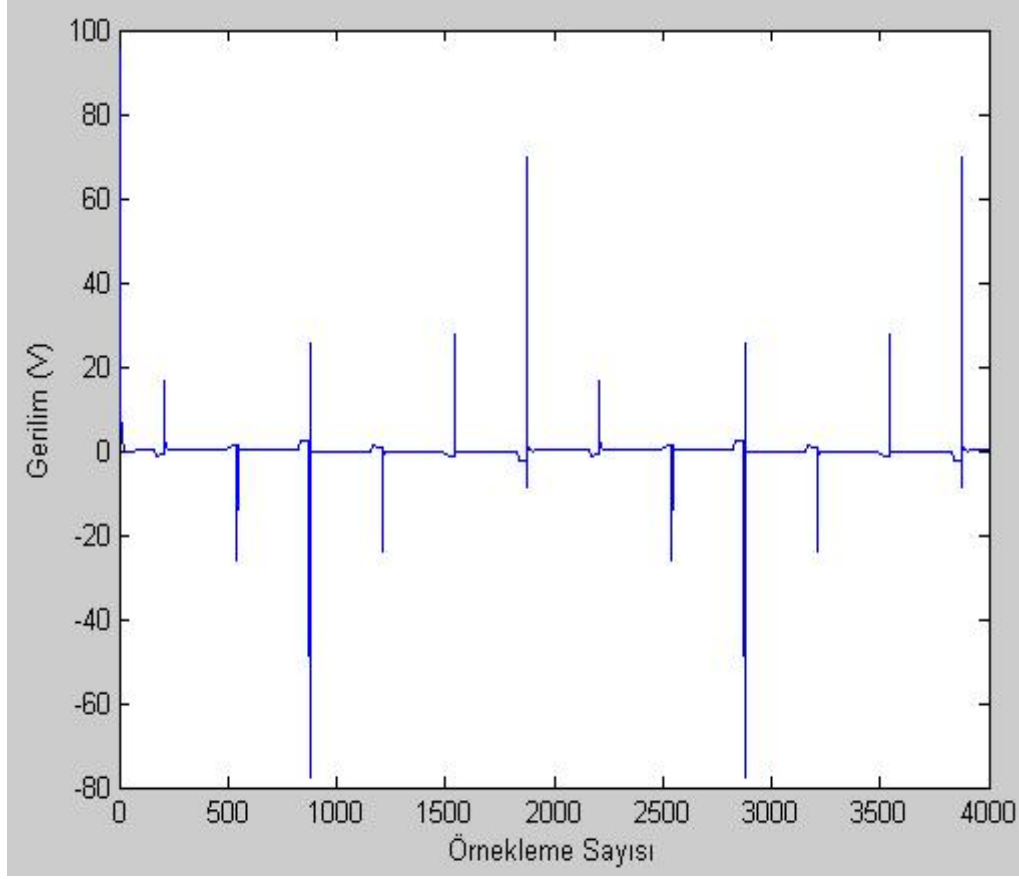
Bu bölümde algoritma, son halini almasının ardından çalışma prensibinin anlaşılması ve daha sonraki bölümlerde ele alınan örneklerle temel oluşturması için sadece çentikli gerilim dalgasıyla test edilmiştir.

Şekil 4.1'deki 3 fazlı kontrolsüz doğrultucu yardımıyla elde edilen çentikli gerilim dalgası Şekil 4.2'deki gibidir. Simülasyonda doğrultucu giriş geriliminin fazlar arası değeri 480 volt olarak belirlenmiştir. Bunun sebebi standartta belirtilen kriter sınır değerlerinin 480 volt baz değere göre verilmesidir. Şekil 4.2'deki dalga kullanılarak algoritmanın işlem basamakları sırasıyla incelenecektir.

Kullanılacak olan dalga şekli bilgisayar ortamında simülasyon sonucu elde edildiği için algoritma işleme 3. adımdan başlamaktadır. Öncelikle elimizdeki dalga şeklinin temel bileşeni bulunmuştur. Bulunan temel bileşen dalga şeklinin ilk halinden çıkarılarak Şekil 4.4'deki çentik işareti elde edilmektedir.

Algoritma akış diyagramına göre bozucu işaret elde edildikten sonra bu işaretin önce türevi alınır, sonra ortaya çıkan işaretin RMS değeri hesaplanır ve son olarak da şebeke gerilimine göre normalize edilir. Bu işlemlerdeki amaç çentik etkisiyle harmonik etkisini birbirinden ayırt edebilmektedir. Bu nedenle bir sonraki adım olarak Şekil 4.4'de elde edilen işaretin türevi alınmıştır. Türev işlemi sonrasında elde edilen işaret Şekil 4.6'da görülmektedir.

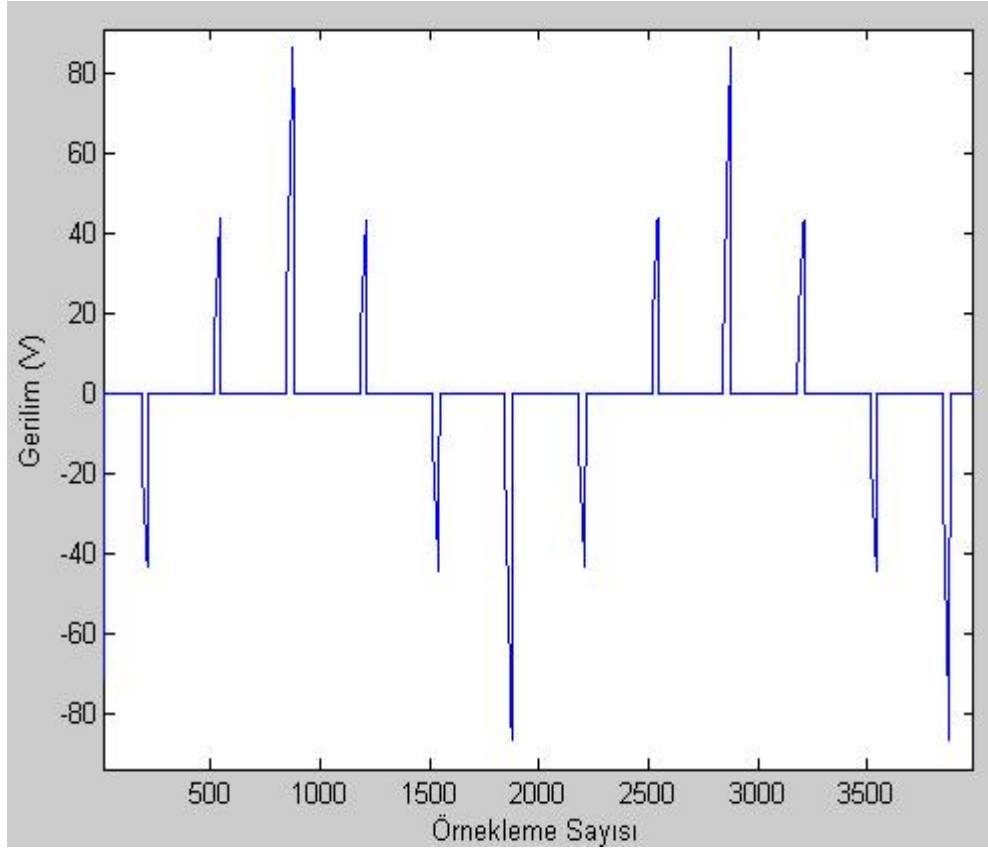
Bozucu işaretin türevinin alınmasının nedeni, gerilim çentiği ile harmonikleri birbirinden net bir şekilde ayırt edebilmektir. Gerilim çentiğinin türevi alındığında sonuç darbe işaretleri şeklinde olmaktadır. Bunun nedeni ise zamana göre gerilim değerindeki değişimin ani olmasıdır. Ancak harmonikler bilindiği gibi farklı sinüs bileşenlerinden meydana geldiği için türevi de yine bir sinüs fonksiyonu olmaktadır. Bir sonraki basamakta türevi alınmış bozucu işaretin RMS değeri hesaplanmıştır. Bunun nedeni ise türevi alınmış çentik işaretiyle harmonik işaretin görsel olarak ayırt edilebilir olmasına rağmen, algoritmanın bunu ancak sayısal veriye dönüştürerek karşılaştırabilmesidir.



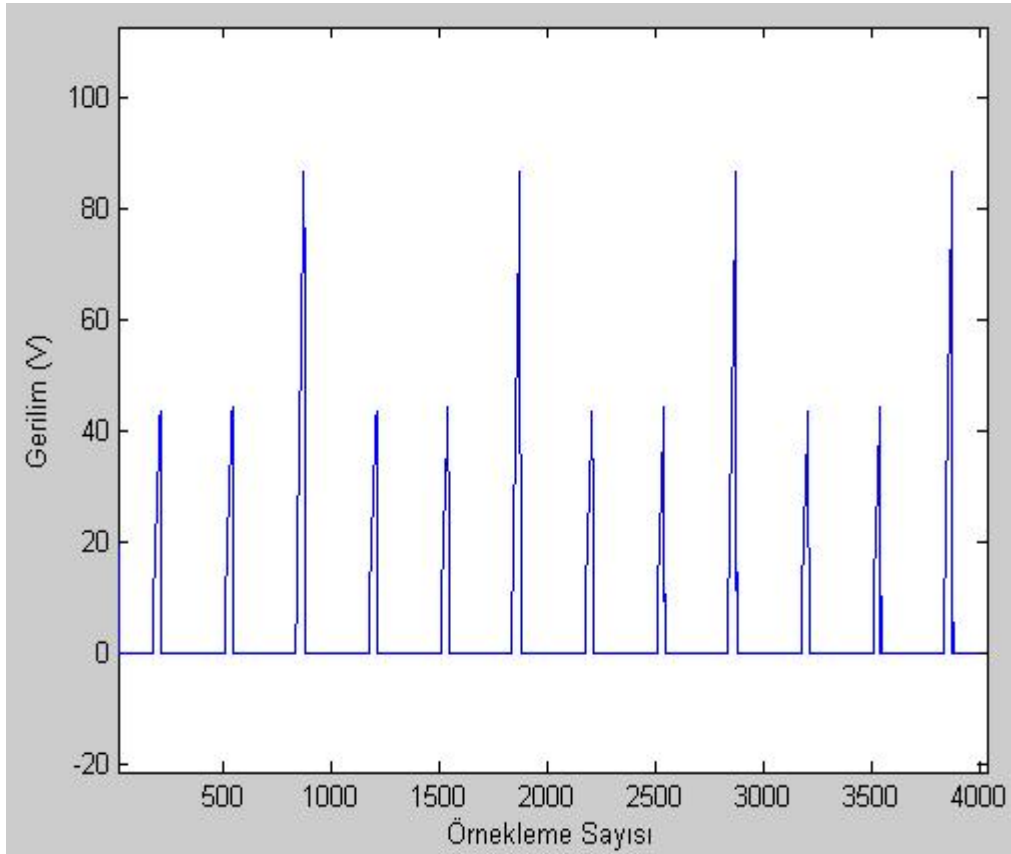
Şekil 4.6: Çentik işaretinin türevi.

Şekil 4.6’da görülen türevi alınmış işaretin RMS değeri hesaplanmıştır ve sonuç 3,3042 V bulunmuştur. Birsonraki adımda bu değer çentikli gerilim dalgasının RMS değerine bölünerek 0,9742 değeri elde edilmiştir. Elde edilen 0,9742 değeri daha önceki denemeler ve hesaplamalar neticesinde elde edilen 1,5 değeri ile karşılaştırılmıştır. 0,9742 değeri algoritma içerisindeki 1,5 değerinden küçük olduğu için algoritma bir sonraki adıma geçmekte ve hesaplamalara devam etmektedir. Buradan çıkan sonuç bu bozucu etkinin harmonik bileşenlerden kaynaklanan bir olay olmadığıdır.

Sonraki adımda matematiksel hesaplamalar yapılırken ihmal edilebilir büyüklükteki değerlerin hesaplamalara katılmaması için küçük genlikli işaretler filtrelenmektedir. Bu filtreleme işlemi hem gereksiz hesaplamalar sonucunda karışıklıklara meydan vermemek hem de standartta belirtilen kriterler hesaplanırken işlemciye fazladan yük getirmemek için yapılmıştır. Şekil 4.4’deki çentik işaretin küçük genlikli bileşenlerinin filtrelenmiş hali Şekil 4.7’de görülmektedir. Şekil 4.7’deki işlemin ardından standartta belirtilen üç kriterden biri olan çentik alanının hesaplanabilmesi için işaretin negatif kısımları Şekil 4.8’deki gibi pozitif çevrilmiştir.



Şekil 4.7: Küçük genlikli bileşenleri filtrelenmiş çentik işareti.



Şekil 4.8: Negatif yarı periyodu pozitif yarı periyoda çevrilmiş çentik işareti.

Çentik işareti 3 fazlı kontrolsüz doğrultucu vasıtası ile ortaya çıktığından, etkisi hem negatif hem pozitif yarı periyotta simetrik bir şekilde gözlemlenmektedir. Bu nedenle alan hesaplamalarında negatifliği ortadan kaldırıp hesaplamaları kolaylaştırmak için bozucu etkinin negatif yarı periyot içerisinde bulunan kısımları pozitifte geçirilmektedir. Şekil 4.8’de negatif yarı periyodundaki işaretleri pozitif yarı periyoda geçirilen çentik işareti görülmektedir.

11. adımdaki mutlak değer alma işleminin ardından 12. adımda standartta belirtilen kriterlerden çentik derinliğinin şebeke geriliminin çentik anındaki anlık değerine oranı (% d/v) hesabı yapılmaktadır. Bunun için önce çentik derinliği “d” ve çentik olduğu andaki sinüsün anlık değeri olan “v” bulunmalıdır. Çizelge 4.1’de bir periyot için her bir çentiğin “d” ve “v” değerleri görülmektedir.

Çizelge 4.1: Çentik derinliği (d) ve çentik anındaki şebeke geriliminin ani değeri (v).

Çentik Numarası	1	2	3	4	5	6
d	43,4	44,1	86,5	43,5	44,1	86,5
v	583,5	583,5	0	0	583,4	583,5

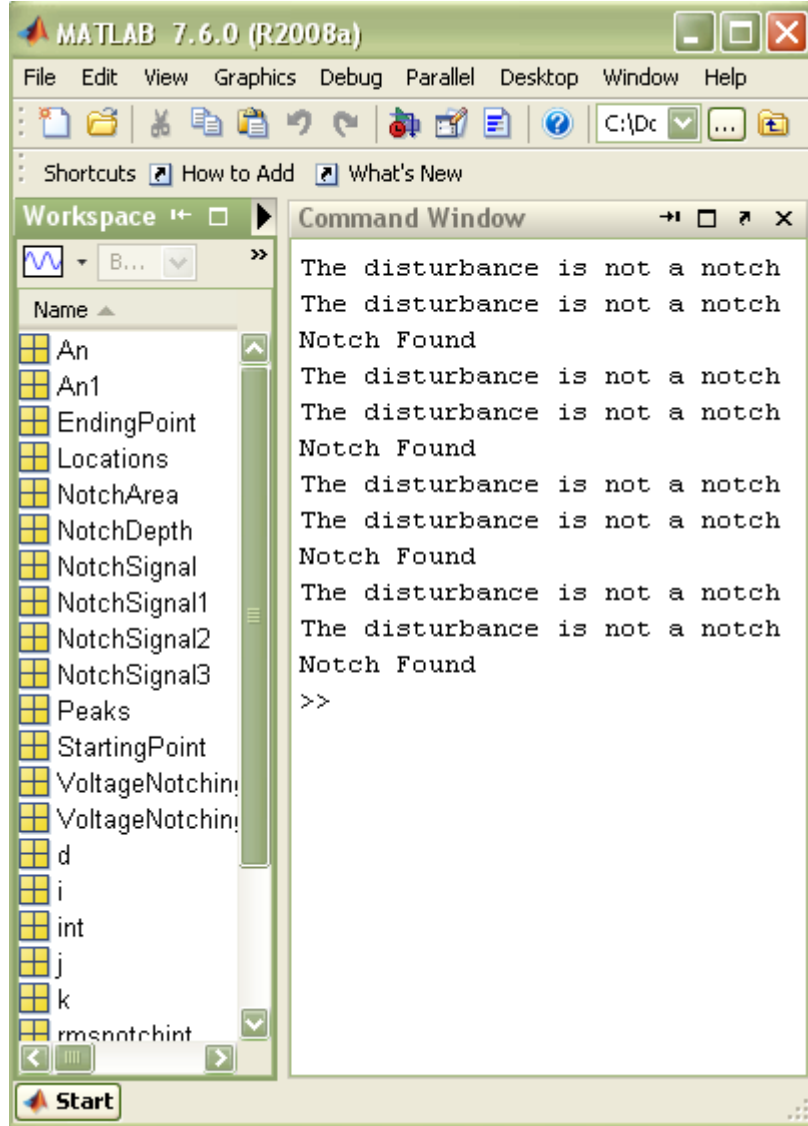
13. adımda işaretin periyodik olup olmadığına bakılmak suretiyle diğer bozucu etkilerle çentik etkisinin ayırt edilebilmesi hedeflenmiştir. İncelenen dalga şekli periyodik olduğundan algoritma bir sonraki adımda çentik alanı (A_N) hesabı yapmaktadır. 15. adımda ise “ A_N ” ve “p” değerleri kullanılarak “THD” değeri hesaplanmaktadır. “p” değeri hesaplamalarda 7 olarak alınmıştır. Hesaplanan “% d/v”, “ A_N ” ve “% THD_{maks}” değerleri şebeke geriliminin bir periyodu için Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2: Çentik derinliği ve çentik alanı ile THD değerleri

Çentik Numarası	1	2	3	4	5	6
% d/v	7,44	7,56	1,03x106	7,45	7,56	1,03x106
A_N	8419	9083	33238	7841	10672	36092
% THD _{maks}	2,56	2,66	5,09	2,47	2,88	5,31

Çentik derinliği, çentik alanı ve % THD_{maks} kriterleri hesaplandıktan sonra standarttaki sınır değerlerle karşılaştırılması gerekmektedir. 16. adımda algoritma bu

karşılaştırma işleminin gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırma işleminin sonucunda da 3. ve 6. olayların standarttaki sınır değerleri aşarak çentik etkisi oluşturduğunu ekran çıkışı vererek belirtmiştir. Ekran görüntüsü Şekil 4.9'da verilmiştir.



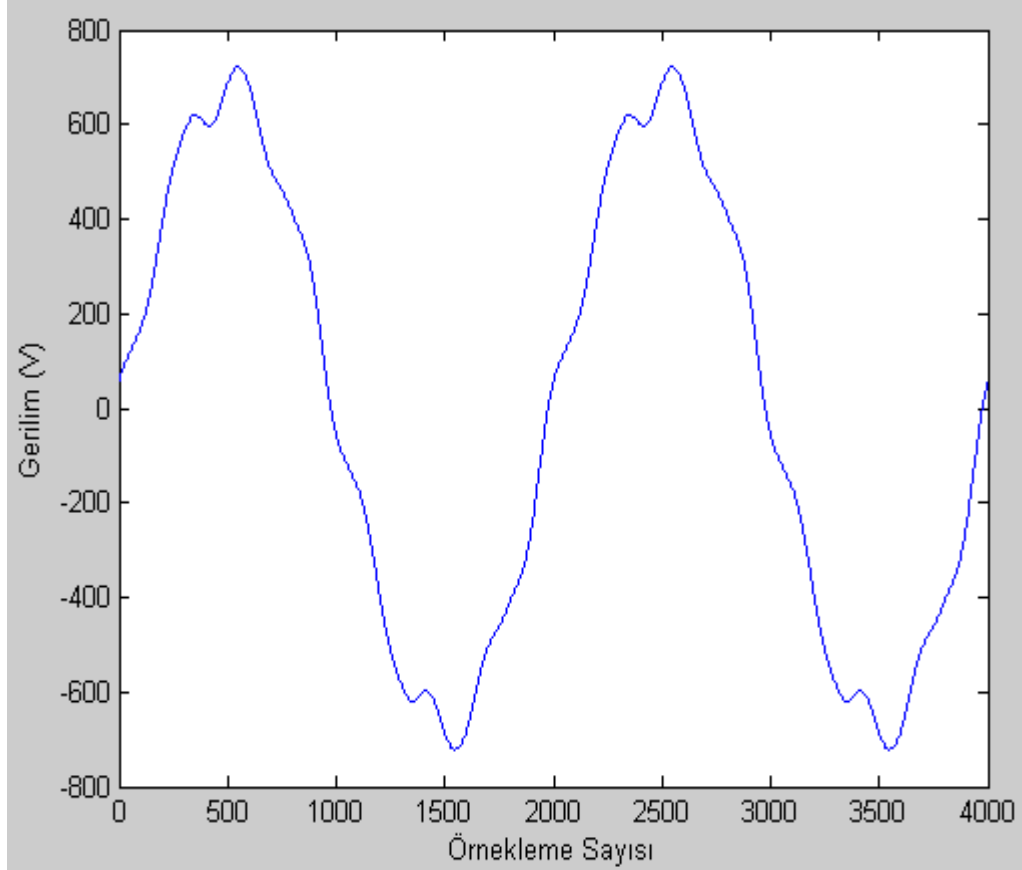
Şekil 4.9: Çentikli sinüs dalgasına algoritmanın cevabı.

4.3 Karşılaştırmalı Performans Analizi

Çentik etkisi bulunan bir sinüs dalgasına algoritmanın tepkisi önceki bölümde incelenmiştir. Bu bölümde ilk olarak sadece standarttaki kriterler dikkate alınarak bir algoritma tasarlanmıştır ve tasarlanan algoritmanın harmonikli bir sinüs dalgasına cevabı incelenmiştir. Ardından standarttaki kriterlerin tek başına yeterli seçiciliği sağlamadığı tespit edildiğinden, Şekil 3.4'de görülen kırmızı ile işaretlenmiş 5., 6., 7. ve 8. işlembasamakları algoritmaya ilave edilmiş ve algoritma son halini

almıştır. Daha sonra algoritmanın son halinin aynı harmonikli sinüs dalgasına cevabı incelenmiştir. Sadece standarttaki kriterler göz önüne alınarak tasarlanan algoritma Şekil 3.4'deki gri renkteki işlem basamaklarıdır.

Farklı harmonik bileşenlerin bulunduğu sinüs dalgası Matlab programı yardımıyla elde edilmiştir. Elde edilen dalga formu Şekil 4.10'da görülmektedir.

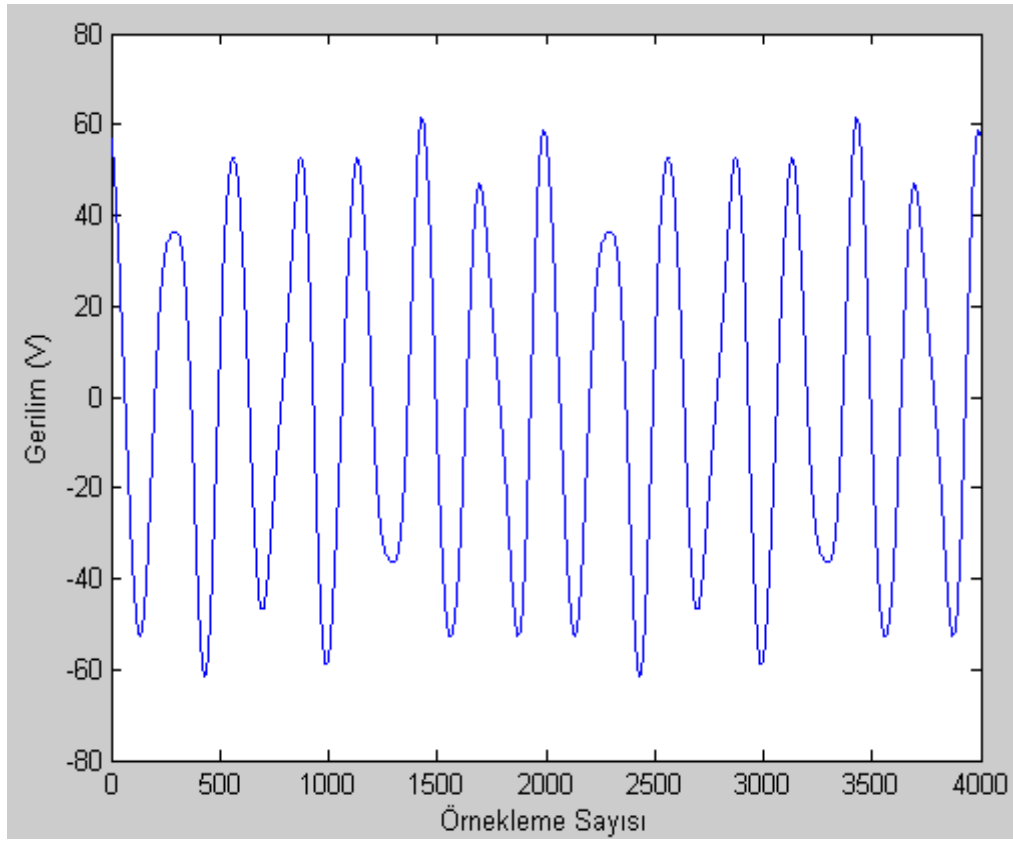


Şekil 4.10: Harmonikli gerilim dalgası.

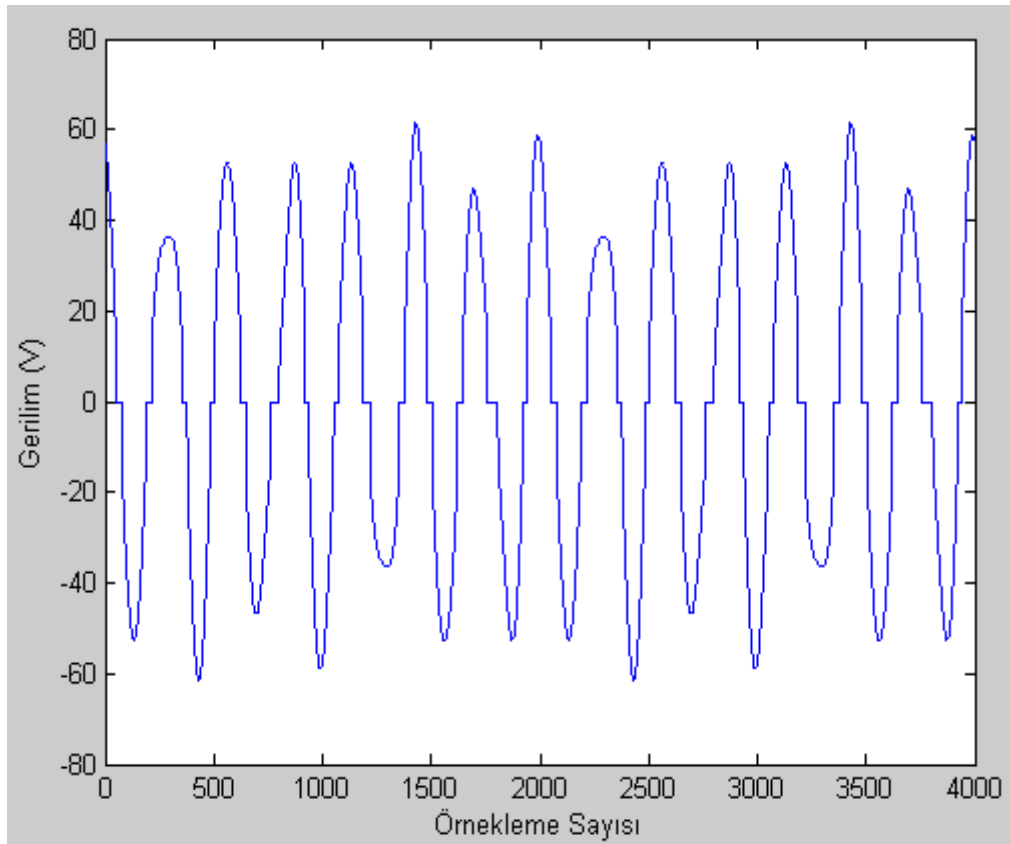
Analizi yapılacak olan harmonik etkili dalga şekli 7., 11. ve 15. harmonik bileşenlerini içermektedir. Algoritma akışına göre önce Şekil 4.10'daki dalganın temel bileşeni bulunup kendisinden çıkartılmıştır. Elde edilen dalga formu Şekil 4.11'de görülmektedir.

Bir sonraki işlem basamağı temel bileşenin çıkarılmasıyla elde edilen, bozucu etkileri içeren işaretin küçük genlikli bileşenlerinin filtrelenmesini gerektirmektedir. Bu işlemin sonucunda Şekil 4.12'deki dalga formu ortaya çıkmaktadır.

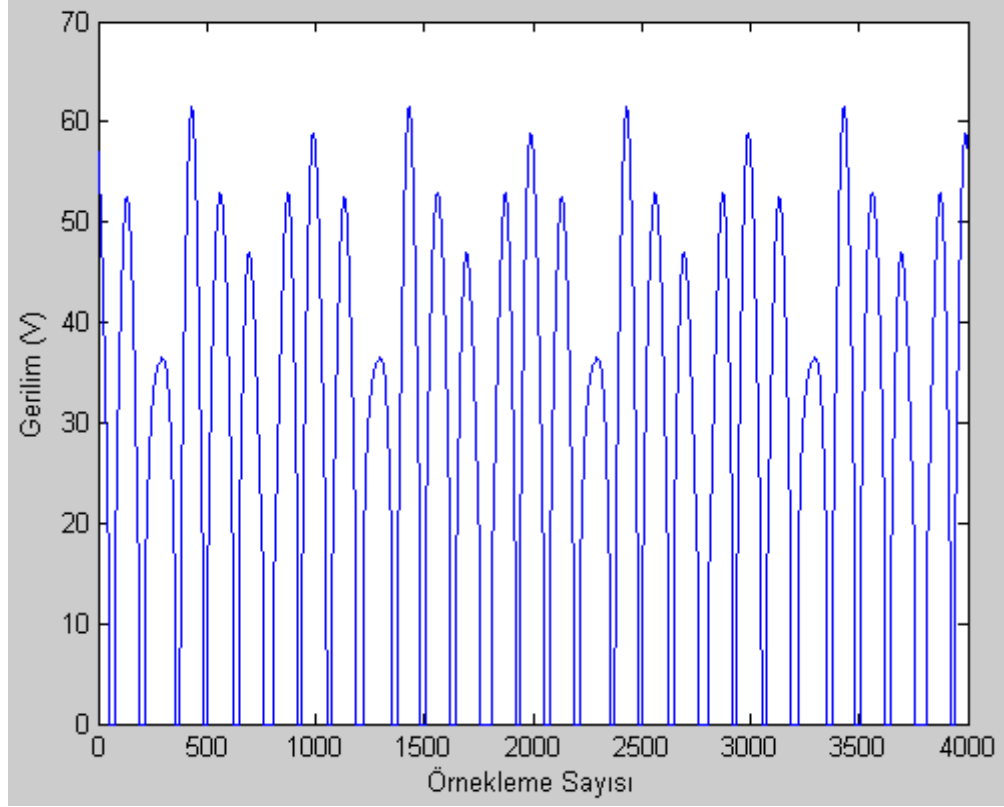
5. adımın sonucunda bulunan Şekil 4.12'deki filtrelenmiş gerilim dalgasının negatif yarı periyodundaki kısımları pozitif yarı periyoda 6. adımda çevrilmiştir. Sonuç olarak Şekil 4.13'de görülen dalga formu elde edilmiştir.



Şekil 4.11: Gerilim işaretinin harmonik bileşenleri.



Şekil 4.12: Küçük genlikli bileşenleri filtrelenmiş harmonik dalgası.



Şekil 4.13: Negatif genlikli kısımları pozitif çevrilmiş harmonik dalgası.

7. adımda “% d/v” değeri hesaplanmıştır. Ardından işaretin periyodik olup olmadığına bakılmış ve işaret periyodik olduğu için bir sonraki adımda “ A_N ” ve “%THD” değerleri Şekil 4.13’deki dalga şekli kullanılarak hesaplanmıştır. THD hesaplamalarında “ p ” değeri 7 olarak alınmıştır. Hesaplamaların sonucunda elde edilen değerler Çizelge 4.3’de görülmektedir.

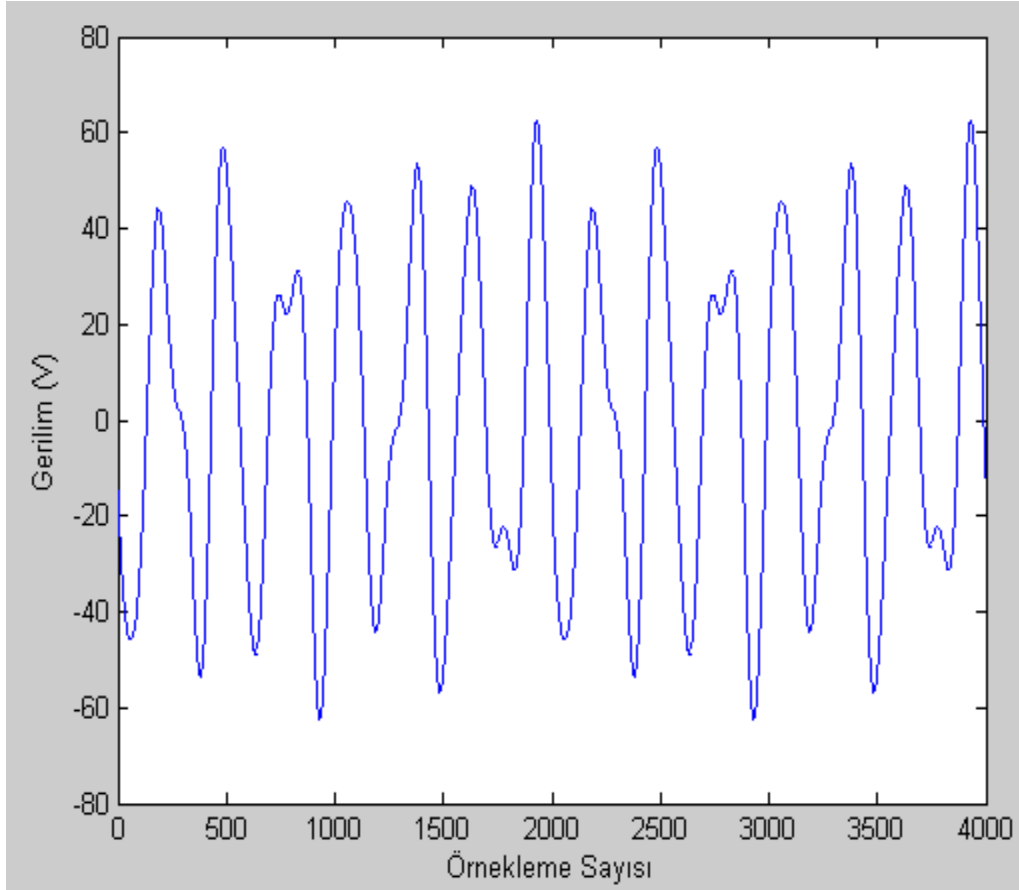
Çizelge 4.3: Standarttaki kriterlerin harmonik bileşenli bir dalgaya uygulanması sonucu elde edilen değerler.

Çentik Numarası	1	2	3	4	5	6	7
% d/v	23,75	6,28	10,24	7,35	9,22	16,61	165,98
A_N	7542	7608	7815	7783	7556	7555	7974
% THD _{maks}	2,43	2,44	2,47	2,46	2,43	2,43	2,49

Çizelge 4.3’deki değerler adım 11 ve 12’de standarttaki sınır değerlerle karşılaştırılmaktadır. Bunun sonucunda ise 1. ve 7. durumlardaki % d/v değerleri standarttaki sınırların üzerinde olduğundan, algoritma bozucu etkiyi çentik olarak algılamaktadır. Ancak Şekil 4.10’daki sinüs dalgası bir çentik etkisi içermemektedir. Yalnızca 7., 11. ve 15. harmonik bileşenlerini içermektedir.

Yapılan simülasyonlar sonucunda elde edilen verilerden çıkan sonuç, standarttaki çentik tanımı ve çentiğin tespiti için belirtilen kriterlerin her durumda yeterli seçiciliğe sahip olmadığıdır. Bunun neticesinde belirli harmonik bileşenlerin gerilimde bulunması halinde hatalı tespitlerin yapılması olasıdır. Böyle bir durumun önüne geçmek üzere algoritmaya Şekil 3.4’de görülen kırmızı ile işaretli işlem basamakları ilave edilmiştir.

Algoritmanın son hali Şekil 4.10’daki dalga formu ile test edilmiştir. 4. adıma kadar aynı işlem basamaklarını içeren algoritma 5. adımdan itibaren incelenmiştir. 5. adımda Şekil 4.11’de elde edilen harmonikli işaretin türevi alınmıştır. Bunun sonucunda Şekil 4.14’deki işaret elde edilmiştir.



Şekil 4.14: Harmonik işaretin türevi.

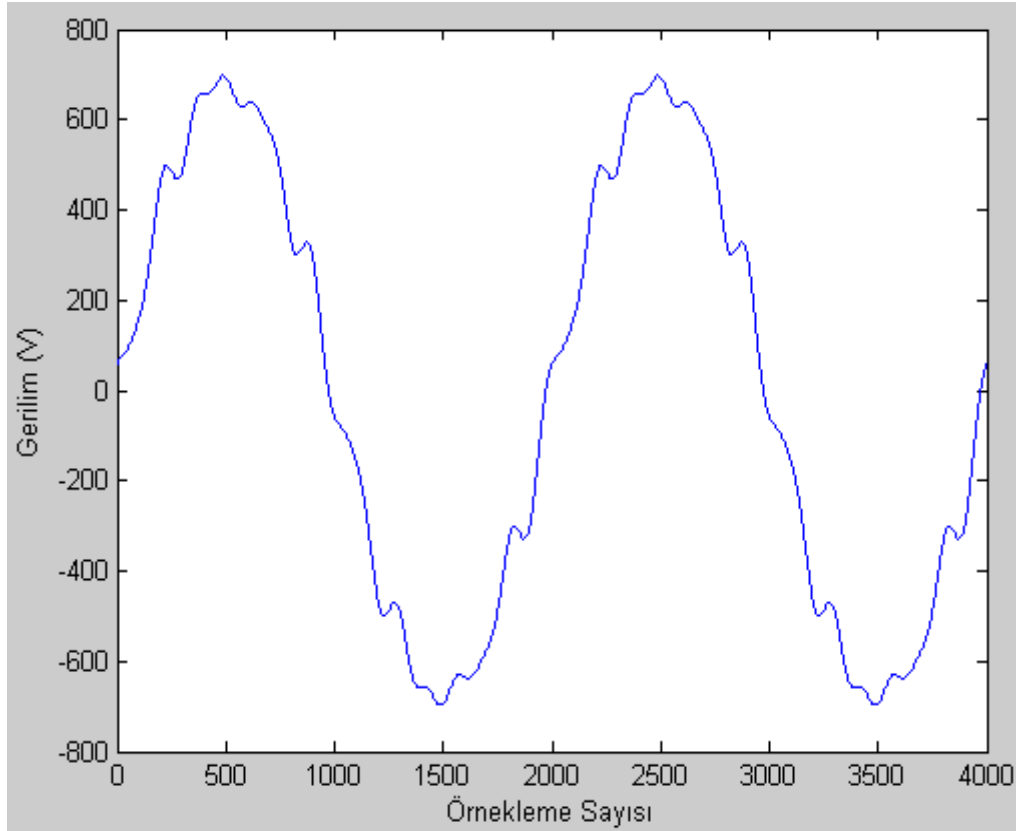
Bozucu etkilerin türevinin alınmasının ardından öncelikle türevi alınan dalganın RMS değeri hesaplanmış ardından ise bozucu etkileri içeren sinüs dalgasının RMS değerine göre normalize edilmiştir. Hesaplamalar sonucunda RMS_{bozucu} değeri 33,2768 volt olarak bulunmuştur. Normalizasyon işleminin ardından bulunan değer ise 6,9327’dir.

Bu hesaplamaların ardından algoritma 6,9327 değerini daha önceki simülasyonlardan edinilen tecrübeler sonucu bulunan 1,5 eşik değeri ile kıyaslamıştır. 6,9327 değeri 1,5'ten büyük bir değer olduğundan algoritma bu bozucu etkiyi çentik olarak görmemiştir.

Algoritmaya ilave edilen 5., 6., 7. ve 8. basamaklar ile harmonik bileşenli bozucu etkilerle çentik etkisini ayırt etmede başarı sağlanmıştır. Aynı zamanda süreç uzunluğu azaltılarak çentik etkisi olmayan bozucu bir etki için gereksiz hesaplamalar yapılmamaktadır. Bu sayede hem işlemci daha az yüklenmekte hem de algoritmanın karar verme zamanı azalmaktadır.

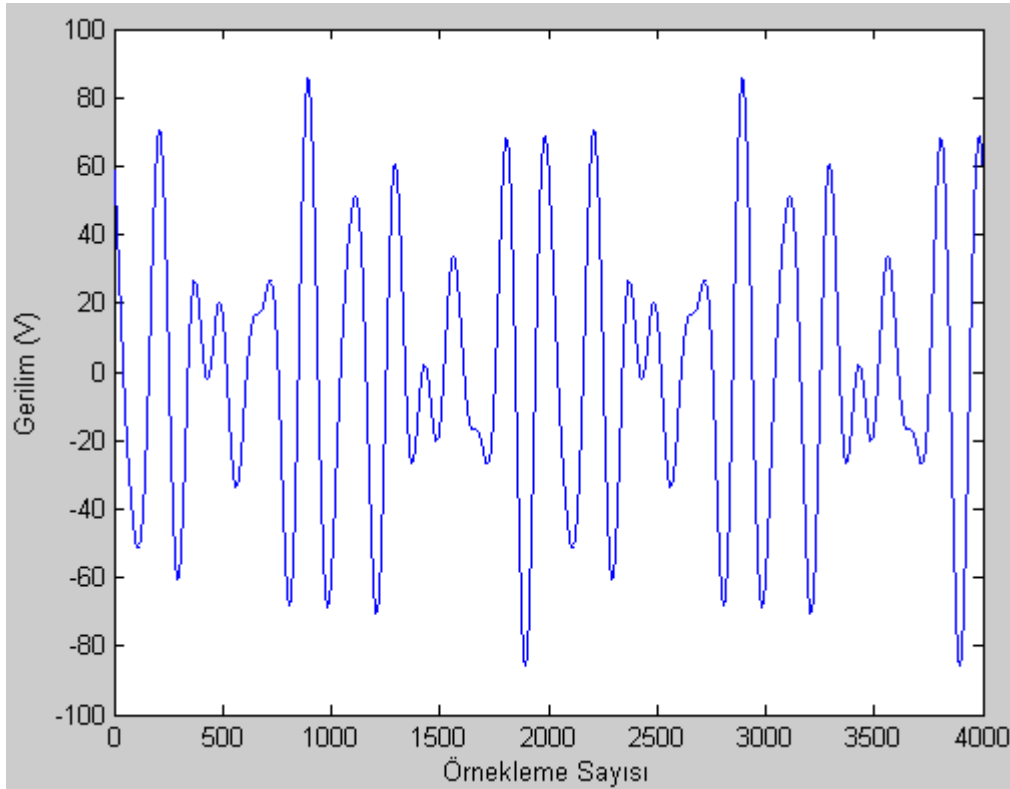
4.4 Çentik Benzeri Harmonikli Sinüs İle Algoritmanın Performans Analizi

Şekil 4.15 ile Şekil 4.2 karşılaştırıldığında aralarındaki benzerlik fark edilmektedir. Şekil 4.2'deki gerilim çökmeleri 3 fazlı kontrolsüz doğrultucunun faz geçişleri sırasındaki komütasyonlar neticesinde meydana gelmektedir. Ancak Şekil 4.15'de görülen gerilim çökmeleri 9. 11. ve 15. harmoniklerin birleşerek oluşturduğu bir bozulmanın neticesidir.



Şekil 4.15: Harmonikli gerilim dalgası.

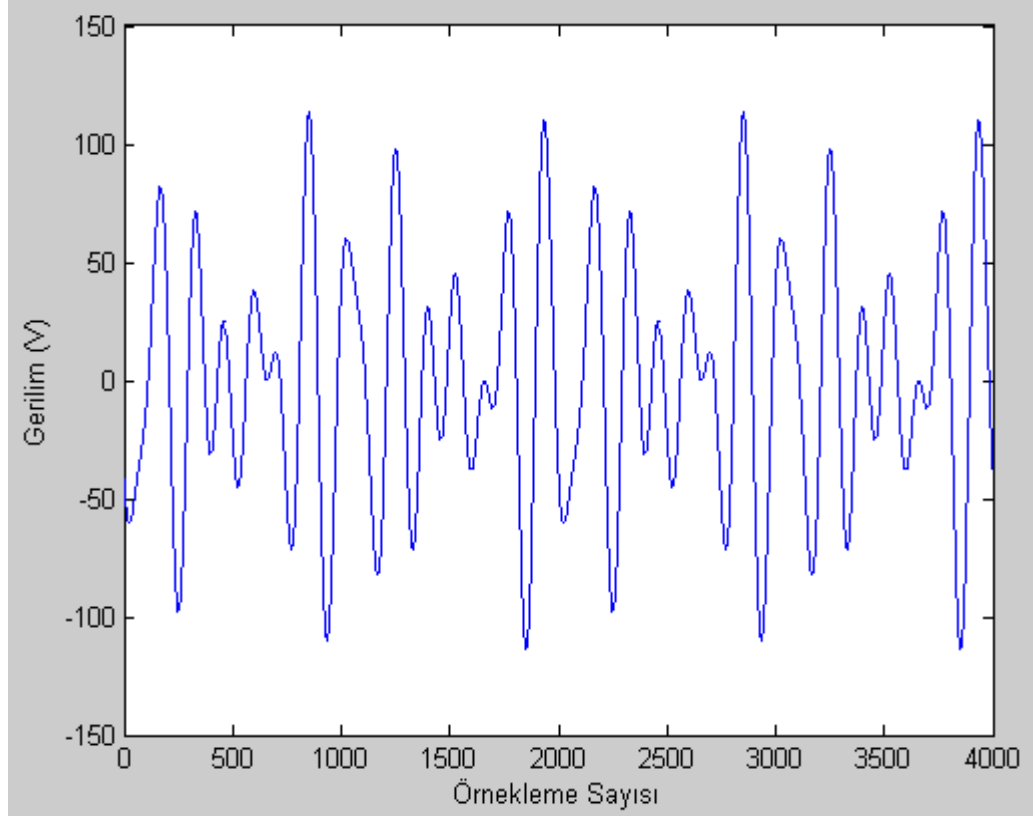
Bu durum sadece standarttaki üç kritere bakılarak değerlendirme yapıldığında harmoniklerin yol açtığı bozulmayla çentik etkisi neticesinde ortaya çıkan bozulmanın birbiriyle karıştırılabilmesine ve yeterli seçiciliğin sağlanamamasına sebep olmaktadır. Bunu önlemek için algoritmaya standartta bulunmayan ancak başka bozucuların çentik etkisiyle karıştırılmamasını sağlayan yeni bir madde konulmuştur. FormuŞekil 4.15’de görülen, üzerinde çalışılacak dalga şekli elde edilerek bir sonraki adımda bu dalganın temel bileşeni bulunup kendisinden çıkarılmıştır. Elde edilen işaret Şekil 4.16’da görülmektedir.



Şekil 4.16:Gerilim harmoniklerinin oluşturduğu işaret.

Sonraki adımda algoritmanın akışına göre Şekil 4.16’daki dalganın türevi alınmıştır. Şekil 4.17’de dalganın türevi alınmış hali görülmektedir.

Türevi Şekil 4.17’de görülen işaretin önce RMS değeri hesaplanmaktadır. Daha sonra hesaplanan bu RMS değeri şebeke gerilimine göre normalize edilmektedir. RMS hesabı sonucu elde edilen değer 50,9283 volt olmuştur. Harmonikli bileşenlerin türevinin RMS’i alındıktan sonra gerçekleştirilen normalizasyon işleminin sonucunda 10,6101 değeri hesaplanmıştır. Bu değer Şekil 4.6’da elde edilen türevi alınmış çentikli işaretin normalizasyon değerinden büyüktür. Çentikli işaretin türevinin normalizasyonu sonucu elde edilen değer 0,9742 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.17:Harmonikli işaretin türevi.

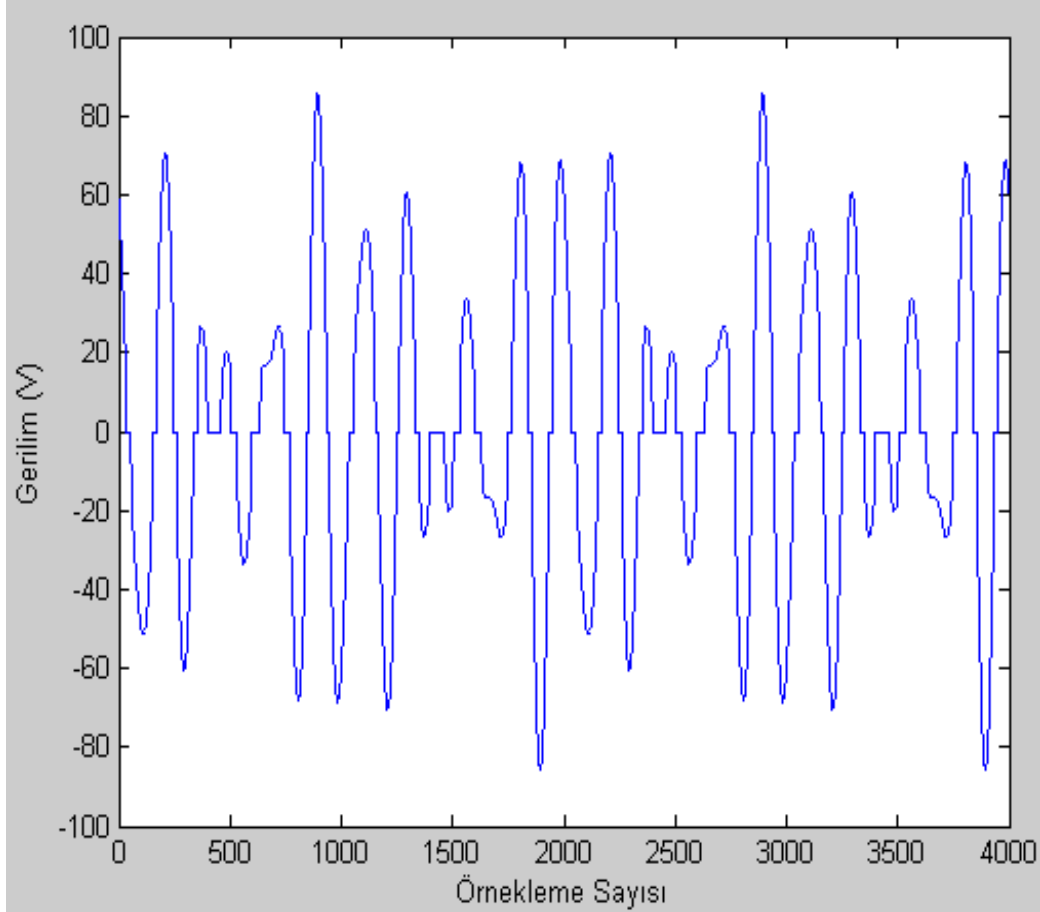
Değerlerin farklı bulunmasının temel nedeni gerilim çentiği olayının zaman göre hızlı bir değişim göstermesi, dolayısıyla türevinin de darbe şeklinde çubuklardan oluşmasıdır. Ancak harmoniklerin birer sinüs fonksiyonu olmasından ötürü türevi de birer sinüs fonksiyonu olmaktadır. Bu da iki dalga şeklinin birbirinden ayırt edilmesine yardımcı olmaktadır.

Bir sonraki adımda algoritma normalizasyon işlemi sonucunda elde edilen değeri daha önceden belirlenmiş bir değerle karşılaştırmaktadır. Bu değer 1,5 olarak seçildiği algoritma işleyiş basamaklarında belirtilmişti. Karşılaştırma işleminin neticesinde 10,6101 değeri 1,5’den büyük olduğundan algoritma harmonik bileşenler içeren bu bozucu etkiyi çentik olarak algılamamakta ve işleyişi icabı sonraki periyot için hesaplamalar yapmak üzere başa dönmektedir.

4.4.1Karşılaştırmalı performans analizi

Bu bölümde çentik tespiti yapılırken sadece standarttaki üç kritere bağlı kalınması halinde ortaya çıkacak sonuçlar adım adım incelenecek ve irdelenecektir. Bir önceki bölümde algoritma akışına göre Şekil 4.16’da elde edilen dalga şeklinin türevi alındıktan sonra RMS hesabı yapılmıştı. Bu bölümde standarttaki kriterlere ilave

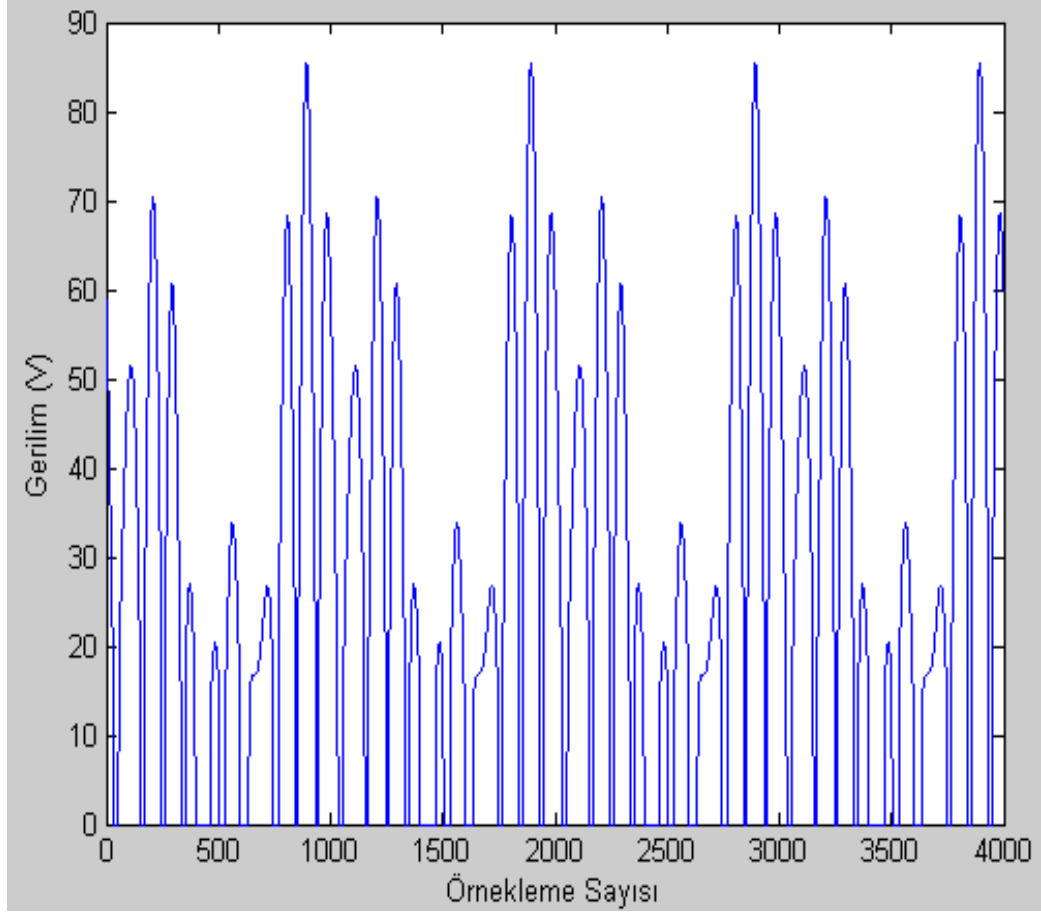
olarak konulan bu basamak atlanarak işlemlere algoritmanın 10. adımından devam edilmiştir. Şekil 4.16'daki şebeke gerilimini bozan harmonik bileşenler bulunduğundan sonraküçük genlikli bileşenlerfiltrelenmiştir. Filtreleme işleminin ardından elde edilen dalga formu Şekil 4.18'de görülmektedir.



Şekil 4.18: Küçük genlikli bileşenleri filtrelenmiş harmonik işareti.

Hesaplamalarda kolaylık sağlanması açısından yapılan filtreleme işleminin ardından Şekil 4.18'deki dalga formunun negatif genlikli bileşenleri pozitif genliğe çevrilmiştir. Şekil 4.19'da görülen negatif yarı periyottaki kısımları pozitif yarı periyoda alınan dalga şekli bir sonraki adımda alan hesaplamalarının yapılmasında kullanılacaktır.

Daha sonraki adımlarda algoritmanın 11. adımında elde edilen Şekil 4.19'daki negatif yarı periyottaki kısımları pozitif yarı periyoda çevrilmiş dalga kullanılarak, periyodiklik kontrolü ve standarttaki üç kriter için hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda dalganın periyodik olduğu tespit edilmiş ve Çizelge 4.4'de görülen veriler elde edilmiştir. Harmonik bileşenlerin frekansları yüksek olduğu için kriterlerin sonuçları şebeke geriliminin bir yarı periyotluk kısmı için verilmiştir.



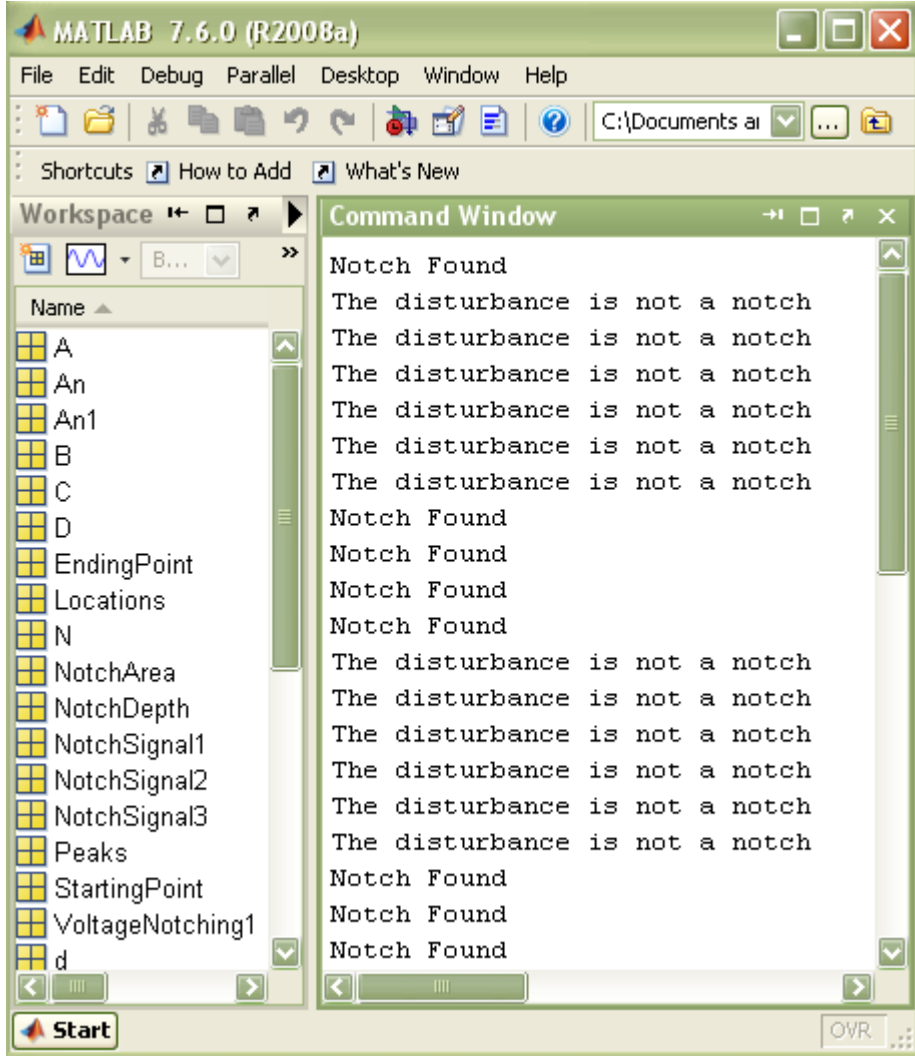
Şekil 4.19: Negatif genlikli kısımları pozitifte çevrilmiş harmonik dalgası.

Şebeke geriliminin bir yarı periyodundan sonra dalga şekilleri ve hesaplamalar kendini tekrar etmektedir.

Çizelge 4.4:Standarttaki kriterlerin harmonik bileşenlere uygulanması sonucu elde edilen değerler.

Bozucu sayısı	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
% d/v	28,82	14,59	12,66	4,13	2,90	5,34	4,86	21,35	27,64	212,28
AN	7772	7771	7749	7607	7774	7526	7644	7625	8828	7804
%THD _{maks}	2,46	2,46	2,46	2,43	2,46	2,42	2,44	2,44	2,62	2,47

Algoritma bir sonraki adımda Çizelge 4.4’de elde edilen değerleri standarttaki sınır değerlerle karşılaştırmıştır. Herhangi bir sınır değeri aşımı olmasaydı algoritma başa dönerek diğer periyotlar için hesaplamalarına devam edecekti. Ancak 1, 8, 9 ve 10 numaralı işaretlerin, standarttaki % d/vkriterinin sınır değerini aştığı görülmektedir. Bu nedenle bozucu etki algoritma tarafındançentik etkisi olarak algılanmıştır. İşlem sonucundaki ekran görüntüsü Şekil 4.20’de görülmektedir.



Şekil 4.20:Sinüs dalgasının bir periyodu için analiz programı ekran görüntüsü.

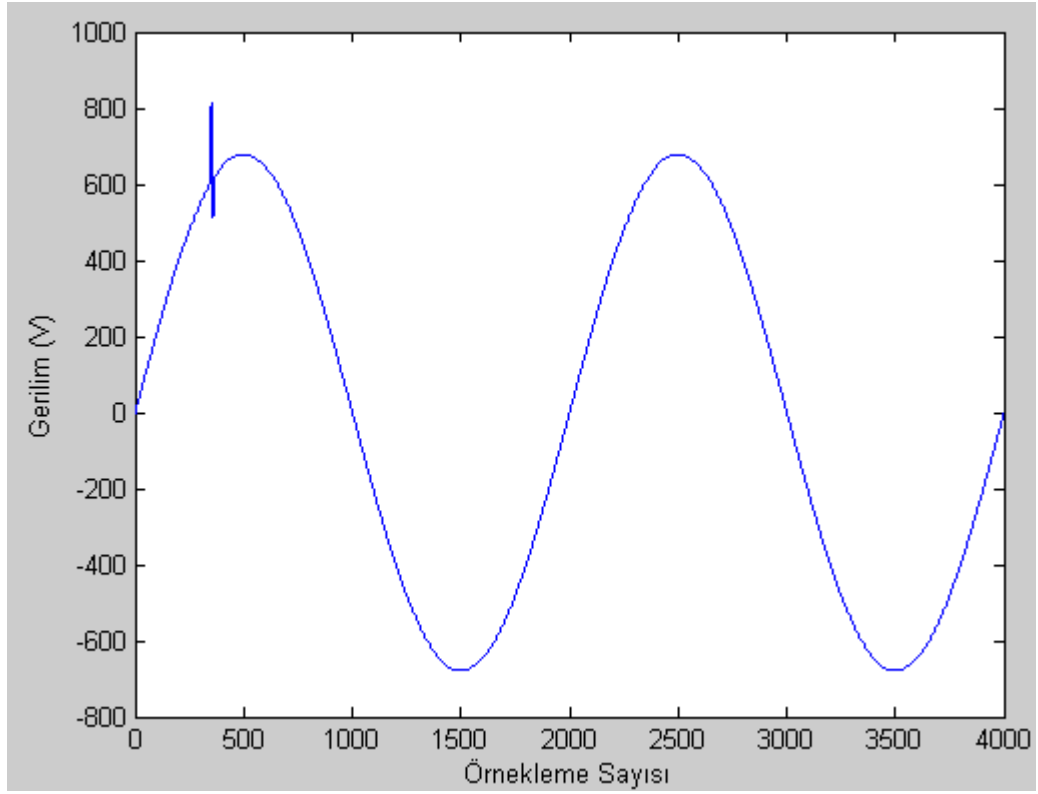
Yapılan simülasyonlar sonucunda sadece standarttaki kriterler göz önüne alınarak bir algoritma oluşturulduğunda yeterli seçicilik sağlanamamaktadır. Ancak algoritmaya 5., 6., 7. ve 8. basamaklar ilave edildiğinde sonuç olumlu olmakta ve istenilen seçicilik elde edilmektedir.

Sonraki bölümlerde algoritmanın bütünü simülasyon programında oluşturulan farklı tipte bozucular içeren dalga şekilleriyle test edilecektir.

4.5 Transiyent İçeren Gerilim Dalgasına Algoritmanın Cevabı

Transiyentler şebekede sıklıkla karşılaşılabilen bozucu etkilerden sayılabilir. Standardagöre darbe şeklindeki transiyentler genellikle 50 ns ile 1 ms arasında sürmektedir [2]. Bu bölümde algoritma sinüzoidal gerilimin üzerinde bulunan bir darbe sinyali ile test edilecektir. Bunun için Matlab ortamında darbe etkili sinüs

dalgaşı oluşturulmuştur. Beklenen sonuç, algoritmanın darbe etkisini çentik etkisi ile karıştırmamasıdır. Şekil 4.21’de oluşturulan gerilim işaretinin formu görülmektedir.

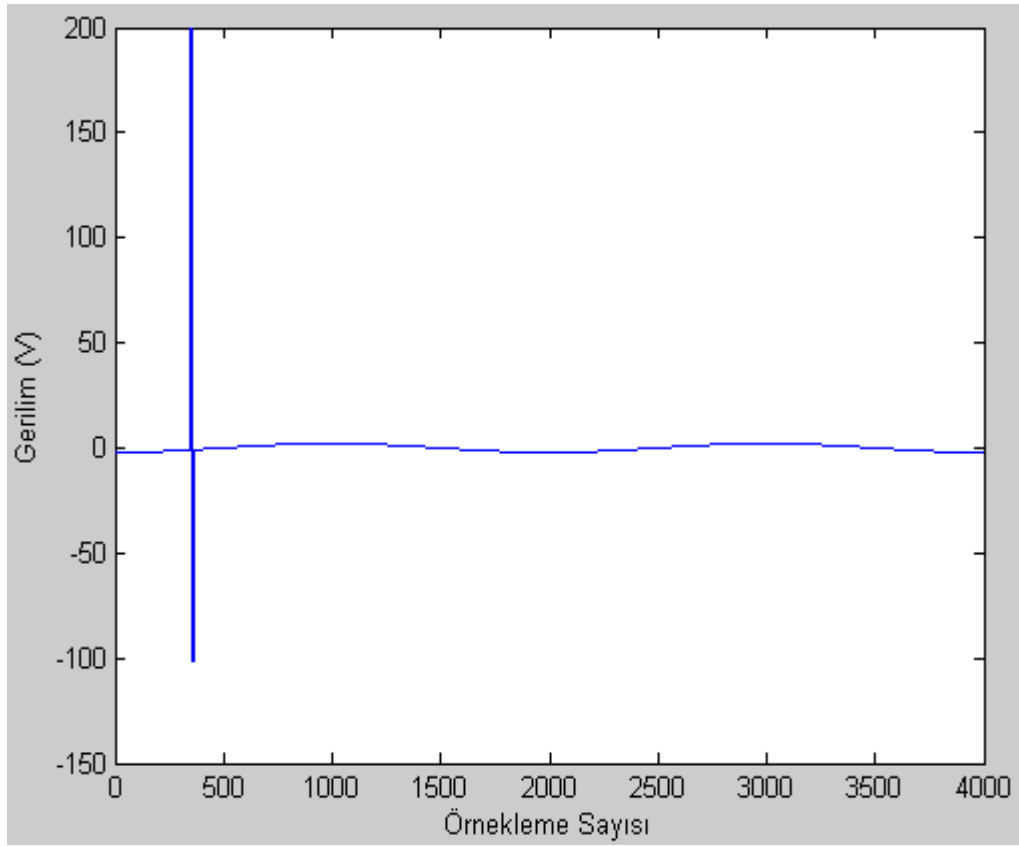


Şekil 4.21: Darbe etkisi barındıran gerilim dalgası.

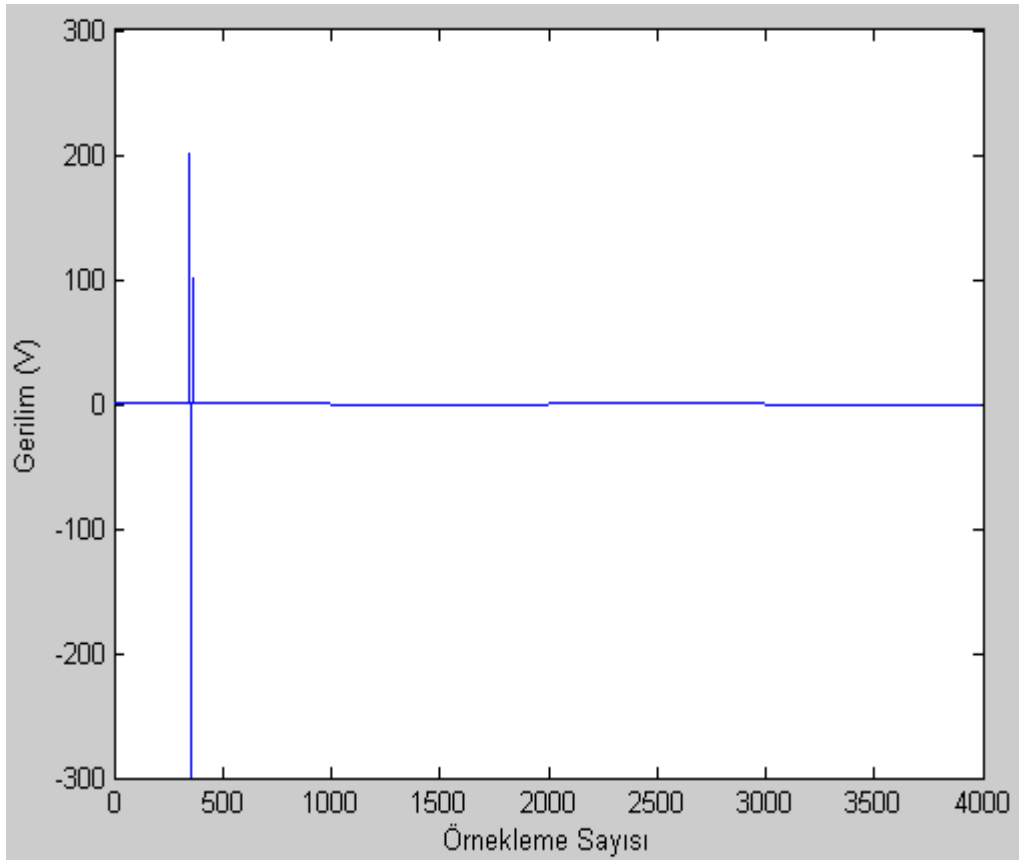
Şekil 4.21’deki dalga şekli elde edildikten sonra algoritmanın akışına göre, sinüs dalgasının temel bileşeni dalga şeklinin kendisinden çıkararak bozucu etki işareti bulunmaktadır. Bu işlem basamağının ardından elde edilen işaret Şekil 4.22’de görülmektedir.

Bozucu işaret elde edilmesinin ardından bir sonraki işlem basamağına geçilerek bu işaretin türevi alınmaktadır. Türev alma işlemi sonrasında elde edilen dalga formu Şekil 4.23’de verilmiştir.

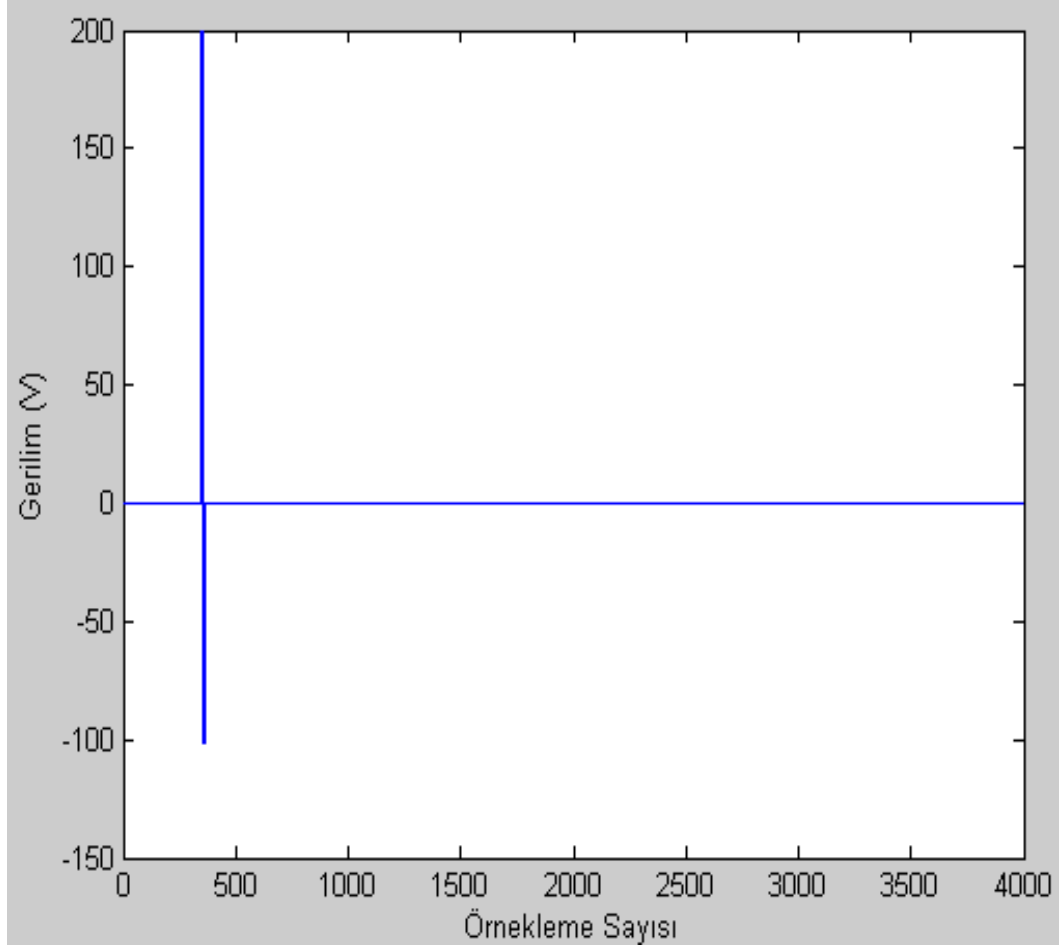
Türev alma işleminin ardından algoritma bir sonraki basamağına geçerek elde edilen işaretin RMS değerini hesaplamaktadır. Hesaplamalar sonucunda RMS değeri 5,9168 V olarak bulunmuştur. Bu değer hesaplanmasının ardından normalizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak 1,2327 değeri hesaplanmıştır. Bu değer 1,5 değerinden küçüktür. Bu nedenle 9. adımda algoritma bir sonraki işlem basamağı için devam etmektedir. 10. adımda Şekil 4.22’de görülen darbe işaretinin küçük genlikli bileşenleri filtrelenmektedir. Elde edilen işaret Şekil 4.24’de görülmektedir.



Şekil 4.22: Darbe işareti.



Şekil 4.23: Darbe işaretinin türevi.

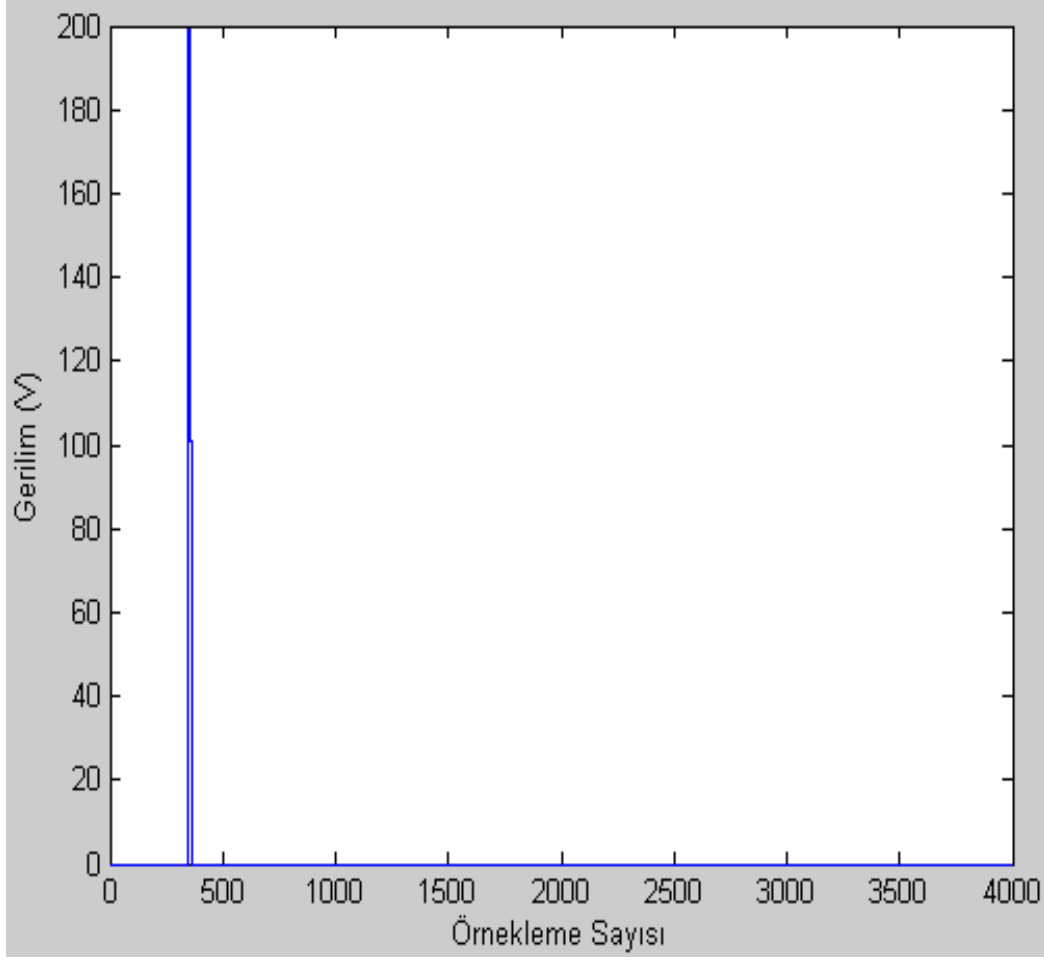


Şekil 4.24:Filtrelenmiş darbe işareti.

Filtreleme işleminin ardından bir sonraki işlem basamağı gereği elde edilen işaretin negatif genlikli kısımları pozitifte çevrilmektedir. Şekil 4.25’de mutlak değeri alınmış darbe işareti görülmektedir.

Şekil 4.25’de elde edilen işaretin ardından bir sonraki işlem basamağında mutlak değeri alınmış darbe işaretinin derinlik hesaplaması (% d/v) yapılmıştır. Hesaplama neticesinde % d/v değeri 24,5604 olarak bulunmuştur. Bu işlemin hemen ardından bir sonraki basamakta algoritma % d/v değerinin periyodikliğine bakmaktadır.

Elde edilen % d/v değeri yalnız bir kere hesaplanmıştır. Ancak standart çentik etkisinin periyodik olarak devam eden bir bozucu etki olduğunu söylemektedir [2]. Bu nedenle oluşturulan algoritma hesaplanan derinlik değerinin minimum 4 kez kendini tekrar etmesini beklemektedir. 4 periyot kendini tekrar etmeyen işaretler çentik etkisi olarak algılanmamaktadır. Bu örnekte işaret kendini yalnızca bir defa tekrar ettiğinden, algoritma işareti çentik etkisi olarak algılamayarak uyarı vermemiştir.

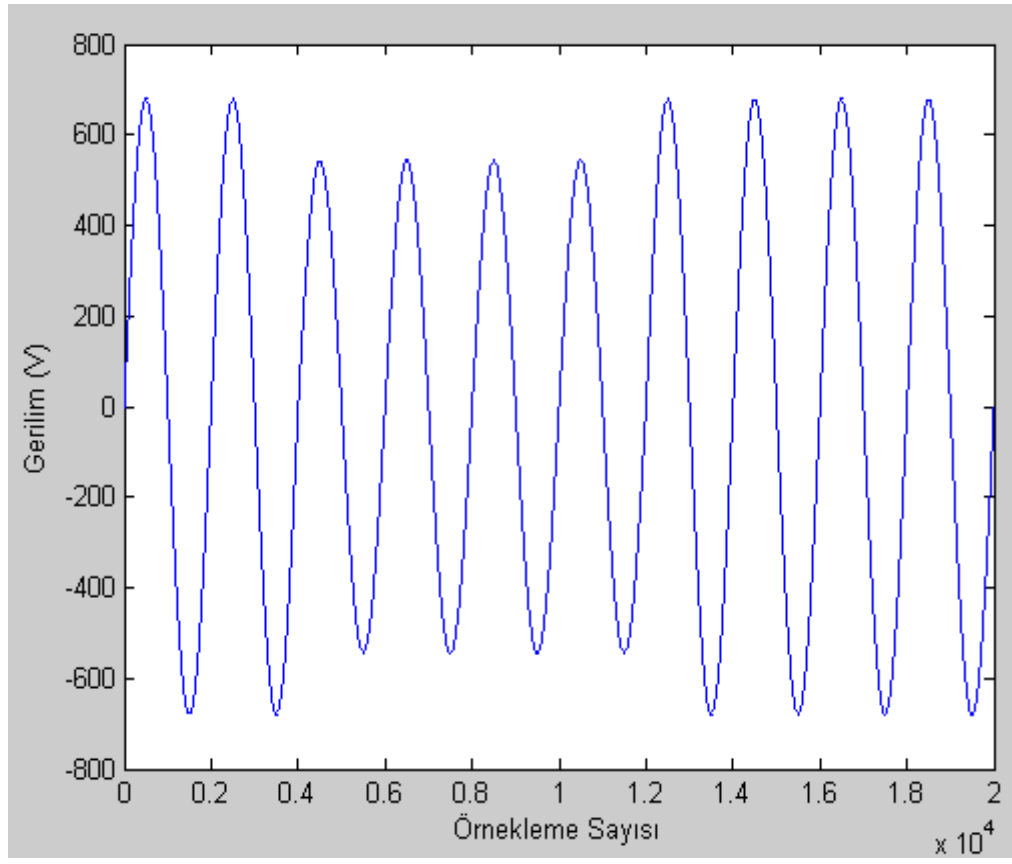


Şekil 4.25: Mutlak değeri alınmış darbe işareti.

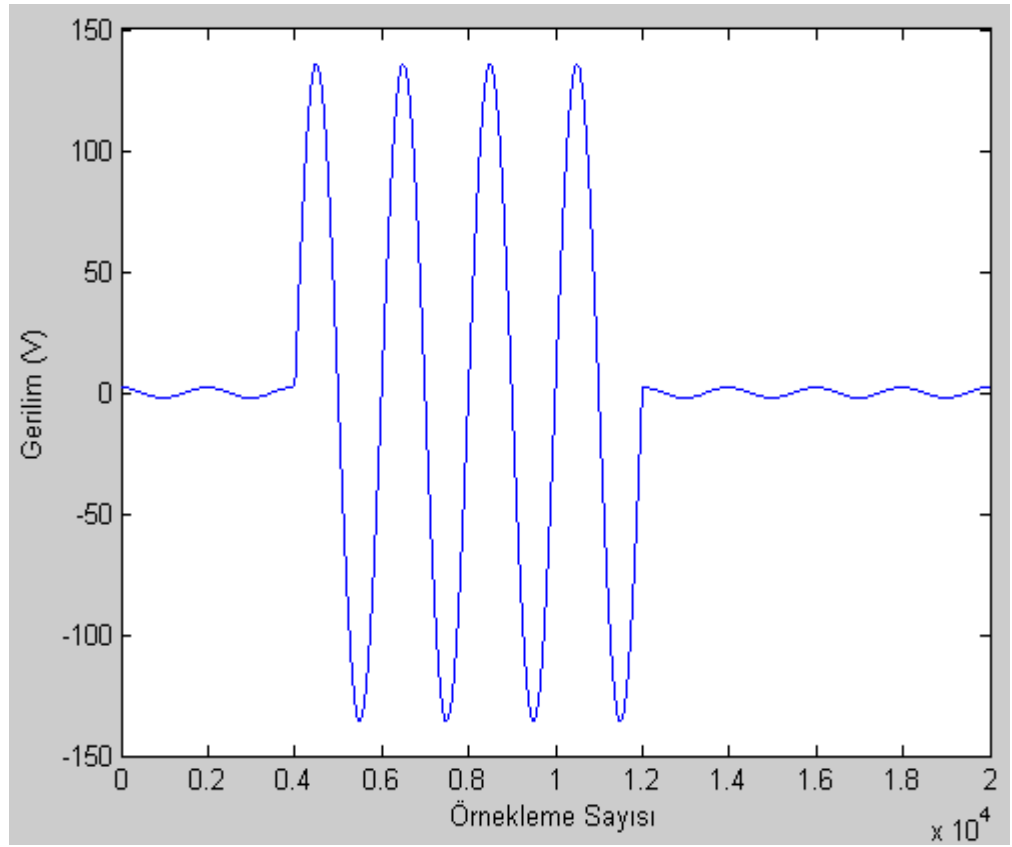
4.6 Gerilim Çökmesi İçeren Gerilim Dalgasına Algoritmanın Cevabı

Transiyent olaylar gibi birkaç periyotluk gerilim çökmeleri (voltage sag) ve yükselmeleri de şebekede sıklıkla karşılaşılabilen, güç kalitesini olumsuz yönde etkileyen olaylardandır. Bu nedenle geliştirilen algoritma gerilim çökmesi ile de test edilmiştir. Standartta gerilim çökmesinin karakteristiği temel olarak tarif edilmiştir [2]. Bu tarifler çerçevesinde Şekil 4.26’da görülen dalga formu oluşturulmuş ve algoritmanın testi bu dalga şekli kullanılarak yapılmıştır.

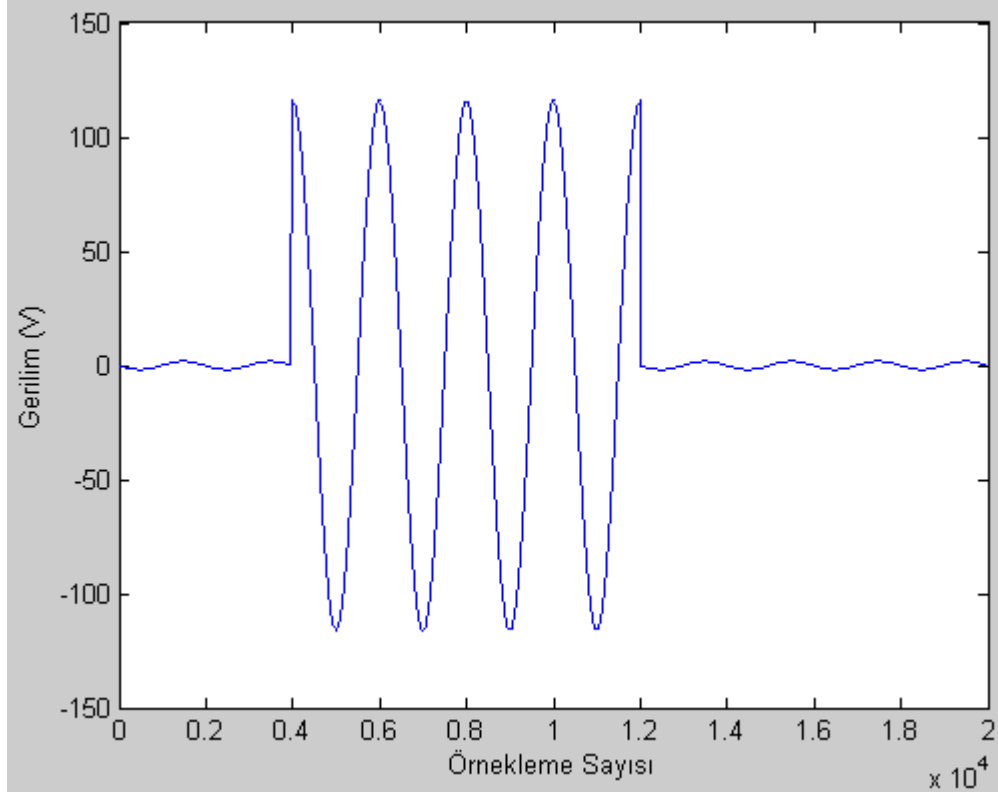
Algoritma işlem basamaklarına göre Şekil 4.26’daki dalga şeklinden temel bileşenin çıkarılmasıyla gerilim çökmesi durumunu oluşturan dalga şekli elde edilmiştir. Gerilim çökmesi dalga formu Şekil 4.27’de görülmektedir. Ardından bir sonraki işlem basamağında bozucu etkinin türevi alınarak RMS hesapları yapılmaktadır. Bozucu işaretin türevi Şekil 4.28’deki gibidir.



Şekil 4.26: Gerilim çökmesi.



Şekil 4.27: Gerilim çökmesine neden olan işaret.



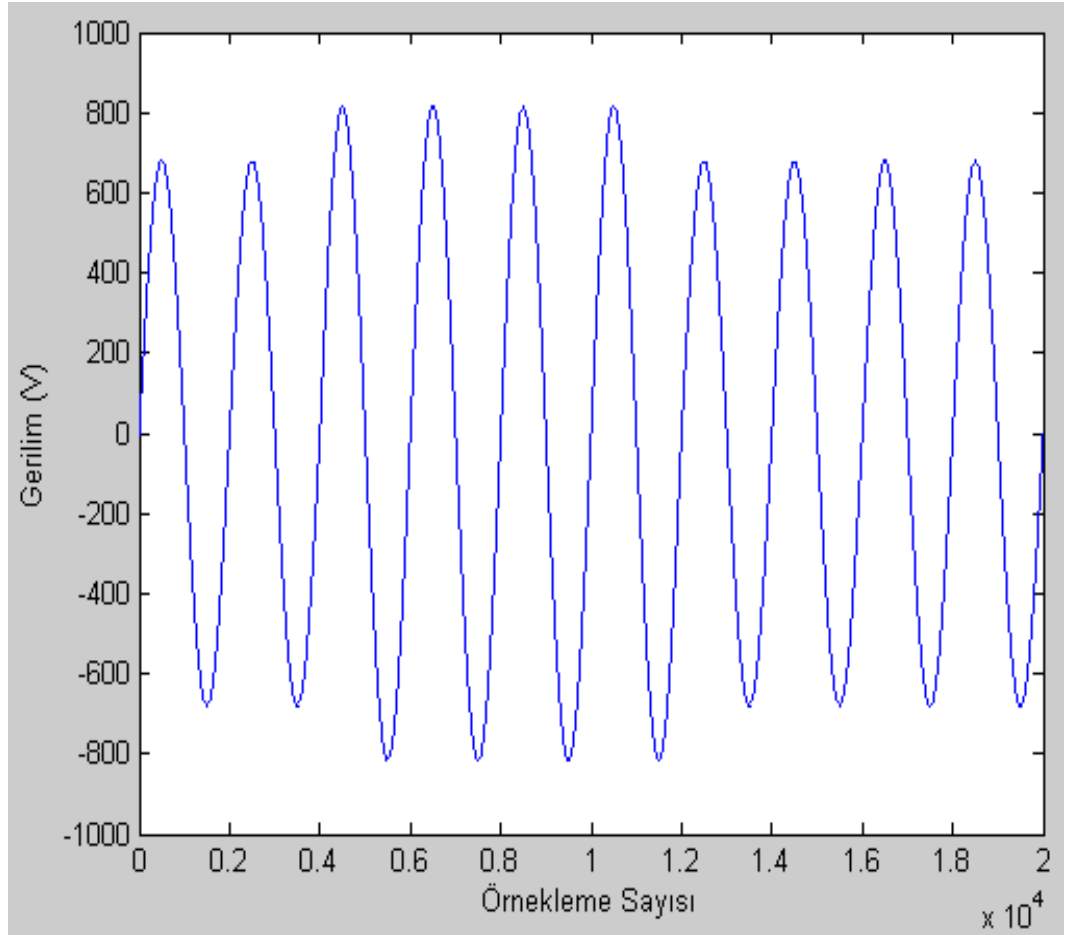
Şekil 4.28: Türevi alınmış gerilim çökme işareti.

Yapılan hesaplamalarda bozucu dalga formunun türevinin RMS değeri 51,8136 V bulunmuştur. RMS değerinin bulunmasının ardından yapılan normalizasyon işleminin sonucunda ise 10,7945 değeri elde edilmiştir. Normalizasyon işlemi için yapılan hesaplamaların ardından algoritma, bulunan değerle önceden belirlenmiş değeri karşılaştırmaktadır. 10,7945 değeri algoritmanın karşılaştırma değeri olan 1,5'ten büyüktür. Bu nedenle bir sonraki işlem basamağında algoritma bozucu etkinin çentik olmadığına karar vermekte ve sonraki periyotlar için işlemlere devam etmektedir.

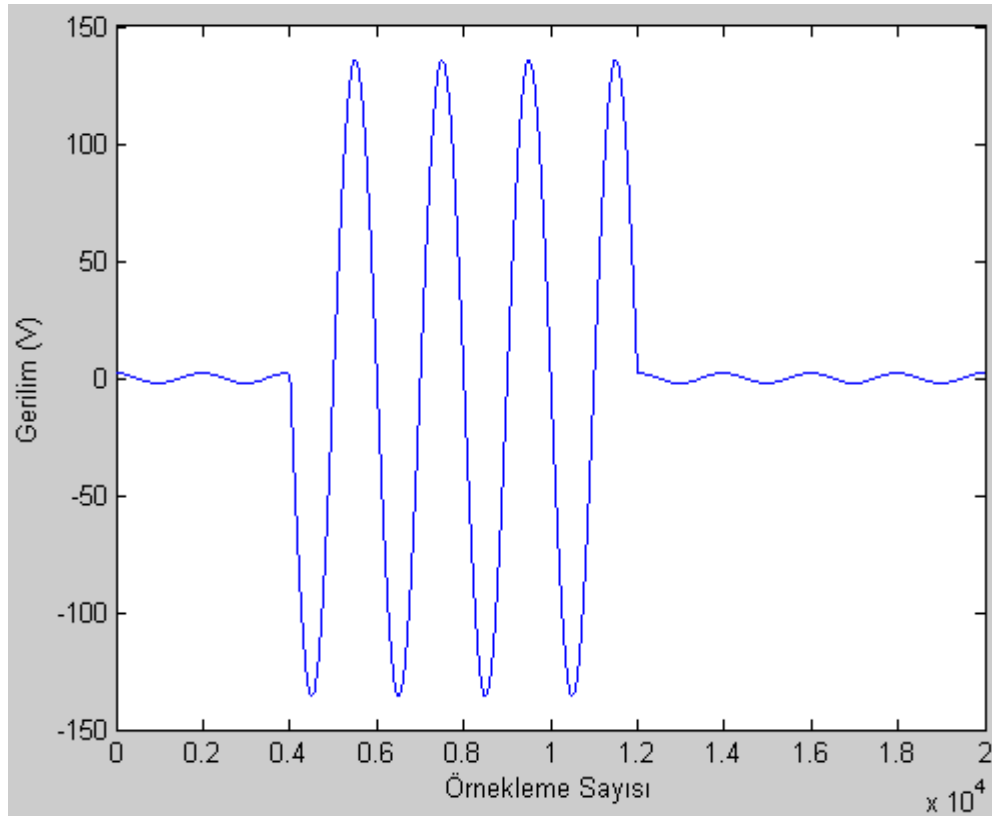
4.7 Gerilim Yükselmesi İçeren Gerilim Dalgasına Algoritmanın Cevabı

Gerilim yükselmesi (gerilim şişmesi, voltage swell) de gerilim çökmesi gibi şebekede karşılaşılabilen ve standartta gerilim çökmesi ile aynı başlık altında sınıflandırılan bir diğer bozucu etkidir [2]. Bu nedenle geliştirilen algoritma gerilim çökmesinin ardından gerilim yükselmesi ile de test edilmiştir. Test için Matlab kullanılarak Şekil 4.29'daki gerilim yükselmesi içeren dalga şekli oluşturulmuştur. Ardından bu dalga şekli algoritmaya girilmiştir. Öncelikle bozucu etki içeren sinüs dalgasının temel bileşeni bulunup kendisinden çıkartılarak bozucu etki bulunmuştur.

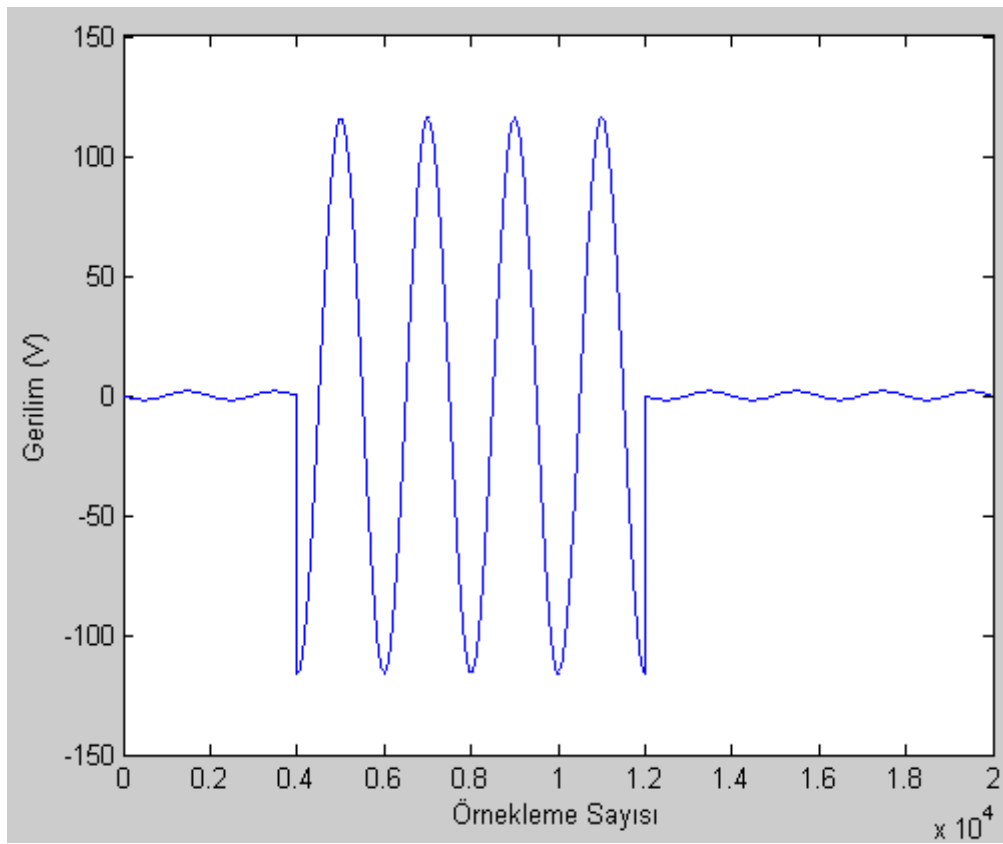
Bulunan dalga formu Şekil 4.30’da görülmektedir. Bir sonraki işlem basamağında Şekil 4.30’da elde edilen bozucu etkinin türevi alınmıştır. Bozucu etkinin türevi alındıktan sonra elde edilen dalga formu Şekil 4.31’deki gibidir. Türev işleminin ardından türevi alınan dalganın RMS değeri hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda 51,8187 V değeri elde edilmiştir. RMS değerinin hesaplanmasından sonra normalizasyon işlemi gerçekleştirilmektedir. Örnek dalga formu için yapılan normalizasyon işleminin sonucunda 10,7956 değeri elde edilmiştir. Bir sonraki adımda algoritma elde edilen 10,7956 değeri ile önceden belirlenmiş 1,5 değerini karşılaştırmaktadır. Hesaplamalar sonucunda elde edilen değer 1,5 değerinden büyük olduğundan, algoritma bozucu etkiyi çentik etkisi olarak görmemiştir ve sonraki periyotlar için işlemlere devam etmek üzere başa dönmüştür.



Şekil 4.29: Gerilim yükselmesi bulunan sinüs dalgası.



Şekil 4.30: Bozucu dalga şekli.



Şekil 4.31: Türevi alınmış dalga şekli.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada IEEE Std 519-1992 ve IEEE Std 1159-2009 standartları dikkate alınarak, gerilim çentiği tespiti için yeni bir algoritma tasarlanmıştır. Buna ilaveten standartlarda çentik etkisini tanımlayan ve çentiği tespit etmek için ortaya konulmuş kriterlerin de bazı durumlarda yetersiz kaldığı gösterilerek, bu konuda da standarttaki kriterlere ek olarak çözüm önerisi sunulmuştur.

Literatürde gerilim çentiği tespiti için genellikle, frekans bileşenlerini zaman boyutunda da ortaya koyabildiği için dalgacık dönüşümü yöntemi tercih edilmiştir. Ancak bu yöntemde, işlenen dalga içerisinde olmayan, yöntemden kaynaklı olarak ortaya çıkan bazı frekans bileşenleri olabilmektedir. Ayrıca çentik etkisi olmayan ancak çentik etkisine yakın frekanslarda bulunan benzer olayları da çentik etkisiyle karıştırmak mümkün olabilmektedir. İlaveten, literatürdeki çalışmalar incelendiğinde büyük çoğunluğunda çentik etkili bir sinüs dalgası oluşturulduğu, daha sonra bu işaretin dalgacık dönüşümü yöntemiyle analiz edildiği ve farklı frekans kümelerine ayrılıp uygun olanının çentik etkisi barındıran kısım olarak belirtildiği görülmüştür. Ancak elde edilen çentik işareti üzerinde standartta belirtilen kriterler doğrultusunda herhangi bir hesap yapıp, limit değerlerle kıyaslama yapılmamıştır. Bu ise çalışmaların ortak eksikliği olarak görülmüştür. Bu çalışmada ise literatürdeki yöntemlerden bağımsız olarak özünde, süperpozisyon ve normalizasyon yöntemleri uygulanarak çentik tespiti yapabilen bir algoritma geliştirilmiştir.

Algoritma oluşturulurken en kısa yoldan çentik etkisini tespit etmeye ve gereksiz işlem basamakları sonucunda işlemciye yük getirmemeye çalışılmıştır. Bununla birlikte çentik etkisi dışında güç kalitesini bozan farklı bir olayla karşılaşıldığında, algoritmanın bunları algılayıp ayırt etmesi de öncelikli olarak dikkat edilen hususlardan biridir.

Geliştirilen algoritma, sağlıklı çalışıp çalışmadığının tespiti için öncelikle çentik etkisi barındıran bir sinüs dalgası ile test edilmiştir. Test sonucunda algoritmanın çentik etkisini tespit ettiği görülmüştür. Ardından farklı tipteki güç kalitesini bozan olaylarla test işlemine devam edilmiştir. Harmonik etkiler içeren sinüs dalgası ile

yapılan testlerde, standartta belirtilen kriterler dikkate alınarak geliştirilen algoritmanın çentik etkisini bazı bozucu etkilerden ayırt etmekte yetersiz kaldığı görülmüştür. Bunun üzerine oluşturulan algoritmaya ek işlem basamakları ilave etmek suretiyle algoritmanın çentik etkisi ile harmonikli bozucuları başarılı bir şekilde ayırt etmesi sağlanmıştır.

Algoritmanın harmonikli bozuculara karşı test edilmesinden sonra transiyent testi ile işlemlere devam edilmiştir. Standartta belirtilen şekilde bir transiyent simülasyonu yapılmış ve test işlemi bu dalga şekliyle gerçekleştirilmiştir. Yine standartta çentik etkisinin periyodik bir olay olduğu belirtilmektedir [2]. Bu noktadan hareketle transiyent olayı periyodik olmadığından algoritma bu bozucu etkiyi de çentik etkisinden başarıyla ayırt etmiştir.

Bir sonraki test işleminde birkaç periyotluk gerilim düşmesi (voltage sag) simüle edilerek işlemlere devam edilmiştir. Gerilim düşmesi olayı şebekenin sinüzoidal formda olan yapısını değiştirmedığından algoritma bu bozucu etkiyi de çentik etkisinden başarıyla ayırt edebilmiştir. Benzer şekilde bir sonraki test işleminde birkaç periyotluk gerilim yükselmesi (voltage swell) simüle edilerek kullanılmıştır. Yapılan performans analizinin sonucunda gerilim çökmesiyle benzer şekilde gerilim yükselmesinde de sinüs işaretinin sinüzoidal formunda belirgin bir değişim olmadığından algoritma çentik etkisiyle bu bozucu etkiyi de başarıyla ayırt etmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **IEEE Std 519-1992.** (1992). IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality. IEEE, New York, USA.
- [2] **IEEE Std 1159-2009.** (2009). IEEE recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems. IEEE, New York, USA.
- [3] **Utility Systems Technologies Inc.**(2009). Power Quality Basics. Alındığı tarih: 1 Nisan 2013, adres: <http://ustpower.com/Files/Power%20Quality%20Basics%200809.pdf>.
- [4] **Chen-Wen Lu ve Shyh-Jier Huang.** (2004). An Application of B-Spline Wavelet Transform for Notch Detection Enhancement. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 19, No. 3.
- [5] **Lachman, T., Memon, A. P., Mohamad T. R., Memon, Z. A.** (2010). Detection of Power Quality Disturbances using Wavelet Transform Technique. International Journal For The Advancement Of Science Arts, Vol. 1, No. 1.
- [6] **Ghaemi, A. H., Askarian Abyaneh H., Mazlumi, K., Sadeghi, S. H. H.** (2007). Voltage Notch Indices Determination Using Wavelet Transform. Power Tech, IEEE Lausanne.
- [7] **Tarasiuk T., Szweda M.** (2004). A Few Remarks About Notching Analysis-Case Study. IMEKO-TC4-2004-088.
- [8] **Barros, J., Apraiz, M., Diego, R. I.** (2008). Voltage Notch Detection and Analysis Using Wavelets. VECIMS 2008 – IEEE International Conference on Virtual Environments, Human-Computer Interfaces, and Measurement Systems.
- [9] **Bayhan, S. ve Yılmaz, D.** (t.y.). Güç Sistemlerindeki Dalga Şekli Bozukluklarının Tespiti.
- [10] **Andami, H., Jalilian, A.** (2003). Voltage Notch Detection Using Fuzzy Expert System. CCECE, IEEE, Montreal.
- [11] **Ghandehari, R., Sholuaie, A., Habibinia, B.** (2007). The Problems of Voltage Notch Phenomena in Power AC/DC Converters. UPEC, IEEE.
- [12] **Borbuev, A.** (2012). Design of A New Algorithm to Detect Voltage Notching. İTÜ, Lisans Tezi.
- [13] **Şen, F.** (2012). Dalgacık Dönüşümü Yöntemi Kullanarak Gerilim Çentigi Algılama Algoritması Tasarımı. İTÜ, Lisans Tezi.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad:Koray ERHAN

Doğum Yeri ve Tarihi:Ankara 1987

E-posta:korayerhan@itu.edu.tr, koray.erhan@kocaeli.edu.tr

Lisans:Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü



TEZDEN TÜRETİLEN YAYIN:

Erhan K., Usta Ö., Yumak K., Borbuev A., 2012: Gerilim Çentiği Tespiti İçin Yeni Bir Algoritma Tasarımı. Ulusal Sempozyum – ELECO Aralık 2012 Bursa, TÜRKİYE.