

**T.C.
TUNCELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**VERİ MADENCİLİĞİ YÖNTEMLERİ İLE GÜÇ KALİTESİ VERİLERİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Vedat TÜMEN

Anabilim Dalı: Elektrik - Elektronik Mühendisliği

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ERİŞTİ

ŞUBAT - 2013

**T.C.
TUNCELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**VERİ MADENCİLİĞİ YÖNTEMLERİ İLE GÜÇ KALİTESİ VERİLERİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Vedat TÜMEN

(092103107)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 07.02.2013

Tezin Savunulduğu Tarih: 07.02.2013

Tez Danışmanı: Yrd. Doç .Dr. Hüseyin ERİŞTİ (T.Ü.)
Diğer Jüri Üyeleri: Yrd. Doç. Dr. Zeki OMAÇ (T.Ü.)
Doç Dr. Sami EKİCİ (F.Ü.)

ŞUBAT - 2013

Vedat TÜMEN tarafından hazırlanan ‘‘Veri Madenciliği Yöntemleri İle Güç Kalitesi Verilerinin İncelenmesi’’ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ERİŞTİ
Tez Yöneticisi

Bu alıŐma, jürimiz tarafından oy birliği/~~oy okluğu~~ ile Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. Bu tez, Tunceli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

BaŐkan : Doç. Dr. Sami EKİCİ (F.)



ye : Yrd. Doç. Dr. Zeki OMAÇ (T.)



ye : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ERİŞTİ (T.)



Tarih : 7 Şubat 2013

ÖNSÖZ

Gün geçtikçe gelişen teknoloji sistemlerdeki yüklerde çeşitlilik artmıştır. Gelişen teknoloji ile oluşan sistemlerde doğrusal olmayan yüklerde büyük miktarlarda artış olmuştur. Güç kalitesi problemleri, sistem üzerindeki elemanlarda ve sisteme bağlı yüklerde; arıza ve hatalı çalışma gibi olumsuz durumlar oluşturmaktadır. Güç kalitesinin artırmak için gelişen teknoloji ile elektrik enerjisinin yoğun olarak kullanıldığı tüm alanlarda güç ölçümü, analizi ve gerekirse akıllı teknolojilerle filtreleme yapılmalıdır.

Bu tezde, güç kalitesi alanında yapılan çalışmaların gelişmesine yönelik ve veri madenciliği alanında yapılan çalışmalara katkılarda bulunmak üzere, bir harmonik izleme sistemi sunulmuştur.

Tez çalışması süresince tamamlanan YLTUB011-10 no'lu Yüksek Lisans tez projesinde, destek veren Tunceli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne Tunceli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dağıtım panosunun harmonik değerlerin ölçümlerinin elde edilmesi için gösterdikleri destek ve yardımlardan dolayı teşekkür ederim.

Bu tez çalışması süresince bilgi ve tecrübesiyle yardımlarını esirgemeyen, tez çalışmamda cesaretlendirici ve yol gösterici tavsiyelerde bulunan çok değerli danışmanım, Sayın Yrd. Doç.Dr. Hüseyin ERİŞTİ'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım boyunca bana büyük katkısı ve yönlendirmesi olan ve bilgisiyle beni her zaman şaşırtan değerli hocam, meslektaşım, mesai arkadaşım Sayın Öğr. Gör. Özal YILDIRIM'a, çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışmam süresinde, dünyaya gözlerini açan biricik oğlum Berhan Emir'in, bir gülümsemesi ile bana büyük bir manevi destek sağlaması, en güzel anılarımı oluşturmuştur. Eşim Tuğba TÜMEN, bu tez süresince çekilmez yanıma katlanıp manevi desteklerini esirgememesi ile bana büyük bir katkı sağlamıştır. Ayrıca, benim bu aşamalara gelmemde çok büyük emeği olan anneme ve babama saygılarımı sunar ve teşekkürü bir borç bilirim.

Vedat TÜMEN
TUNCELİ – 2013

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET	IV
SUMMARY	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLOLAR LİSTESİ	VII
KISALTMALAR LİSTESİ	VII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tezin Amacı	2
2. VERİ MADENCİLİĞİ.....	5
2.1. Veri Madenciliğinin Tarihçesi	5
2.2. Veri Madenciliğinin Tanımları	5
2.3. Veri Madenciliğinin Uygulama Alanları	7
2.4. Veri Madenciliğinin Süreci	10
2.4.1. Problemin Tanımlanması	10
2.4.2. Verilerin Hazırlanması	11
2.4.2.1. Toplama	11
2.4.2.2. Birleştirme ve Temizleme	11
2.4.2.3. Dönüştürme	12
2.4.3. Modelin Kurulması ve Değerlendirilmesi	12
2.4.4. Modelin Kullanılması	13
2.4.5. Modelin İzlenmesi	13
2.5. Veri Madenciliğinde Kullanılan Modeller	13
2.6. Veri Madenciliğinde Kullanılan Algoritmalar	14
2.7. Kümeleme Yöntemi	15
2.7.1. Kümeleme Yönteminin Avantajları	16
2.7.2. Kümeleme Yönteminin Zayıflıkları	16
2.7.3. Hesaplama Kullanılan Ölçütler	16
2.7.4. Kümeleme Metotları	17
2.7.4.1. Bölünmeli Metot	17
2.7.4.2. Hiyerarşik Metot	17
2.7.4.3. Yoğunluk Bazlı Metot	18
2.7.4.4. Grid Bazlı Metot	18
2.7.4.5. Model Bazlı Metot	18
2.7.5. K-Means Algoritması	19
2.7.6. Öklid Uzaklığı ve Karesi	21
2.7.7. Manhattan Uzaklık Formülü	21
2.8. Sınıflandırma ve Tahmin Yaklaşımı	22
2.8.1. Karar Ağaçları Algoritması	23
2.8.1.1. J48 Algoritması	25
2.8.1.2. Logistic Model Trees (LMT) Algoritması	26
2.8.2. Yapay Sinir Ağları Algoritması	27
2.8.2.1. Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) Algoritması	28

2.8.2.2.	Radyal Tabanlı Fonksiyon Ağı (RBF Network) Algoritması	29
3.	HARMONİKLER	32
3.1.	Harmoniklerin Tanımı	33
3.2.	Harmonik Üreten Elemanlar	34
3.2.1.	Transformatörlerde Harmonikler	35
3.2.2.	Döner Makinelerde Harmonikler.....	36
3.2.3.	Güç Elektroniği Harmonikleri.....	36
3.2.4.	Ark Fırınları Harmonikleri.....	36
3.2.5.	Kesintisiz Güç Kaynağı Harmonikleri.....	36
3.2.6.	Gaz Desajlı Aydınlatma Harmonikleri	37
3.3.	Harmoniklerin Meydana Getirdikleri Etkiler	37
3.3.1.	Akım Harmoniklerin Etkileri	37
3.3.2.	Gerilim Harmoniklerin Etkileri.....	37
3.4.	Harmoniklerin Rezonans Etkisi	39
3.5.	Harmoniklerin Matematiksel Analizi	39
3.5.1.	Fourier Analizi	40
3.5.1.1.	Harmonikli Akımın Fourier Analizi	41
3.5.1.2.	Hızlı Fourier Dönüşümü(Fast Fourier Transform-FFT)	42
3.5.1.3.	Harmonikli Akımın Ortalama Değeri	43
3.6.	Harmoniklerin Sınırlandırılması ve Standartları	43
3.6.1.	Harmonik Standartlar	44
4.	GERÇEKLEŞTİRİLEN HARMONİK İZLEME SİSTEMİ VE ELDE	
	EDİLEN HARMONİK VERİLER.....	48
4.1.	Harmonik Ölçüm Ortamı	49
4.2.	Akım Harmoniklerinin Elde Edilmesi	50
4.3.	Toplanan Harmonikli Veriler	52
4.4.	Harmonikli Verilerle ilgili İstatistiksel Bilgiler.....	52
4.4.1.	Hafta İçi Harmonikli Verilere Ait Bilgiler	59
4.4.2.	Hafta Sonu Harmonikli Verilere Ait Bilgiler.....	63
4.4.3.	12 Haftalık Harmonikli Verilerin Zamansal Değişimi	69
5.	HARMONİK VERİLERİN VERİ MADENCİLİĞİ TEKNİKLERİ	
	İLE İNCELENMESİ.....	71
5.1.	Harmonikli Veriler Üzerinde Önışleme.....	71
5.1.1.	Birleştirme ve Temizleme.....	72
5.1.2.	Dönüştürme.....	73
5.1.2.1.	Harmonikli Verilerin Hazırlanması	73
5.2.	K-Means Kümeleme Yaklaşımı Kullanarak Harmoniklerin Zamansal	
	Değişimlerinin İncelenmesi	74
5.2.1.	Önerilen Algoritma.....	75
5.2.2.	K-Means Kümeleme Sonuçları	77
5.3.	Harmoniklerin Sınıflandırılması	82
5.3.1.	Önerilen Sınıflandırıcı Algoritması.....	83
5.3.2.	Sınıflama Senaryoları	86
5.3.2.1.	Senaryo 1 (k=4).....	87
5.3.2.2.	Senaryo 2 (k=5).....	89
5.3.2.3.	Senaryo 3 (k=6).....	91
6.	SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	95
7.	KAYNAKLAR.....	97
8.	ÖZGEÇMİŞ.....	103

ÖZET

Gün geçtikçe gelişen teknoloji ile birlikte sistemlerdeki yüklerde çeşitlilik artmıştır. Bu yüklerin her zaman elektrik sistemleri için lineer olması istenir. Fakat son yıllarda yarı iletken teknolojinin kullanılmasıyla sistemlerde nonlineer yüklerde yüksek miktarda bir artış gözlenmiştir. Tez çalışmasında elektrik dağıtım sistemlerinde meydana gelen akım harmonikleri için izleme sistemi geliştirilmiştir. Bu harmonik izleme sistemi ile ilk önce harmonikli veriler elde edilmiş ve daha sonra bu verilere, Veri Madenciliği yöntemleri uygulanarak harmoniklerin analizi yapılmıştır. Bu kapsamda harmonik izleme sistemi ile iki ayrı uygulama geliştirilmiştir. Birinci uygulama, harmonik içeren verilerin kümelenmesini kapsamaktadır. Bu bölümde harmonik izleme sistemi ile elde edilen harmonikli verilerin kümelendirilmesi işlemi yapılmıştır. Harmoniklerin kümelendirilmesinde k-Means algoritması veriler üzerinde başarılı bir şekilde uygulanmıştır. k-means algoritması ile üç farklı küme seçimi uygulaması gerçekleştirilmiştir. k küme parametresi olarak 6 seçilmesi durumunda başarının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. İkinci uygulama, kümeleme sonucu oluşan harmonikli veriler üzerinde LMT, J48, RBF ve MLP algoritmalarının sınıflamasını kapsamaktadır. Bu algoritmaların harmonikli verileri sınıflamada başarının yüksek çıktığı görülmüştür. Özellikle LMT algoritmasının diğer algoritmalara göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Bu tez çalışmasında daha önceden belirlenen kümeleme ve sınıflandırma algoritmaları, elde edilen harmonikli verilere uygulanarak anlamlı ve ileriye dönük sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güç Sistemi, VM, Kümeleme, Sınıflama, Harmonikler

SUMMARY

Analysis of Power Quality Data with Data Mining Methods

Variety of the loads in together with developing technological systems has been increasing day by day. These loads are always preferred to be linear for electrical systems. However, a substantial increase in non-linear loads has been observed in systems due to the usage of semiconducting technology in recent years. In this thesis, a monitoring system for current harmonics that occur in electric distribution systems has been developed. First, harmonic data were obtained through this harmonic monitoring system and then harmonics were analysed after data mining methods were applied to these data. Two different applications were developed with this harmonic monitoring system. The first application involves the clustering of harmonic data. In this part, the clustering of the harmonic data obtained through the harmonic monitoring system was performed. For the clustering of harmonics, k-Means algorithm was successfully used on the data. Three different clustering selections were realized with k-means algorithm. It was observed that the performance was better if the k cluster parameter is chosen to be 6. The second application involves the classification of LMT, J48, RBF and MLP algorithms on the harmonic data that occur as a result of clustering. It was seen that the performance of these algorithms in classifying harmonic data. Especially, the performance of LMT algorithm was seen to be better than the other algorithms. In this thesis, the previously determined clustering and classification algorithms were applied to the obtained harmonic data and meaningful results for future use were aimed to achieve.

Key Words: Power System, Data mining, Clustering, Classification, Harmonics

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1.	VM Süreci	10
Şekil 2.2.	Veri kümeleme.....	15
Şekil 2.3.	K-Means Kümeleme algoritması akış diyagramı	21
Şekil 2.4.	K-Means algoritması ile kümeleme örneği (küme sayısı=2)	22
Şekil 2.5.	Karar ağacının harmonikli verilerle ilgili örnek yapısı	24
Şekil 2.6.	J48 Karar ağacı algoritması örnek yapısı	26
Şekil 2.7.	Bir yapay sinir ağı modeli	28
Şekil 2.8.	Çok katmanlı algılayıcı modeli.....	29
Şekil 2.9.	Radyal tabanlı fonksiyon ağı	31
Şekil 3.1.	Harmonik yük nedeniyle şebeke gerilimindeki bozulma	32
Şekil 3.2.	Sinüs dalga şekilleri(50 Hz, 150 Hz, 250 Hz, 350 Hz)	32
Şekil 3.3.	Harmonikli dalga şekli.	33
Şekil 4.1.	Harmonik izleme sistemi	48
Şekil 4.2.	Çalışılan ölçüm bölgesi üzerinde kurulan izleme sisteminin bir görüntüsü	49
Şekil 4.3.	3 Fazlı elektrik panosu dağıtım sisteminin ölçümü	50
Şekil 4.4.	Harmonik derecelerin ortalama değerleri	58
Şekil 4.5.	Hafta içi seçilmiş bir günlük harmonik derecelerin zamansal dağılımı	60
Şekil 4.6.	Seçilen hafta içi bir güne ait tüm harmonik derecelerin zamansal dağılımı	61
Şekil 4.7.	Hafta içi seçilmiş bir güne ait harmonik derecelerin ortalamaları.....	61
Şekil 4.8.	Hafta içi 3 faz'a ait harmonik derecelerin ortalamaları	62
Şekil 4.9.	Hafta içi tüm harmonik derecelerin 12 haftalık dağılımları	63
Şekil 4.10.	Hafta sonu seçilmiş bir günlük harmonik derecelerin saatlik dağılımı	65
Şekil 4.11.	Seçilmiş hafta sonu bir günlük tüm harmonik derecelerin saatlik dağılımı	66
Şekil 4.12.	Hafta sonu seçilmiş bir günlük harmonik derecelerin ortalamaları	67
Şekil 4.13.	Hafta sonu 3 faz'a ait harmonik derecelerin ortalamaları	67
Şekil 4.14.	Hafta sonu harmonik derecelerin 12 haftalık dağılımları	68
Şekil 4.15.	Tüm harmonikli verilerin saatlik ortalama değerleri.....	69
Şekil 5.1.	Önerilen algoritmanın akış diyagramı.....	75
Şekil 5.2.	Kümelenmiş hafta içi 3. harmonik derecenin tüm değerleri	77
Şekil 5.3.	Kümelenmiş hafta içi 5. harmonik derecenin tüm değerleri	78
Şekil 5.4.	Kümelenmiş hafta içi 7. harmonik derecenin tüm değerleri	79
Şekil 5.5.	Kümelenmiş hafta içi 9. harmonik derecenin tüm değerleri	80
Şekil 5.6.	Kümelenmiş hafta içi 11. harmonik derecenin tüm değerleri.....	81
Şekil 5.7.	Kümelenmiş hafta içi 13. harmonik derecenin tüm değerleri	82
Şekil 5.8.	Gerçekleştirilen harmonik sınıflandırma sisteminin yapısı	83
Şekil 5.9.	Veri madenciliği tabanlı harmonik izleme sistemi	83
Şekil 5.10.	Gerçekleştirilen harmonik izleme sisteminin akış diyagramı	85
Şekil 5.11.	$k=4$ parametresi için sınıflara ait küme merkezlerinin dağılımı.....	88
Şekil 5.12.	$k=5$ parametresi için sınıflara ait küme merkezlerinin dağılımı.....	90
Şekil 5.13.	$k=6$ parametresi için sınıflara ait küme merkezlerinin dağılımı.....	92

TABLULAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1.	Dağıtım sistemleri için akım distorsiyonu limitleri	46
Tablo 3.2.	EN 61000-3-2 standardına göre akım harmonik sınırları	47
Tablo 4.1.	Tek faz için belirlenen harmonik derecelerin veri sayıları.....	52
Tablo 4.2.	A fazı hafta içi ölçülen harmonik değerler ve ortalamaları.	53
Tablo 4.3.	A fazı hafta sonu ölçülen harmonik değerler ve ortalamaları.	54
Tablo 4.4.	B fazı hafta içi ölçülen harmonik değerler ve ortalamaları.	55
Tablo 4.5.	B fazı hafta sonu günü ölçülen harmonik değerler ve ortalamaları.	55
Tablo 4.6.	C fazı hafta içi ölçülen harmonik değerler ve ortalamaları.	56
Tablo 4.7.	C fazı hafta sonu ölçülen harmonik değerler ve ortalamaları.	57
Tablo 4.8.	A, B ve C fazlarına ait rastgele seçilmiş bir gündeki harmonik derecelerin ortalamaları	58
Tablo 4.9.	Hafta içi harmonikli veri sayıları	59
Tablo 4.10.	Hafta sonu harmonikli veri sayıları	64
Tablo 4.11.	Tüm harmonik derecelerin ortalama değerleri	70
Tablo 5.1.	A faz gerçek akım harmonikli verileri	73
Tablo 5.2.	B faz gerçek akım harmonikli verileri	74
Tablo 5.3.	C faz gerçek akım harmonikli verileri	74
Tablo 5.4.	Harmonikli verilerin kümeleme algoritmasına sunum formatı	76
Tablo 5.5.	Günlerin sayısal kodlanması.....	76
Tablo 5.6.	MLP algoritmasının parametre bilgileri	86
Tablo 5.7.	RBF algoritmasının parametre bilgileri.....	87
Tablo 5.8.	J48 algoritmasının parametre bilgileri	87
Tablo 5.9.	$k=4$ parametresi için sınıflara ait küme merkezlerinin değerleri.....	88
Tablo 5.10.	$k=4$ parametresi için sınıflandırma sonuçları	89
Tablo 5.11.	$k=5$ parametresi için sınıflara ait küme merkezlerinin değerleri.....	90
Tablo 5.12.	$k=5$ parametresi için sınıflandırma sonuçları	91
Tablo 5.13.	$k=6$ parametresi için sınıflara ait küme merkezlerinin değerleri.....	92
Tablo 5.14.	$k=6$ parametresi için sınıflandırma sonuçları	93
Tablo 5.15.	Küme parametrelerin göre sınıflandırma başarımları	94

KISALATMALAR LİSTESİ

FFT	: Fast Fourier Transform
Harm	: Harmonik Derece
LMT	: Logistic Model Tree
MLP	: Multi Layer Perceptron (Çok Katlı Algılayıcı) Algoritması
RBF Network	: Radyal Base Function Network (Radyal Tabanlı İşlevsel Ağ)
TÜMF	: Tunceli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
TÜNİBAP	: Tunceli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
VM	: Veri Madenciliği

1. GİRİŞ

Elektrik enerji sistemlerinde akım ve gerilimin dalga şekli temel frekans sinüzoidal bir değişime sahip olmalıdır. Bu değişim için sistemin sinüzoidal kaynakla beslenmesi ve lineer yüklerle yüklenmesi gereklidir. Ancak, güç sisteminde meydana gelen arızalar ve anahtarlama olayları ile birlikte hat sonundaki kullanıcılardan kaynaklanan arıza ve nonlineer yük kullanımı sonucunda güç kalitesi problemleri ortaya çıkmaktadır. Bu durumların arasından, güç sistemine bağlanan ve sayıları gittikçe artan konverterler, ark fırınları, güç elektroniği elemanları, statik var kompensatörleri gibi nonlineer yükler, sistemdeki akım ve gerilim büyüklüklerinin nonsinüzoidal olmasına, yani bir güç kalitesi problemi olan harmonik bozulmaya neden olurlar.

Harmonikler, sistem üzerindeki elemanlarda ve sisteme bağlı yüklerde; arıza ve hatalı çalışma gibi olumsuz durumlar meydana getirmektedir. Bu nedenle, güç sistemlerinde meydana gelen güç kalitesi problemlerinin belirlenmesi ve oluşabilecek olumsuz durumların ortadan kaldırılması gerekmektedir (Erişti, 2010). Harmonikler güç sistemi elemanları ve sisteme bağlı olan elektrik cihazları üzerinde birçok olumsuz etki bırakmaktadır. Bu olumsuz etkiyi ortadan kaldırmak için harmoniklerin, harmonik standartlarında belirtilen sınır değerlerinin altında olması gerekmektedir. Bu nedenle güç sistemlerinde harmonikler sürekli olarak izlenmeli ve gerektiğinde harmonik eliminasyonu yapılmalıdır.

Harmonik izleme sistemi, elektrik tesisleri ve bu tesislerden yararlananlar için büyük önem arz etmektedir. Harmonik olayları tanımlamak için gerilim ve akım değerlerinin sürekli izlenmesi gerekmektedir. Harmonik izleme sisteminde çok değişkenli verilerin kayıtları yapıldığından veriler büyük hacimlere ulaşmaktadır. Harmonik izleme sistemi ile ölçülen ortamın güç kalitesindeki bozulmalar önceden tahmin edilir, tehlikeli durumların başlangıcı öncesinde alarm verir ve harmonik problemlerinin tanıları için kritik konuların belirlenmesi konusunda yardımcı olabilir (Asheibi, 2009). Bu amaçla son yıllarda, güç sistemlerinde harmonik izleme sistemlerinin kullanımında bir artış olduğu görülmektedir. Yapılan literatür taramalarında gerçekleştirilen çalışmalar incelendiğinde, harmonik izleme sistemleri genel olarak matematiksel yöntemler ve veri madenciliği (VM) yöntemleri olmak üzere iki grup altında yapılmaktadır. Matematiksel yöntemli çalışmalar genellikle harmonik ve ara harmoniklerin tespiti ve ölçülmesi üzerine yapılmıştır. Bu çalışmalar;

- (Gu ve Bollen, 2008)'de, Güç sistemi akım ve gerilim sinyallerinin ara-harmonik frekanslarının tahmini için ESPRIT tabanlı bir yaklaşım kullanmıştır.
- (Kusljevic vd., 2010)'da, üç faz gerilim sinyallerinin anlık frekans tahmini için ağırlıklı en küçük kare algoritma ve uyarlanabilir FIR Filtreleme tabanlı bir yaklaşım sunmuştur.
- (Köse vd., 2010)'da, Kalman filtreleme kullanılarak güç sistemlerinde ara harmonik frekans hesaplanması için bir spektral ayrışım tabanlı bir yaklaşıma yer vermiştir.

Harmonik izleme sistemlerinde, harmonikli verilerin sayısının fazla olması ve oldukça yüksek veri boyutuna sahip olması nedeniyle VM tabanlı harmonik izleme çalışmaları yapılmaktadır. Bunlar;

- (Asheibi vd., 2009)'da, ACPRO isimli bir VM aracı, harmonikli verileri otomatik kümeleme için kullanmıştır.
- (Asheibi vd., 2008)'de, Harmonikli verilerin sınıflandırılması için Minimum Message Length (en kısa mesaj uzunluğu) teknik tabanlı optimum küme sayısının belirlenmesi için bir yaklaşım sunmuştur.
- (Catterson vd., 2011)'de, dağıtım kablolarının harmonik durumunu izlemek için bir C4.5 sınıflandırıcı tabanlı gerçek zamanlı sistemin dizaynı ve tasarımına yer vermiştir.
- (Negnevitsky ve Hobar Ringrose, 2005)'de, Yapay sinir ağları kullanılarak güç sistemlerindeki harmonik kaynakları izlemek için bir sistem sunmuşlardır.

1.1. Tezin Amacı

Bu tez çalışmasının genel amacı, harmonik izleme sisteminin veri alım işlemi ile elde edilen gerçek zamanlı akım harmonikli veriler üzerinde, bazı VM tekniklerin uygulanması ve bu verilerin analizinin yapılmasıdır. Harmonikli veriler üzerinde uygulanan bu yöntemlerin yardım ile ölçülen ortamdaki harmonik bozulmaların tespiti ve eliminasyonu için gerekli istatistiklerin yapılmasını amaçlamaktadır.

Harmonik izleme verileri için kümeleme tekniklerinin kullanılması ile elde edilen her bir küme, özel bir durumu temsil eder. Bu kümelerin temsil ettikleri durumlarla analiz ve çözüm işlemleri gerçekleştirilebilir. Böylece, güç kalitesi problemlerini temsil eden kümeler gelecekte meydana gelebilecek güç kalitesi problemlerinin tespitinde

kullanılabilir. Bu küme bilgileri ile güç kalitesi problemlerinin ortadan kaldırılması veya azaltılması için gerekli olan tasarımlar için oldukça önemlidir.

VM araçları, büyük ölçekli verilerinin analizine yardımcı olmakta büyük bir öneme sahiptir. VM, saklı desenleri ve veri içindeki ilişkileri belirlemek için çeşitli analitik araçları kullanan bir süreç olarak tanımlanabilir. Kümelemeye dayalı VM, sınıflandırma içinde gözetimsiz öğrenmenin önemli bir kullanımudur. Özellikle çeşitli makine öğrenme teknikleri ve istatistiksel yöntemler yoluna rağmen çok değişkenli veri desenlerini tanımlamak için kullanılır. Kümeleme karmaşık veriler hakkında fikir edinmek ve özellikle harmonikli veri içinde yatan sınıfları tanımlamak için kullanılır (Asheibi, 2009).

VM kullanılarak yapılan bu çalışmada iki uygulama gerçekleştirilmiştir. İlk uygulama k-Means kümeleme algoritması ile harmonikli verilerin başarılı bir şekilde kümelmesi sağlanmıştır. İkinci uygulamada ise, oluşturulan küme bilgileri harmonikli veriler Logistic Model Tree (LMT), J48, Çok katmanlı algılayıcılar (Multi Layer Perceptron, MLP) ve Radyal tabanlı işlevsel ağları (Radyal Base Function Network, RBF) sınıflama algoritmaları kullanılarak harmonikli verilerinin sınıflandırılması için akıllı yeni bir yaklaşım sunulmuştur. Önerilen bu yaklaşımda, herhangi bir sınıf bilgisi içermeyen harmonikli veriler eğitici-siz öğrenme algoritması olan k-Means ile k sayıda sınıfa ayrılmıştır. Elde edilen bu sınıflara göre belirlenen sınıflandırıcılar eğitilerek harmonikli verilerin sınıflandırılması yapılmıştır. Sunulan sistemin performansını değerlendirmek için gerçek harmonikli veriler kullanılmış ve bu harmonikli veriler, Tunceli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi (TÜMF) dağıtım sistemi çıkışından elde edilmiştir. Elde edilen sınıflandırma sonuçlarına göre, önerilen yaklaşımın harmonik sınıflandırmada kullanılabilecek etkili bir yaklaşım olduğu gözlemlenmiştir.

Bu tezde önerilen harmonik izleme sisteminin literatürde bulunan harmonik izleme sistemlerine göre üstünlükleri aşağıda özetlenmiştir:

- Tezde, harmonikli verilerin sınıflarının tespitinde eğitici-siz ve eğitici-li öğrenme algoritmaları birlikte kullanılarak harmonikli verilerinin anlık ve otomatik olarak sınıflandıran akıllı bir yaklaşım sunulmuştur. Sunulan yaklaşımın başarımı gerçek harmonikli veriler ile test edilmiş ve yüksek bir başarıma sahip olduğu görülmüştür.
- Güç dağıtım sistemlerinde harmonikler belirli bir sınıf bilgisine sahip olmamakla birlikte belirli sınır değerleri arasında değişime sahiptir. Önerilen harmonik izleme yaklaşımı ile sayısal harmonikli veriler otomatik olarak sınıflara ayrılmaktadır. Böylece

güç sisteminin harmonik sınıf bilgisine göre güç dağıtım sisteminin durumu ve çözümü hakkında önemli bilgiler elde edilebilir.

2. VERİ MADENCİLİĞİ

2.1. Veri Madenciliği Tarihçesi

VM, son yıllarda iş dünyası ve yazılım dergilerinde kendine yer edinmiştir. Daha öncesinde pek az kişi VM terimini duymuştur. Aslında VM kökeni çok eskilere dayansa da farklı bir alan olarak literatürde 1980'lerden itibaren yer almıştır (Coşkun, 2010).

Veritabanları, bilgi teknolojileri ile birlikte 1960'lardan beri ilkel dosya işlem sistemlerinden büyük, güçlü ve hızlı erişimli veritabanı sistemlerine doğru sistematik olarak gelişmektedir. Bu gelişme 1970'lerde başlayan ilişkisel veritabanı sistemlerinin oluşmasına, 1980'lerin ikinci yarısından itibaren multimedya uzay verileri gibi büyük veriler tutmaya olanak sağlayan nesne-tabanlı, geliştirilmiş-ilişkisel veri tabanları gibi gelişmiş veritabanı sistemlerinin oluşmasına neden olmuştur. Veri tabanı sistemlerindeki bu gelişmeler, 1980'lerin sonunda veri ambarları ve VM gibi kavramları oluşturmuştur (Han ve Kamber, 2000).

2.2. Veri Madenciliği Tanımları

Veri; nesnelere, işlemleri ya da eylemleri niteliklerinin özellikleri veya değerleriyle tanımlayan bilgi kümesidir. Nesnelere ya da işlemler niteliklerden oluşur. Örneğin; nesnemiz insan ise, yaş, saç rengi, boy, telefon, adres onun nitelikleridir. Tüm bu insan nesnelere bir araya gelmesiyle küme oluşur (Coşkun, 2010). Bir transformatörde sorunların tespiti için oluşan bir hatanın saati, tarihi, harmonik derecesi, harmonik değeri bu işlemi tanımlayan başlıca niteliklerdir. Bu nitelikleri taşıyan küme ise veridir.

Teknolojinin ilerlemesi ile verilerin dijital ortamda saklanmaya başlanması, yeryüzündeki bilgi miktarının sürekli artması günümüzde veri tabanlarının sayısını, aynı ya da daha yüksek oranda artırmaktadır. Daha yüksek kapasite ve işlem gücüne sahip donanımların geliştirilmesi ile birlikte veri saklama hem daha kolay, hem de daha güvenli hale gelmiştir (Dinçer, 2006).

➤ Büyük miktarlarda ve hızlı toplanan rastgele verilerin çeşitli analizler sonucunda anlamlı bilgilere dönüştürülmesi noktasında VM önemli bir rol oynamaktadır. VM

tanımları incelendiğinde, bu tanımların ortak unsurlarının ilki çok fazla miktarlarda verinin veri ambarlarında saklanması, ikincisi ise bu verilerden anlamlı, tutarlı, işe yarayacak bilgiler elde edilmesidir (Altıntaş, 2006). Diğer bir ifadeyle, verilerin içerisindeki desenlerin, ilişkilerin, değişimlerin, düzensizliklerin, kuralların ve istatistiksel olarak önemli olan yapıların yarı otomatik olarak keşfedilmesidir (Alataş ve Akın, 2004). VM, büyük miktarlardaki verinin içinden geleceğin tahmin edilmesinde yardımcı olacak anlamlı ve yararlı bağlantı ve kuralların bilgisayar programları aracılığıyla aranması ve analizidir (Akpınar, 2000).

- VM ile aynı anlama gelen ya da yakın bir anlam içeren bazı başka tanımlamalarla literatürde karşılaşılabılır. Bunlar veritabanlarında bilgi madenciliği, bilgi çıkarımı, veri/örüntü analizi, veri arkeolojisi ve veri taranmasıdır (Mitra ve Acharya, 2003).
- Ayrıca VM, çok büyük miktardaki verilerin içindeki ilişkileri inceleyerek aralarındaki bağlantıyı bulmaya yardımcı olan veri analizi tekniğidir (Altıntaş, 2006).
- VM; konu ile ilgili uzmanlardan, gözlem ve deneyler sonucunda elde edilen verilerden üstü kapalı, çok net olmayan, önceden bilinmeyen ancak potansiyel olarak kullanışlı bilginin genelleme yapacak şekilde çıkarılmasıdır (Akgöbek ve Çakır, 2009).
- VM aracılığıyla, büyük veri kümelerinden oluşan veritabanı sistemleri içerisinde gizli kalmış bilgilerin çekilmesi sağlanır. Bu işlem, istatistik, matematik disiplinleri, modelleme teknikleri, veritabanı teknolojisi ve çeşitli bilgisayar programları kullanılarak yapılır (Altıntaş, 2006).

VM, gözetleyicisine, iş yapma aşamasında oluşan veriler arasındaki şablonları ve ilişkileri bulması konusunda yardım etmektedir. VM, hayatımızın hemen hemen tüm alanlarında kullanılmaktadır. Bankacılık, Pazarlama, Sigortacılık, Perakendecilik, Basın-yayın, Telekomünikasyon, Endüstri, Bilim ve Mühendislik alanlarında yoğun olarak kullanılmaktadır. VM, bu sektörlerde bilgiye ve sonuca ulaşımı daha hızlı hale getirmektedir. VM, Elektrik – Elektronik Mühendisliği çalışma alanlarında sinyal işlemede, güç kalitesi analizinde, harmonik hareketlerin tespiti ve incelenmesinde kullanılmaktadır (Alkan, 2001).

Literatürde VM ile ilgili birçok tanım ve açıklama bulunmaktadır. Bu tanım ve açıklamalar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Gartner Grup tarafından yapılan tanımda VM, istatistik ve matematiksel tekniklerle birlikte ilişki tanıma teknolojilerini kullanarak, depolama ortamlarında saklanmış

bulunan veri yığınlarının elenmesi ile anlamlı yeni ilişki ve eğilimlerin keşfedilmesi sürecidir (Thuarisingham, 2003).

- VM, temel olarak bilgisayar destekli bir bilgi çözümleme işlemidir (Savran, 2009). VM, ayrı sorgular vererek büyük miktarda olan veriden yararlı bilgi, desenler ve genelde önceden belli olmayan eğilimler çıkarabilmektedir.
- VM, verinin sahibine anlamlı ve yararlı olacak şekilde veri kümesinin içinde şüphe uyandırmayan ilişkileri bulmak ve veriyi yeni bir şekilde özetlemek için veri kümelerinin incelenmesidir (Kalikov, 2006).
- VM, önceden bilinmeyen, tam ve yararlı bilginin veriden çekilmesi olarak tanımlanmış; VMnin insanların kolayca anlayabileceği bir formda veriyi keşfeden ve sunan makine öğrenme, istatistik ve görselleştirme teknikleri gibi teknikleri kullandığı belirtilmiştir (Savran, 2009).
- VM çok büyük veri yığınlarından kritik bilgilerin elde edilmesini ve bu bilgilerin ışığında stratejik kararlar alınmasını sağlar (Işık, 2006).
- VM bir veya daha fazla makine öğrenme tekniğinin uygulanarak otomatik olarak bir veritabanı içinde bulunan verilerden bilgi çıkartılması, verilerin analiz edilmesi işlemidir (Hosmer ve Lemeshow, 2000).
- VM, geniş veritabanlarından prediktif bilginin otomatik olarak çekilme sürecidir. Gelecek trendlerini tahmin eder ve uzmanların gözden kaçırdığı davranışları bulur (Han ve Kamber, 2000).
- VM’nde amaç, büyük veritabanları içinde gizlenmiş anlamlı örüntülerin ve birlikteliklerin keşfedilerek mantıksal kurallara ya da görsel sunumlara dönüştürülmesidir (Işık, 2006).
- Sonuç olarak VM, önceden bilinmeyen ilişkilerin bulunması için bugünün şartlarında büyük miktarlardaki veriyi analiz eden bir yoldur. Yüksek güçlü bilgisayarlara ve gereken yazılımlara kolay ve düşük fiyatlarla ulaşılabilmesi bu teknolojinin işlemlerini olanaklı kılmıştır (Han ve Kamber, 2000).

2.3. Veri Madenciliğinin Uygulama Alanları

VM her geçen gün yeni ve farklı alanlarda kullanılmaya başlamaktadır. En yaygın kullanılan alanların başında; bilgisayar bilimleri, elektrik elektronik mühendisliği, enerji, endüstri, telekomünikasyon alanları gelir. Sağlık alanlarında ise biyotıp, gen mühendisliği

ve DNA sıralama desenlerinin analizlerinde de VM uygulanırken, ayrıca finans analizi, bankacılık, kredi ve derecelendirme, astronomi gibi birçok alanda da farklı uygulamaları görülmektedir.

Günümüzde VM teknikleri özellikle işletmelerde çeşitli alanlarda başarı ile kullanılmaktadır. Bu uygulamalardan bazıları ilgi alanlarına göre aşağıda özetlenmiştir (Dempster vd., 1977).

Pazarlama

- Müşterilerin satın alma örüntülerinin belirlenmesi,
- Müşterilerin demografik özellikleri arasındaki ilişkilerin bulunması,
- Posta kampanyalarında cevap verme oranının artırılması,
- Mevcut müşterilerin elde tutulması, yeni müşterilerin kazanılması,
- Pazar sepeti analizi,
- Müşteri ilişkileri yönetimi,
- Müşteri değerlendirme,
- Satış öngörüsü alanlarında kullanılmaktadır.

Bankacılık

- Farklı finansal göstergeler arasında gizli korelasyonların bulunması,
- Kredi kartı dolandırıcılıklarının tespiti,
- Kredi kartı harcamalarına göre müşteri gruplarının belirlenmesi,
- Kredi taleplerinin değerlendirilmesi alanlarında kullanılmaktadır.

Sigortacılık

- Yeni poliçe talep edecek müşteriler ile ilgili tahmin yapılması,
- Sigorta dolandırıcılıklarının tespiti,
- Riskli müşteri örüntülerinin belirlenmesi alanlarında kullanılmaktadır.

Biyoloji, Tıp ve Genetik

- Bitki türleri ıslahı,
- Gen haritasının analizi ve genetik hastalıkların tespiti,
- Farklı test sonuçlarının tahmini, tıbbi teşhis,
- Tedavi sürecinin belirlenmesi,

- Kanserli hücrelerin tespiti,
- Yeni virüs türlerinin keşfi ve sınıflandırılması,
- Fizyolojik parametrelerin analizi ve değerlendirilmesinde v.s kullanılmaktadır.

Kimya

- Yeni kimyasal moleküllerin keşfi ve sınıflandırılması,
- Yeni ilaç türlerinin keşfinde kullanılmaktadır.

Yüzey Analizi ve Coğrafi Bilgi Sistemleri

- Bölgelerin coğrafi özelliklerine göre sınıflandırılması,
- Kentlerde yerleşim yerleri belirleme,
- Kentlerde suç oranı, zenginlik-yoksulluk, köken belirleme,
- Kentlere yerleştirilecek posta kutusu, otomatik para makineleri, otobüs durakları gibi hizmetlerin konumlarının tespitinde kullanılmaktadır.

Görüntü Tanıma ve Robot Görüş Sistemleri

- Çeşitli algılayıcılar aracılığı ile tespit edilen görüntülerden yola çıkarak engel tanıma, yol tanıma, yüz tanıma, parmak izi tanıma gibi tekniklerde kullanılmaktadır.

Uzay Bilimleri ve Teknolojisi

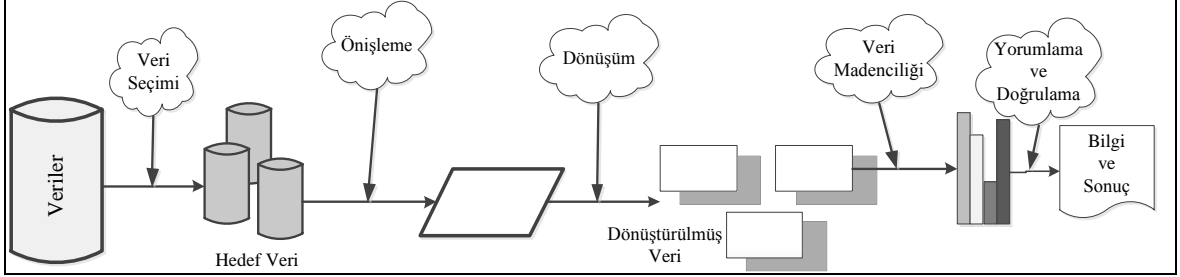
- Gezegen yüzey şekilleri ve gezegen yerleşimleri,
- Yeni galaksilerin keşfi,
- Yıldızların konumlarına göre gruplandırılmasında kullanılmaktadır.

VM kümeleme, veri özetleme, değişikliklerin analizi, sapmaların tespiti gibi belirli sayıda teknik yaklaşımlar içerir. Başka bir ifadeyle, VM, verilerin içerisindeki desenlerin, ilişkilerin, değişimlerin, düzensizliklerin, kuralların ve istatistiksel olarak önemli olan yapıların yarı otomatik olarak hızlı bir şekilde keşfedilmesidir.

VM uygulamalarını gerçekleştirmek için programlara ihtiyaç duyulur. Bu kapsamda, SPSS Clementine, Excel, SAS, Angoss, KXEN, SQL Server, MATLAB ticari ve RapidMiner(YALE), WEKA, C4.5, Orange, KNIME açık kaynak olmak üzere birçok program geliştirilmiştir (Dener vd., 2009).

2.4. Veri Madenciliği Süreci

VM genel olarak bilgi keşfi sürecinin bir parçası şeklinde kabul görmektedir. Şekil 2.1’de, veri madenciliğinden bilgi keşfi süreci verilmiştir.



Şekil 2.1. VM Süreci

Ne kadar etkin olursa olsun, hiç bir VM algoritmasının üzerinde inceleme yapılan işin ve verilerin özelliklerinin bilinmemesi durumunda fayda sağlaması mümkün değildir. Bu nedenle, yukarıda tanımlanan tüm aşamalardan önce, iş ve veri özelliklerinin öğrenilmesi başarının ilk şartı olacaktır. Başarılı bir VM projelerinde izlenmesi gereken yol aşağıdaki gibidir (Aynekin, 2006).

1. Problemin Tanımlanması,
2. Verilerin Hazırlanması,
3. Modelin Kurulması ve Değerlendirilmesi,
4. Modelin Kullanılması,
5. Modelin İzlenmesi

2.4.1. Problemin Tanımlanması

VM çalışmalarında başarılı olmak için projenin hangi işletme amacı için yapılacağını tanımlanması gerekmektedir. İlgili işletme amacı, işletme problemi açık bir dille ifade edilmiş olmalı, elde edilecek sonuçların başarı düzeylerinin nasıl ölçüleceği tanımlanmalıdır. Ayrıca hatalı tahminlerde ortaya çıkacak olan maliyetlere ve doğru tahminlerde kazanılacak faydalara ilişkin tahminlere de bu aşamada yer verilmelidir. Bu aşamada mevcut iş probleminin nasıl bir sonuç üretilmesi durumunda çözüleceğinin,

üretilecek olan sonucun fayda - maliyet analizinin başka bir deyişle üretilen bilginin işletme için değerinin doğru analiz edilmesi gerekmektedir.

2.4.2. Verilerin Hazırlanması

VM'nin önemli aşamalarından biri olan bu aşamada, işletmenin mevcut bilgi sistemleri üzerinde ürettiği sayısal bilginin iyi analiz edilmesi, veriler ile mevcut iş problemi arasında ilişki olması gerektiği unutulmamalıdır.

Proje kapsamında kullanılacak sayısal verilerin, hangi iş süreçleri ile yaratıldığı da bu veriler kullanılmadan analiz edilmelidir. Bu sayede analizci, veri kalitesi hakkında fikir sahibi olabilir. Verilerin hazırlanması aşaması kendi içerisinde toplama, birleştirme ve temizleme, dönüştürme adımlarından oluşmaktadır.

2.4.2.1. Toplama

Tanımlanan problem için gerekli olduğu düşünülen verilerin ve bu verilerin toplanacağı veri kaynaklarının belirlenmesi adımdır. Verilerin toplanmasında kuruluşun kendi veri kaynaklarının dışında, yakın kurumlarda yapılan ölçüm sonuçları ve bunların veri tabanlarından faydalanabilir.

2.4.2.2. Birleştirme ve Temizleme

Bu adımda toplanan verilerde bulunan farklılıklar giderilmeye çalışılır. Hatalı veya analizin yanlış yönlendirilmesine sebep olabilecek verilerin temizlenmesine çalışılır. Genellikle yanlış veri girişinden veya bir kereye özgü bir olayın gerçekleşmesinden kaynaklanan verilerin, önemli bir uyarıcı enformasyon içerip içermediği kontrol edildikten sonra veri kümesinden atılması tercih edilir. Ancak basit yöntemlerle ve baştan savma olarak yapılacak sorun giderme işlemlerinin, ileriki aşamalarda daha büyük sorunların kaynağı olacağı unutulmamalıdır. Bu aşamada veriler ayrı ayrı toplanabilir. Bu veriler, veri tabanına gönderilmeden önce birleştirilerek zaman ve veri setinde eksik olmayacak şekilde ayarlanması gerekmektedir.

2.4.2.3. Dönüştürme

Kullanılacak model ve algoritma çerçevesinde verilerin, tanımlama veya gösterim şeklinin de değiştirilmesi gerekebilir. Örneğin ölçüm sonucundan elde edilen veriler çalışılacak programın okuyamayacağı bir formatta olabilir. Bu verilerin hangi programda çalışılacaksa o formata dönüştürülmesi gerekmektedir. Elde edilen verileri dönüşüm programları aracılığı ile ya da hazırlanacak programlar aracılığı ile dönüştürülmelidir (Yıldırım Ö., 2010).

2.4.3. Modelin Kurulması ve Değerlendirilmesi

Tanımlanan problem için en uygun modelin bulunabilmesi, olabildiğince çok sayıda modelin kurularak denenmesi ile mümkündür. Bu nedenle veri hazırlama ve model kurma aşamaları, en iyi olduğu düşünülen modele varılıncaya kadar yinelenen bir süreçtir. Model kuruluş süreci, denetimli ve denetimsiz öğrenmenin kullanıldığı modellere göre farklılık göstermektedir.

Örnekten öğrenme olarak da isimlendirilen denetimli öğrenmede, bir denetçi tarafından ilgili sınıflar önceden belirlenen bir niteliğe göre ayrılarak, her sınıf için çeşitli örnekler verilir. Sistemin amacı verilen örneklerden hareket ederek her bir sınıfa ilişkin özelliklerin bulunması ve bu özelliklerin kural cümleleri ile ifade edilmesidir.

Öğrenme süreci tamamlandığında, tanımlanan kural cümleleri, verilen yeni örneklerle uygulanır ve yeni örneklerin hangi sınıfa ait olduğu, kurulan model tarafından belirlenir.

Denetimsiz öğrenmede, kümeleme analizinde olduğu gibi ilgili örneklerin gözlenmesi ve bu örneklerin özellikleri arasındaki benzerliklerden hareket ederek sınıfların tanımlanması amaçlanmaktadır.

Denetimli öğrenmede seçilen algoritmaya uygun olarak ilgili veriler hazırlandıktan sonra, ilk aşamada verinin bir kısmı modelin öğrenilmesi, diğer kısmı ise modelin geçerliliğinin test edilmesi için ayrılır. Modelin öğrenilmesi, öğrenim kümesi kullanılarak gerçekleştirildikten sonra, test kümesi ile modelin doğruluk derecesi belirlenir.

Bir modelin doğruluğunun test edilmesinde kullanılan en basit algoritma basit geçerlilik testidir. Bu yöntemde verilerin belli bir yüzdesi test verileri olarak ayrılır ve kalan kısım üzerinde modelin öğrenimi gerçekleştirildikten sonra, bu veriler üzerinde test işlemi yapılır. Bir sınıflama modelinde yanlış olarak sınıflanan olay sayısının, tüm olay sayısına

bölünmesi ile hata oranı, doğru olarak sınıflanan olay sayısının tüm olay sayısına bölünmesi ile doğruluk oranı hesaplanır (Terzi vd., 2011).

2.4.4. Modelin Kullanılması

Kurulan ve geçerliliği kabul edilen model doğrudan bir uygulama olabileceği gibi, bir başka uygulamanın alt parçası olarak kullanılabilir. Kurulan modeller harmonikli veri analizinde; zaman aralıkları değerlendirme, elektriksel sorunların tespiti ve harmonik derecelerin büyüklük tespiti ve tahmini şeklinde kullanılabilir. Başka örneklerde risk analizi, kredi değerlendirme, dolandırıcılık tespiti gibi işletme uygulamalarında doğrudan kullanılabilir.

2.4.5. Modelin İzlenmesi

Zaman içerisinde bütün sistemlerin özelliklerinde ve dolayısıyla ürettikleri verilerde ortaya çıkan değişiklikler, kurulan modellerin sürekli olarak izlenmesini ve gerekiyorsa yeniden düzenlenmesini gerektirecektir. Tahmin edilen ve gözlenen değişkenler arasındaki farklılığı gösteren grafikler model sonuçlarının izlenmesinde kullanılan yararlı bir yöntemdir.

2.5. Veri Madenciliğinde Kullanılan Modeller

VM, tahmin edici ve tanımlayıcı olmak üzere iki modelden oluşmaktadır. Tahmin edici modellerde, sonuçları bilinen veriler göz önüne alınarak bir model oluşturulur ve sonuçları bilinmeyen veri setleri için kurulan bu modelden yararlanarak sonuç değerlerini tahmin etme hedeflenir. Örneğin; belli bir süreçteki elektriksel harmonikli veriler bağımsız değişkenleri oluşturur. Bu harmonik değerlerin şebekede bir sorun oluşturup oluşturmadığı ise bağımlı değişken olarak tanımlanır. Bu verilere uygun olarak kurulan model daha sonraki süreçlerde harmonik değerlere bakılarak sorun oluşturup oluşturmayacağı tahmininde kullanılmaktadır.

Tanımlayıcı modellerde, karar vermeye öncülük etmede kullanılabilecek eldeki mevcut veriler içerisindeki örüntülerin tanımlanması sağlanmaktadır. Alışveriş

alışkanlıklarının tanımlanması, farklı müşteri grupları arasındaki ilişkilerin tespit çalışmaları bu modellemeye örnek olarak verilebilir (Sezer, 2008).

VM modellerini gördükleri işlemlere göre:

- Sınıflama (Classification) ve Regresyon,
- Kümeleme (Clustering),
- Birliktelik Kuralları(Association Rules)

olmak üzere üç ana başlık altında inceleyebilir. Sınıflama ve regresyon modelleri tahmin edici, kümeleme, birliktelik kuralları ve ardışık zamanlı örüntü modelleri tanımlayıcı modellerdir. Sınıflama ve regresyon modelleri arasındaki fark, tahminde bulunan bağımlı değişkenin süreklilik gösteren bir değer içermesidir (Yıldırım Ö., 2010).

2.6. Veri Madenciliğinde Kullanılan Algoritmalar

VM algoritmaları genel olarak doğrulamaya ve keşfe dayalı algoritmalar olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Doğrulamaya dayalı VM algoritmasında, kullanıcı bir hipotez öne sürer ve sistem bu hipotezi ispatlamaya çalışır. Keşfe dayalı algoritmalar ise şöyle sıralanabilir.

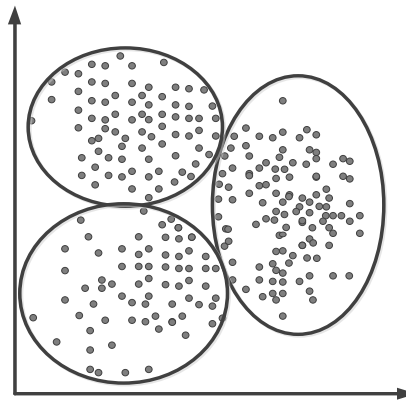
- **Sınıflandırma algoritması:** Yeni verileri, belli nitelik değerlerine göre, daha önceden belirlenmiş sınıflara ayırmaya yarar.
- **Kümeleme algoritması:** Verileri belirlenen niteliklere göre kümeler. Her bir kümede yer alan nesnelere dahil oldukları grubu, diğer gruplardan ayıran ortak özelliklere sahiptir.
- **İlişkilendirme algoritması:** Bir veri tabanındaki nesnelere nitelikleri arasındaki ilişkileri bulur. Bu, bir örüntüde hangi niteliklerin var olmasıyla, başka hangi niteliklerin de onlarla birlikte aynı örüntüde bulunacağını belirler.
- **Ardışık örüntüler:** Birbirleri ile ilişkisi olan ancak birbirini izleyen dönemlerde gerçekleşen ilişkilerin tanımlanmasında kullanılır.
- **Zaman serileri arası bağımlılıklar:** Bir veri kümesinde, belirli nitelik değerlerinin belirli zaman aralıklarıyla tekrarlanmasıyla ortaya çıkan örüntüleri bulmak için kullanılır (Çalış 2005).

Günümüzde farklı alanlarda kullanılmak üzere çok sayıda VM algoritması bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında, kullanılacak verilerin sayısal nitelikli olması ve yapılan çalışmaya uygunluk açısından kümeleme ve sınıflandırma algoritmalarının kullanılması uygun görülmüştür. Kümeleme algoritmasında k-means algoritması, sınıflandırmada ise karar ağaçları algoritmaları ile yapay sinir ağları algoritmaları kullanılacaktır. Birçok alanda kullanılan ve yapılan çalışmalarda başarıyı yüksek çıkan karar ağaçları algoritmalarından J48 ile LMT algoritmaları ile yapay sinir ağları algoritmalarından da yapılan çalışmalarda harmonikli verilere uygunluğu ve başarımının yüksek çıkması nedeniyle MLP ile RBF algoritmaları tercih edilmiştir.

2.7. Kümeleme Yöntemi

Kümeleme, var olan veri grubunu birbirinden farklı özelliklere ve niteliklere sahip parçalara veya gruplara ayırma işlemi olarak adlandırılır. Kümeleme algoritmasında aynı özelliklere sahip veriler aynı kümede, farklı özellik ve benzerlikler taşıyan verilerde farklı kümelerde bulunmaktadır. Sınıflamanın tersine kümeleme önceden tanımlanacak hedef bir değişkene gereksinim duymaz.

Kümeleme analizi, bireylerin ya da nesnelerin sınıflandırılmasını ayrıntılı bir şekilde açıklamak amacıyla geliştirilmiştir. Bu amaca yönelik olarak, ele alınan örnekte yer alan varlıklar aralarındaki benzerliklere göre gruplara ayrılır. Daha sonra bu gruplara dahil edilen bireylerin profili ortaya konur. Şekil 2.2'de, bir kümeleme sonucunda oluşan veri kümeleri görülmektedir (Işık, 2006).



Şekil 2.2. Veri kümeleme

Kümeleme analizi ile yapay sinir ağları, şekil tanıma ve istatistik gibi birçok alanda çalışılmaktadır (Tan vd., 2006).

2.7.1. Kümeleme Yönteminin Avantajları

- **İlişkilerin görüntülenmesi:** Kümelemenin en önemli özelliklerinden biri grafikler sayesinde sonucun görüntülenebilmesidir. Görsel sonuç, benzerliklerin kolay tespit edilmesini sağlar.
- **Anormalliklerin tespiti:** Grafikler sayesinde aykırı durumlar kolayca tespit edilir, böylece sıra dışı veriler belirlenir.
- **Diğer VM teknikleri için örneklerin oluşturulması:** Karar ağaçları gibi bazı teknikler çok büyük veriler üzerinde çalışamazlar. Bu metotların uygulanabilmesi için öncelikle verinin bir bölümünün seçilmesi ve en uygun başlangıç noktalarının belirlenmesi sağlanır (Seidman, 2001).

2.7.2. Kümeleme Yönteminin Zayıflıkları

Sonuçların anlaşılması zordur. Takip edilmesi gereken belirli kurallar olmadığı için tahminlerin tamamen gerçek olması mümkün değildir.

- Farklı veri tiplerinde özellikler içeren nesnelerin karşılaştırılması zordur.
- Küme, birbirlerine yakın bireylerin çok boyutlu uzayda oluşturdukları birlik olarak ifade edilebilir. Bu durumda küme kavramı, "benzerlik" ve "uzaklık" kavramlarını çağrıştırmaktadır.
- Noktaların geometrik olarak gösterimlerinde ikiden fazla boyut olduğunda noktalar arasındaki uzaklıkları çok boyutlu olarak hesaplamak gerekir (Seidman, 2001).

2.7.3. Hesaplama kullanılan ölçütler

Çeşitli sayıda değişkene göre nesneler arasındaki benzerlik ve uzaklıkları hesaplamak için bazı ölçüler kullanılmaktadır.

a. Minkowski uzaklığı,

- Manhattan (City-Blok) uzaklığı ($n=1$),

- Öklid (Euclidean) uzaklığı ($n=2$),
- “Supremum” (L_{\max} norm, L_{∞} norm) uzaklığı ($n=\infty$),
- b.** Tchebyshev uzaklığı,
- c.** Mahalanobis uzaklığı,
- d.** Canberra uzaklığı,
- e.** Bray Curtis (Sorensen) uzaklığı,
- f.** Kosinüs benzerliği,
- g.** Genişletilmiş Jaccard benzerliği,
- h.** Pearson ilişkisi ve
- i.** Spearman benzerliği.

2.7.4. Kümeleme Metotları

Kullanılan kümeleme metotları, bölünmeli metot, hiyerarşik metot, yoğunluk bazlı metot, grid bazlı metot ve model bazlı yöntem olmak üzere beş başlık altında incelenebilir.

2.7.4.1. Bölünmeli Metot

N tane nesnenin olduğu veritabanında, nesnelere mantıksal gruplara ayrılarak analiz edilir. Merkez tabanlı kümeleri tespit etmede başarılıdır. Gruplandırma yapılırken değişik kriterler değerlendirilebilir. Yapılan gruplandırma analiz kalitesine etki eder. Başlıca bölünmeli kümeleme algoritmalarından bazıları k-Means, fuzzy c-Means, k-medoids, CLARA ve CLARANS'dır.

2.7.4.2. Hiyerarşik Metot

Analiz etmeden önce nesnelere, hiyerarşik bir yapıya göre düzenlenir. Veriyi hiyerarşik bir yapıya çevirmek için değişik yöntemler kullanılır. Bu yöntemler aşağıdaki gibi iki tipte sınıflandırılabilir.

- a. Birleştirme yaklaşımı (Agglomerative):** Her bir nesne ayrı bir grup oluşturur. Birbirine yakın nesnelere veya gruplar birleştirilir.

b. Bölme yaklaşımı (Divisive): Bütün nesnelere başlangıçta aynı kümededir. Her ötelemede küme daha küçük kümelere ayrıştırılır.

Başlıca hiyerarşik kümeleme algoritmalarından bazıları Birch, Cure ve Chamelon'dur.

2.7.4.3. Yoğunluk Bazlı Metot

Birçok kümeleme yöntemi, nesnelere birbirleri arasındaki farklılıklarına göre kümeleme yapar ve çıkan sonuç genelde küreseldir. Bu yöntemler farklı şekillerdeki kümelerin tespitinde yetersiz kalmaktadır. Yoğunluk bazlı yöntemler ise nesnelere yoğunluğuna göre gruplama yapar. Komşuluk içindeki yoğunluk belli bir seviyeyi aşana kadar kümeler büyümeye devam eder. Bu yöntemin gürültülü verilerden etkilenme oranı düşüktür. Yoğunluk bazlı yöntemlere örnek olarak Dbscan ve Optics algoritmaları verilebilir.

2.7.4.4. Grid Bazlı Metot

Grid yapısı oluşturulacak şekilde nesne uzayı hücrelere bölünür. Bütün kümeleme işlemleri bu yapı üzerinde yapılır. Temel avantajı hızlı tamamlanması ve nesnelere sayısından bağımsız olmasıdır. Bu tipteki metotlara örnek olarak Sting, Clique ve WaveCluster verilebilir.

2.7.4.5. Model Bazlı Metot

Her küme için bir model belirlenir ve bu modele uyan veriler uygun kümeyle yerleştirilir. Bu algoritmalar, veri noktalarının uzaydaki dağılımını yansıtan yoğunluk fonksiyonu ile kümeleri belirler. Standart istatistiklere dayanarak küme sayısı otomatik olarak belirlenir. Gürültülü ve sıra dışı verilerden az etkilenmesi nedeniyle güçlü bir analiz sağlar (Işık, 2006).

Bu tez çalışmasında kümeleme ve sınıflandırma yöntemleri birlikte kullanılmıştır. Kümeleme algoritmasında günümüzde en çok kullanılan algoritmalarından olan k-Means algoritması tercih edilmiştir. Sınıflandırma için de 4 adet algoritma seçilmiştir.

2.7.5. K-Means Algoritması

Kümeleme yöntemi, VM’nde çok kullanılan yöntemlerden birisidir. Bu alanda birçok çalışma yapılarak farklı algoritmalar üretilmiştir. Bu algoritmalarından en çok kullanılanı ve çalışmamızda kullanacağımız olan k-means algoritmasıdır.

K-means algoritması sayısal veriler üzerinde çalışan bir algoritmadır. İlk olarak J. MacQueen tarafından 1967 yılında tanıtılmıştır. K-means algoritması, çalışmadan önce sabit bir küme sayısına ihtiyaç duyar. Küme sayısı k ile gösterilir ve elemanlarının birbirlerine olan yakınlıklarına göre oluşacak grup sayısını ifade eder. Buna göre k önceden bilinen ve kümeleme işlemi bitene kadar değeri değişmeyen küme sayısını belirleyen sabit bir sayıdır (McQueen, 1967). Kümeleme işlemi, verilerin en yakın veya benzer oldukları küme merkezleri (centroid) etrafına yerleştirilmesi ile gerçekleştirilir. Algoritmanın başında k sayısı giriş parametresi olarak verilir. Eğer küme sayısı belirli değil ise deneme yoluyla en uygun sayı bulunur veya bu değer algoritmaya dışarıdan verilir. k adet rastgele küme merkezi belirlenir veya ilk k eleman merkez olabilir. Elemanların merkezlere yakınlıkları hesaplanarak yakın oldukları merkezlere göre kümeleme yapılır. Oluşan kümelerin ortalamaları hesaplanarak yeni küme merkezleri belirlenir. Bu işlem kümelenecek eleman kalmayınca kadar sürer (Dinçer ve Duru, 2006).

N boyutlu harmonikli verilerin, n örnekli kümelerin verildiğini varsayarsak, bu verilerin $\{k=1,2,\dots,k\}$ olmak üzere C_k kümesinin ortalama vektörü M_k (2.1)’deki gibi hesaplanır.

$$M_k = \frac{1}{N_k} \sum_{i=1}^{n_k} X_{ik} \quad (2.1)$$

(2.1)’de X_k değeri, C_k kümesine ait olan i . örnektir. C_k kümesi için karesel, her bir C_k örneği ile onun merkezi (centroid) arasındaki Öklid uzaklıkları toplamıdır. Bu hataya “küme içi değişme” adı da verilir. Küme içi değişmeler (2.2)’deki gibi hesaplanır.

$$e_i^2 = \frac{1}{N_k} \sum_{i=1}^{n_k} (X_{ik} - M_k)^2 \quad (2.2)$$

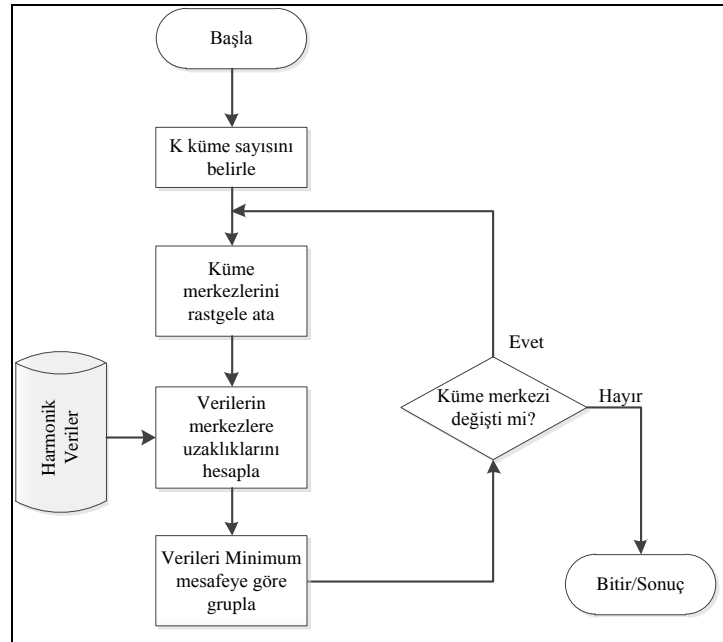
Bütün kümeler uzayı için karesel, küme içindeki değişmelerin toplamıdır. O halde söz konusu karesel değeri (2.3) gibi hesaplanır.

$$E_k^2 = \sum_{k=1}^K e_{ik}^2 \quad (2.3)$$

Kare-hata kümeleme yönteminin amacı, verilen k değeri için k, E_k değerini minimize eden K kümelerini bulmaktır. O halde k-Means algoritmasında k, E_k değerinin bir önceki iterasyona göre azalması beklenir (Ünal vd., 2010).

K-Means algoritmasının sırayla aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

- 1. Adım:** Başlangıç olarak k parametresi belirlenir.
- 2. Adım:** Giriş verileri içerisinde rastgele k adet küme merkezinin seçimi yapılır.
- 3. Adım:** Nesnenin küme merkezlerine olan uzaklıkları(distance) hesaplanır.
- 4. Adım:** En yakın küme merkezine nesne eklenir.
- 5. Adım:** Eklenen nesneye göre küme merkezleri(C_i) yeniden hesaplanır.
- 6. Adım:** Kümelerde bir değişiklik olmayıncaya kadar 3. Adım'dan itibaren işlemler tekrarlanır.
- 7. Adım:** Son olarak kümeler gösterilir ve program sonlandırılır



Şekil 2.3. K-Means Kümeleme algoritması akış diyagramı

K-means algoritmasının bir takım eksiklikleri de bulunmaktadır. Bu eksikliklerden en önemli olanları; algoritmanın dışarıdan sabit bir k parametresine ihtiyaç duyması ve sadece sayısal veriler ile kullanılabilir olmasıdır. Kategorik, şekil ve sayı dışındaki verilerin kümelendirilmesinde bu algoritma kullanılamaz (Yıldırım ve Aydın, 2010).

K-means algoritmasının hesaplanmasında birkaç çeşit uzaklık ölçütü hesaplaması kullanılmaktadır. Bunlardan en çok bilinenlerinden Öklid uzaklığı ve Manhattan uzaklık ölçütüdür.

2.7.6. Öklid Uzaklığı ve Karesi

Öklid uzaklığı ve Öklid uzaklığının karesi formülleri, k-means algoritmasında sıkça kullanılan hata parametresi (uzaklık) hesaplama yöntemleridir. Öklid uzaklığı ve Öklid uzaklığının karesi formülleri (2.4)'te görülmektedir. Bu denklemlerde, x_i ve y_i , n boyutlu verideki i. boyuta ait veri değerini temsil etmektedir. Öklid uzaklık formülü;

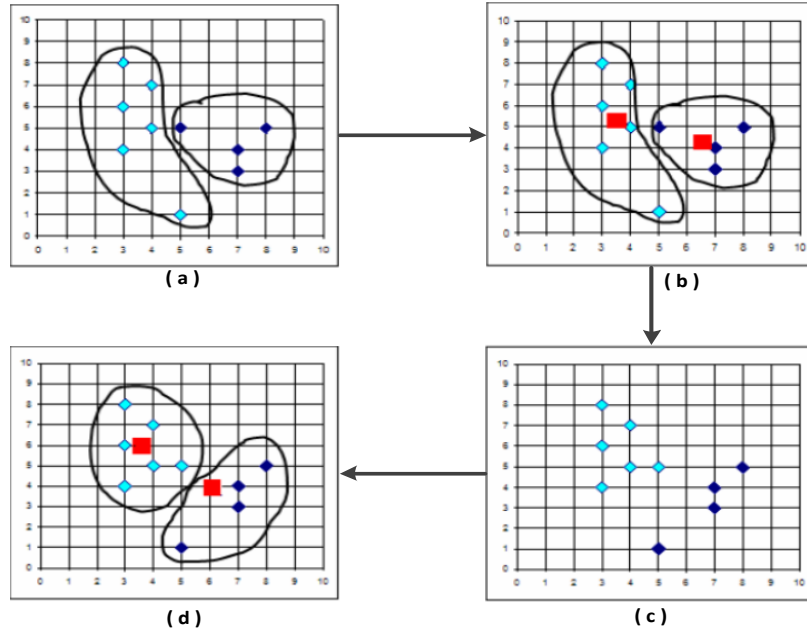
$$uzaklık(x, y) = \left\{ \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2 \right\}^{1/2} \quad (2.4)$$

2.7.7. Manhattan Uzaklık Formülü

Manhattan uzaklık hesaplaması için, boyutlar arasındaki ortalama fark işlemi yapılmaktadır. Bu yöntem sıra dışı verilerden az etkilenmekte ve daha kararlı sonuçlar vermektedir. Manhattan uzaklık hesaplaması (2.5)' te görülmektedir (Jain vd., 1999).

$$uzaklık(x, y) = \sum_{i=1}^n |x_i - y_i| \quad (2.5)$$

Şekil 2.4' de, k-means algoritmasının çalışmasına ilişkin bir örnek görülmektedir. Şekil 2.4'de, yer alan noktaların iki kümeye ayrılmak istendiği varsayılırsa, oluşturulacak küme sayısı k=2 olmaktadır (Jain vd., 1999; Zhong vd. 2005).



Şekil 2.4. K-Means algoritması ile kümeleme örneği (küme sayısı=2)

Birinci adımda iki nokta rastgele seçilerek, iki kümenin merkezi olarak belirlenmiştir. Geriye kalan noktalar ise, merkeze olan uzaklıklarına göre kümelendi. Ayrılmış noktalara göre, her iki kümenin yeni merkez noktası hesaplanmıştır. Yeni merkezler, Şekil 2.4(b)'de kare ile gösterilmiştir. Yeni merkez noktalarına göre, veri noktaları kendilerine en yakın merkeze ait olacak şekilde tekrar kümelendi. Şekil 2.4(c)'de, yeni küme dağılımı görülmektedir. Bu aşamada, (5,1) ve (5,5) koordinatlarına sahip iki veri noktasının ait olduğu küme değişmiştir. Veri noktalarının dağılımı değiştiği için, küme merkezleri de değişmiştir. Yeni küme merkezleri, Şekil 2.4(d)'de yine kare ile temsil edilmiştir. Bundan sonra merkez noktalarda herhangi bir değişiklik olmadığı için, algoritma son bulmuş ve Şekil 2.4 (d)' de görülen iki adet küme ortaya çıkmıştır (Doğan, 2006).

2.8. Sınıflandırma ve Tahmin Yaklaşımı

Sınıflandırma, VM'nin tahmin ediciler kategorisinde yer almaktadır. Yeni verileri belli nitelik değerlerine göre, daha önceden belirlenmiş sınıflara ayırmaya yarar. Bir başka ifadeyle; önceden belirlenen veri sınıflarına (hedef sınıf) göre model geliştirilip bu modelin sınıflandırma için kullanıldığı iki adımlı bir süreçten oluşmaktadır. Veri elemanının, daha önceden tanımlanmış farklı sınıflardan hangisine ait olduğunu keşfeden tahmin edici fonksiyonun bulunmasını sağlar. Elde edilen modeller, karar ağaçları ve yapay sinir ağları

gibi çeşitli yöntemlerle gösterilebilir. Sınıflama, kategorik değerlerin tahmin edilmesinde kullanılmaktadır. Sınıflandırma yaklaşımına ait günümüzde birçok algoritma bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında karar ağaçları ve yapay sinir ağları algoritması kullanılmaktadır.

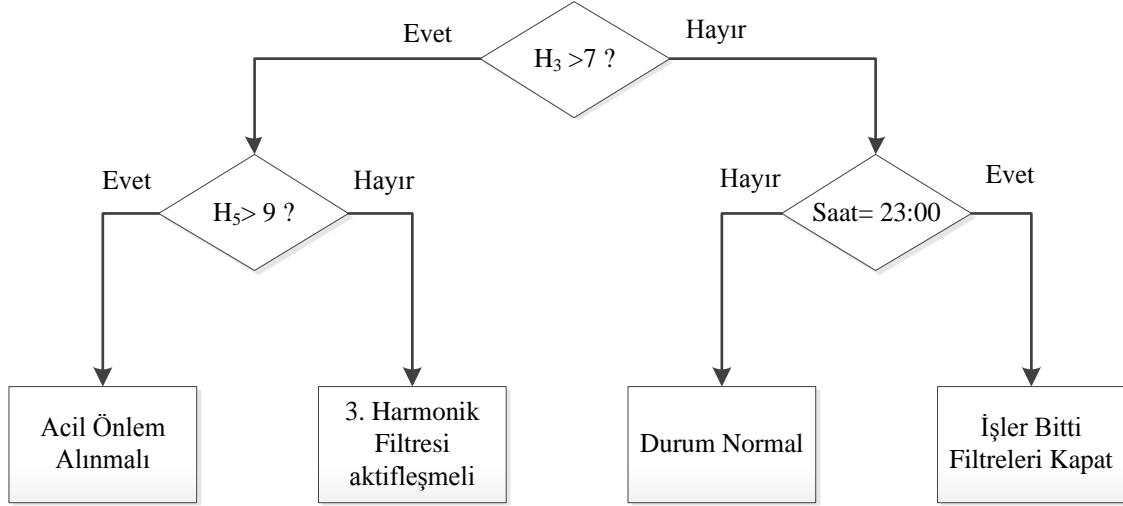
2.8.1. Karar Ağaçları Algoritması

Karar ağaçları algoritması tahmin edici ve tanımlayıcı özelliklere sahip olmasının yanı sıra; çok bilinen, yaygın kullanımlı ve güçlü sınıflandırma metodudur. Ürettiği modelin okunabilmesi, insanlar tarafından yorumlanmasının yüksek olması, veritabanı sistemleri ile kolayca entegre edilebilmeleri ve güvenilirliklerinin daha iyi olması diğer sınıflandırma metodlarına göre güçlü yanlarıdır. Karar ağaçları, VM çalışmalarında en başarılı algoritmalarının başında yer almaktadır (Coşkun, 2010).

Karar ağacı algoritması veriyi öğrenme ve sınıflama adımları olmak üzere iki adıma ayırır. Öğrenme aşamasında, önceden bilinen bir eğitim verisi, model oluşturmak amacı ile sınıflama algoritması tarafından çözümlenir. Öğrenilen model, sınıflama kuralları veya karar ağacı olarak gösterilir. Sınıflama adımında test verisi, sınıflama kurallarının veya karar ağacının doğruluğunu belirtmek amacıyla kullanılır. Eğer doğruluk kabul edilebilir oranda ise, kurallar yeni verilerin sınıflaması amacıyla kullanılır (Özekes, 2002). Karar ağaçlarına ağaç oluşturulduktan sonra, kökten yaprağa doğru inilerek kurallar yazılabilir. Bu şekilde kural çıkarma, VM çalışmasının sonucunun doğrulanmasını sağlar. Bunun için algoritmaya girdi olarak verilerin belirlenen belli nitelikleri, çıktı olarak da verilerin belli bir niteliği verilir. Algoritma bu çıktı niteliğindeki değerlere ulaşmak için hangi girdi nitelik değerlerinin olması gerektiğini ağaç veri yapılarını kullanarak keşfeder (Kayaalp, 2011). Karar ağaçları, anlaşılması kolay, üretilen kuralların kümelerine kolayca ulaşılabilen sayısal kümelerden oluşur.

Sınıflandırılması istenen yeni bir nesne geldiğinde karar ağacı kökten aşağıya doğru taranarak, yaprak düğüme ulaşıldığında o düğümün sınıf etiketi ile sınıflandırılır. Şekil 2.5’de sanal nitelik ve değerlerden oluşturulmuş örnek bir karar ağacı görülüyor. Karar ağacının kök düğümünde H_3 ile nitelendirilen harmonikli verilerden olan 3. harmonikli verisi 7 değeri ile karşılaştırılıyor ve karşılaştırmanın değerine göre ağaç farklı dallara ayrılıyor. Ulaşılan alt düğümlerde farklı nitelikler karşılaştırılarak, herhangi bir uç düğüme

ulaşınca kadar aynı yöntem devam eder. Yaprak düğümlerde ise o düğüme ulaşan nesnelerin sınıfları yer alır (Coşkun, 2010).



Şekil 2.5. Karar ağacının harmonikli verilerle ilgili örnek yapısı

Karar ağaçlarının uygulandığı ID3, C4.5, C5.0, J48, CART algoritmaları en bilinen uygulamalardır. Karar ağaçlarının uygulaması ağaç oluşturma ve ağaç budama basamaklarından oluşur.

Nitelik seçiminde, düğümlerin rastgelelik ya da düzensizlik değerini veren entropilerinden faydalanılır. Düğümlerin entropileri hesaplanarak ana düğümden alt düğümlere geçerken elde edilen bilgi kazancı hesaplanır. En fazla bilgi kazancı sağlayan nitelik o düğümden sınıma niteliği olarak kullanılır.

Karar ağacı modeli üç bölümden oluşur:

- a. Karar ağacı
- b. Ağacı oluşturacak bir algoritma
- c. Ağacı veriye uygulayacak ve söz konusu sorunu çözecek bir algoritma

Karar ağaçları eğitici örnekteki veriyi sınyayan bir algoritma aracılığıyla gerçekleştirilir ya da alanın bir uzmanı tarafından oluşturulur. Oluşturma tekniğine bağlı olarak karar ağaçları birbirlerinden ayrılır (Kalıkov, 2006).

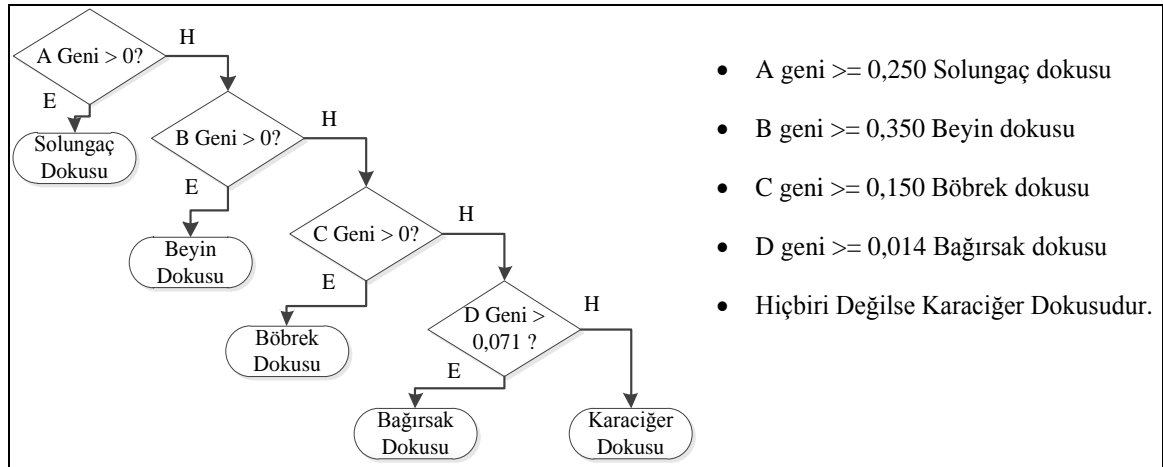
Karar ağacı oluşturmadaki en önemli aşama, veri kümesini bölerken soruların hangi sırayla sorulacağı aşamasıdır. Bunun için her bir özelliğin gücü ya da bilgi kazancı, entropi formüllerine dayanarak hesap edilir. Kategorik verilere sahip özelliklerin bilgi kazancının hesap edilmesi, sayısal verilere göre kısmen daha kolaydır. Sayısal özelliklerin

bilgi kazancı sayısal aralığın belli bir noktadan ikiye bölünmesiyle hesap edilir. Veri kümesi, en güçlü özelliği içeren soru ile sorgulanarak bölünür ve bu işlem yinelenerek karar ağacı oluşturulur (Yıldırım S., 2003).

2.8.1.1. J48 Algoritması

Temeli C4.5 Algoritması olan, 1993'te Quinlan tarafından ortaya atılan bir algoritmadır. Veriyi özyinelemeli olarak alt kümelere ayırarak bir sınıflama karar ağacı oluşturur. ID3 algoritmasının geliştirilmiş bir versiyonu olarak düşünülebilir. Algoritma sürekli değerlere sahip nitelikler için kullanılabilir, budama işlemi yapılabilir ve karar üretimi gerçekleştirilebilir (Berson, 2001).

J48 algoritması, C4.5 algoritmasının temelinde geliştirilerek sayısal verilere uygulanmak üzere oluşturulmuştur. J48 algoritması, iki aşamadan oluşmaktadır; Önce başlangıç kural kümesi tanımlar, daha sonra karışık bir optimizasyonla verileri sınıflandırmaya başlar. J48 algoritması belirlenirken verilerin 50%'sini eğitim verileri olarak değerlendirmekte, geriye kalanı bu eğitime göre sınıflandırmaktadır. Şekil 2.6'da, J48 karar ağaçlarına örnek bir yapı verilmiştir.



Şekil 2.6. J48 karar ağacı algoritması örnek yapısı

2.8.1.2. Logistic Model Trees (LMT) Algoritması

LMT algoritması endüksiyon ağacı ve bir lojistik öğrenme yaklaşımlarına dayanmaktadır (Uzun, 2005). İçsel karar düğümleri ve terminal yaprak düğümlerinden oluşan hiyerarşik bir modeldir.

LMT temel olarak, yapraklarında lojistik regresyon fonksiyonu bulunan standart bir karar ağacı yapısından meydana gelmektedir. Sıradan karar ağaçları gibi, niteliklerden birisi üzerindeki test bütün iç düğümler ile ilişkilidir. Yaprak düğümü, eşik değerine göre sağ ve sol olarak dallanmış iki alt düğüme sahiptir. Eğer niteliğin değeri eşik değerinden küçükse sol dala, eğer niteliğin değeri eşik değerinden büyükse sağ dala sıralanır. Eşik değeri genellikle Logit Boost metodu ile ayarlanır. Logit Boost bir grup F_k fonksiyonunu $1, \dots, k$ sınıflarını tahmin etmek için kullanır. LMT sınıflandırıcısının tercih edilmesinin birkaç önemli nedeni vardır. LMT modelleri yaygın olarak kullanılır ve bu modellerin sınıflandırmada güçlü oldukları kabul edilir. Bu modeller, çok az veri hazırlığı ile yüksek derecede doğruluk oranına sahip olarak inşa edilebilir. LMT sadece sınıflandırma yapmak yerine belirgin sınıf olasılıklarının tahminini de veren bir yaklaşımdır (Landwehr vd., 2004; Friedman vd., 2000).

LMT bir dizi içsel ya da terminal olmayan N düğümleri ve bir dizi yapraklar ya da T oluşan ağaç yapısı içerir. S 'ye tüm örnek alanı atandığında veride gösterilen tüm değerler tarafından üzerinden geçilir. Daha sonra ağaç yapısı S 'nin alt dallarına bölünür ve her bölge ağaçtaki bir yaprak olarak temsil edilir.

$$S = \bigcup_{t \in T} S_t, \quad S_t \cap S_{t'} = \emptyset \quad \text{for } t \neq t' \quad (2.6)$$

Normal karar ağaçlarından farklı olarak yaprak $t \in T$ bir sınıf etiketi yerine f_t fonksiyon olarak adlandırılır. Regrasyon fonksiyonu $V_t \subseteq V$ olarak gösterilen ve olasılık sınıf modellerini değerler alt kümesi olarak alır,

$$\Pr(G = j | X = x) = \frac{e^{F_j(x)}}{\sum_{k=1}^J e^{F_k(x)}} \quad (2.7)$$

olmak üzere

$$F_j(x) = \alpha_0^j + \sum_{v \in V_t} \alpha_v^j \cdot v, \quad (2.8)$$

ya da eşit olarak

$$F_j(x) = \alpha_0^j + \sum_{k=1}^m \alpha_{v_k}^j \cdot v_k \quad \text{if } \alpha_{v_k}^j = 0 \text{ for } v_k \notin V_t. \quad (2.9)$$

Tüm LMT ile gösterilen model

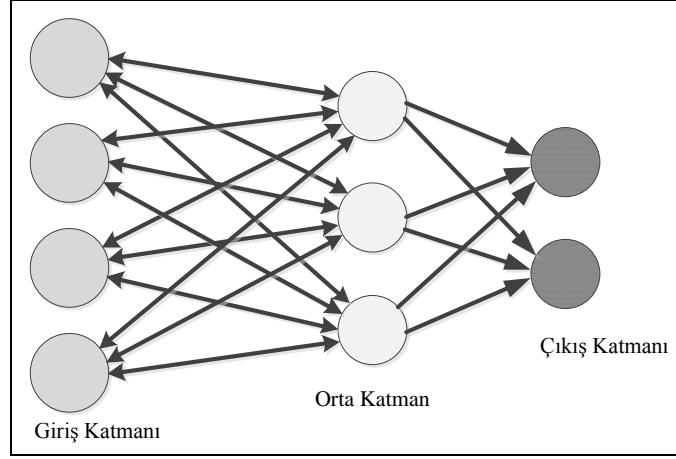
$$f(x) = \sum_{t \in T} f_t(x) \cdot I(x \in S_t) \quad (2.10)$$

olmak üzere

$$I(x \in S_t) \text{ is } 1 \text{ if } x \in S_t \text{ ve } 0 \quad (2.11)$$

2.8.2. Yapay Sinir Ağları Algoritması

Yapay sinir ağlarında biyolojik olarak insan beyninden esinlenilmiş ve beynin fizyolojisi taklit edilmiştir. İnsan sinir sistemi gibi nöronlardan oluşur. Bu nöronların her biri diğeriyle bağlantılı olup bu bağlantıların ağırlıkları bulunmaktadır (Karabatak ve İnce, 2009). Karmaşık ve belirsiz veriden bilgi üretirler. Bu tür karmaşık problemlerde birbirleriyle etkileşimli yüzlerce değişken bulunur. Bu teknik, veritabanındaki örüntüleri, sınıflandırma ve tahminde kullanılmak üzere genelleştirir. Sinir ağları algoritmaları sadece sayısal veriler üzerinde çalışırlar (Kayaalp, 2007). Yapay sinir ağları öncelikle sonuçları bilinen belirli bir veri kümesi üzerinde eğitilir. Bu eğitim neticesinde yapay sinir ağının içerisindeki ağırlıklar belirlenir. Bu ağırlıklar kullanılarak yeni gelen veriler işlenir ve bir sonuç üretilir (Yıldırım Ö., 2010). Şekil 2.7'de, basit bir yapay sinir ağı modeli gösterilmiştir.



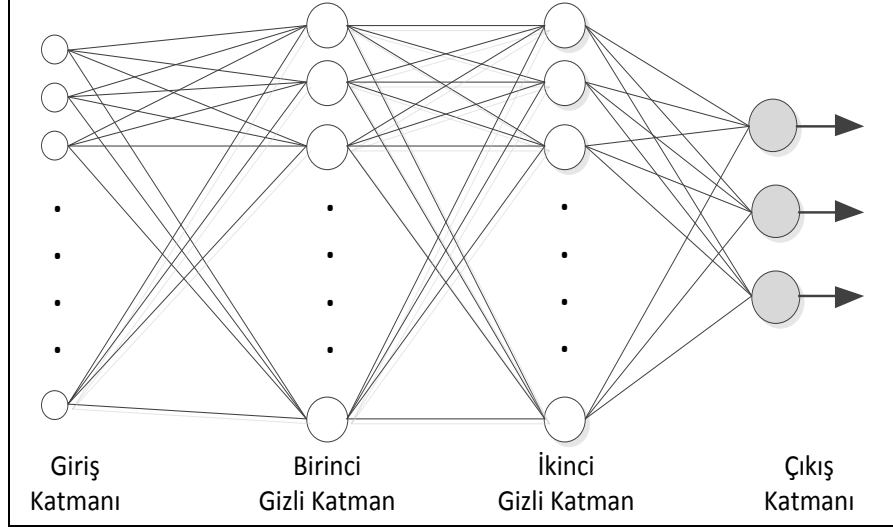
Şekil 2.7. Bir yapay sinir ağı modeli

2.8.2.1. Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) Algoritması

(Rumelhart, 1986) tarafından geliştirilen bu modele, hata yayma modeli veya geriye yayım modeli de denmektedir. Çok katmanlı algılayıcı, birden fazla algılayıcının kullanımı ile meydana gelmektedir. Kullanılacak olan ağ mimarisine göre gizli katman sayısı ve her katmandaki algılayıcı sayısı değişmektedir. Bununla birlikte, kullanılan ağırlık ve eşik değerleri de değişmektedir. Bu model özellikle sınıflandırma, tanıma ve genelleme gerektiren problemlerin çözümünde çok etkin rol oynamaktadır. Bu modelin temel amacı, ağın beklenen çıktısı ile ürettiği çıktı arasındaki hatayı en aza indirmektir. Çok katmanlı algılayıcı modeli ileriye doğru bağlantılı ve 3 katmandan oluşan bir ağıdır. Bu katmanlar sırasıyla;

- a. **Giriş Katmanı:** Bu katmandaki yapay sinir hücreleri veri tabanlarından bilgileri alarak ara katmanlara transfer ederler. Bazı ağlarda girdi katmanında herhangi bir bilgi işleme olmaz.
- b. **Ara Katman (Gizli Katman):** Giriş katmanından gelen bilgiler işlenerek çıkış katmanına gönderilirler. Bu bilgilerin işlenmesi ara katmanlarda gerçekleştirilir. Bir ağ içinde birden fazla ara katman olabilir.

- c. **Çıkış Katmanı:** Bu katmandaki işlem elemanları ara katmandan gelen bilgileri işleyerek ağın girdi katmanından sunulan girdi seti için üretmesi gereken çıktıyı üretirler. Üretilen çıktı sonuç olarak ele alınır.



Şekil 2.8. Çok katmanlı algılayıcı modeli

Çok katmanlı algılayıcı denklemleri

$$net_i^l(n) = \sum_{j=1}^p w_{ij} \cdot x_j(n) \text{ ve } y_i(n) = f(net_i^l(n)) \quad (2.11)$$

ve k'nıncı çıkış birimi için ($l:L$ çıkış katmanı);

$$net_k^l(n) = \sum_{i=1}^p w_{ki} \cdot x_j(n) \text{ ve } y_k(n) = f(net_k^l(n)) \quad (2.12)$$

2.8.2.2. Radyal Tabanlı İşlevsel Ağ

Radyal Tabanlı İşlevsel ağ (RBF), çok katmanlı yapay sinir ağlarının tasarımında eğiticili geriye yayılım öğrenme algoritmalarından biridir. RBF tasarımı ise çok boyutlu uzayda eğri uydurma yaklaşımıdır ve bu nedenle RBF'nin eğitimi, çok boyutlu uzayda eğitim verilerine en uygun bir yüzeyi bulma problemine dönüşür. RBF'nin genellemesi ise test verilerini interpolate etmek amacıyla, eğitim sırasında bulunan çok boyutlu yüzeyin

kullanılmasına eşdeğerdir. Radyal tabanlı fonksiyonlar, sayısal analizde çok değişkenli interpolasyon problemlerinin çözümünde kullanılmış ve YSA'nın gelişmesi ile birlikte bu fonksiyonlardan YSA tasarımında yararlanılmıştır. RBF, ileri beslemeli YSA yapılarına benzer şekilde giriş, orta ve çıkış katmanından oluşur, ancak giriş katmanından orta katmana dönüşüm, radyal tabanlı aktivasyon fonksiyonları ile doğrusal olmayan sabit bir dönüşümdür. Orta katmandan çıkış katmanına ise uyarlamalı ve doğrusal bir dönüşüm gerçekleştirilir (Elmas, 2003). RBF'da uyarlanabilecek serbest parametreler; merkez vektörleri, Radyal fonksiyonların genişliği ve çıktı katman ağırlıklarıdır. Çıkış katmanı doğrusal olduğundan ağırlıklar, eğim, düşme ya da doğrusal en iyileme yöntemleri ile kolayca bulunabilir. Merkezler, girişler arasından rastgele ve sabit olarak seçilmekle birlikte RBF'nin performansını iyileştirmek amacıyla merkez vektörlerinin ve genişliğin uyarlanması için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir.

Giriş katmanından ara katmana dönüşüm, radyal tabanlı aktivasyon fonksiyonları ile doğrusal olmayan sabit bir dönüşümdür. Ara katmandan çıkış katmanına ise doğrusal bir dönüşüm gerçekleşir. RBF'nin matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$\phi_j = \exp\left[-\frac{\|x-c_j\|^2}{\sigma_j^2}\right] \quad (2.13)$$

Burada x giriş vektörü, c_j j. Gaussian fonksiyonunun merkezi ve σ_j standart sapma değeridir. Eşitlikteki $\|x - c_j\|$ ifadesi x ve c_j vektörleri arasındaki Öklid uzaklığı belirtmektedir. j'ninci ara düğümün aktivasyon seviyesi ϕ_j 'ye eşittir.

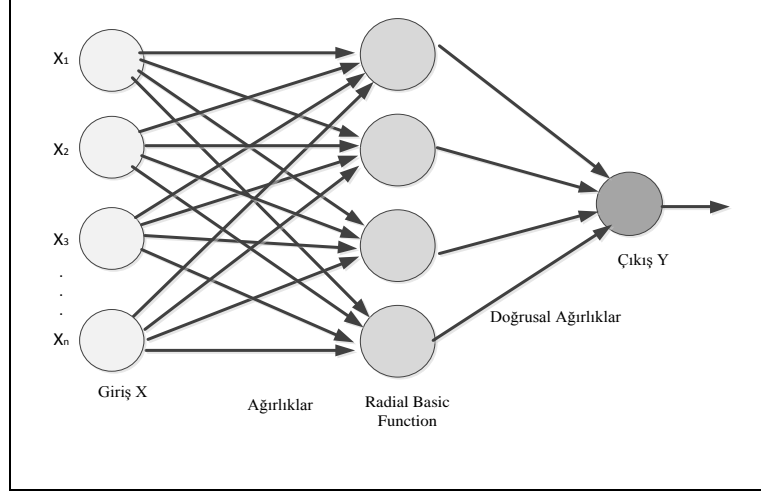
Ara katman çıkışları;

$$y_{kj} = \prod \phi_j(x, c, \sigma) \quad (2.14)$$

k. düğümün çıkışı (2.15) ile verilir.

$$o_k = \sum_{j=1}^J w_{kj} y_{kj} \quad (2.15)$$

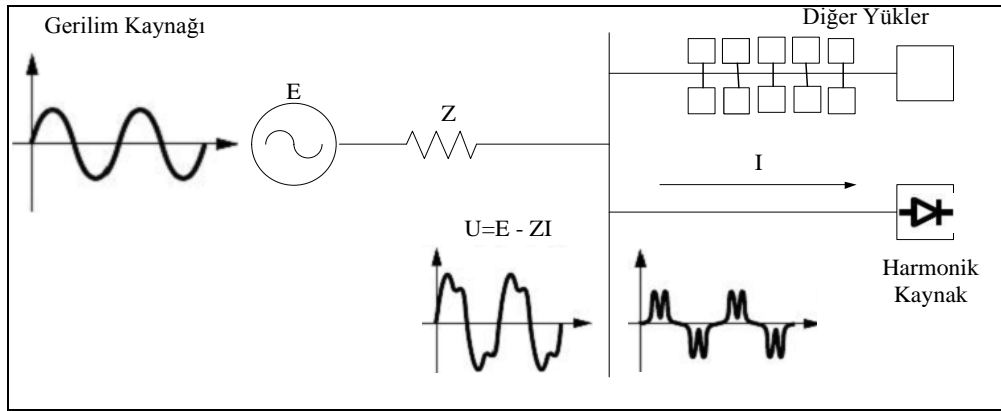
Burada W_{kj} k. çıkış düğümü ile j. ara katman düğümü arasındaki ağırlıktır (Kılıç vd., 2012). Şekil 2.9'da, bir radyal tabanlı fonksiyon ağı modeli gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Radyal tabanlı fonksiyon ağı modeli

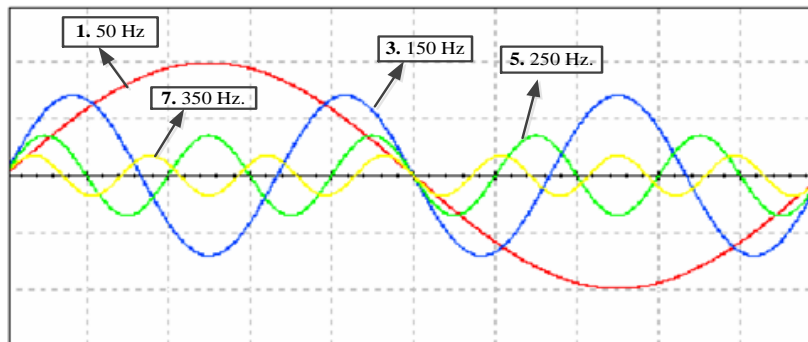
3. HARMONİKLER

Alternatif akım tesislerinde gerilimin ve akımın tam sinüs eğrisi şeklinde olması istenir. Güç sistemi üzerinde olan bazı elemanların yol açtığı olaylar sebebiyle tam sinüsoidal dalga şekillerinden bozulmalar görülebilir. Şebekeden çekilen bozuk akım, şebeke empedansından dolayı şebeke üzerinde gerilim düşümlerine, dolayısıyla akım ve gerilim dalga şekillerinde de bozulmalara neden olmaktadır (Mack ve Santoso, 2001; Arrillaga, Watson, 2003). Akım ve gerilim dalga şekillerini bozan bu etkenlere harmonik denir. Şekil 3.1’de bir harmonik yük nedeniyle elektrik sistemindeki şebeke geriliminde oluşan bozulma gösterilmiştir.



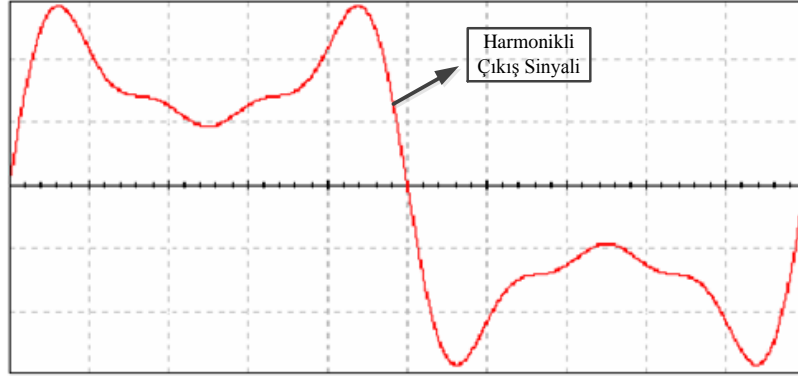
Şekil 3.1. Harmonik yük nedeniyle şebeke gerilimindeki bozulma

Harmoniklerin seviyeleri, harmonik kaynağı olarak kullanılan cihazın kullanım şekline, gece, gündüz ya da mevsimlerin durumuna göre değişiklik gösterir. Şekil 3.2’de, görülüğü gibi temel dalga frekansı 50Hz’dir. Buna göre 150Hz 3. harmonik, 250Hz 5. harmonik, 350Hz 7. harmonik bileşen olarak adlandırılır.



Şekil 3.2. Sinüs dalga şekilleri (50 Hz, 150 Hz, 250 Hz, 350 Hz)

Şekil 3.2’de verilen farklı genlik ve frekanslardaki sinüsel dalgaların toplamlarından oluşan çıkış sinüsel olmayan dalga Şekil 3.3’te gösterilmiştir (Şenyurt, 2006).



Şekil 3.3. Harmonikli dalga şekli.

3.1. Harmoniklerin Tanımı

Günümüzde endüstrinin gelişimi, elektriksel cihaz ve makineler hakkında daha fazla akılcı çözümler bulunması, güç elektroniğinde de oldukça büyük bir gelişmeye imkân sağlamıştır. Bu gelişim sonucu, yüksek frekanslarda anahtarlama yapabilen sistemler ve bunları oluşturan yarı iletken elemanlar endüstride oldukça fazla kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle, endüstrideki tesislerde, gerilim ve akım kontrolü ile gerçekleştirilen güç kontrolü ile şebekeden çekilen akımlarda büyük ölçüde bozulmalar meydana gelmektedir (Filiz, 2006). Bu sistemler yarı iletken yapılarından dolayı doğrusal olmayan (Nonlinear) yüklere ihtiyaç duyarlar. Nonlinear yük, akım ile gerilim arasında bir ilişki olmayan yük demektir. Yük kaynağı olan gerilim ve akım eğrileri sinüzoidal değildir. Fourier analizine göre, sinüzoidal olmayan bu terimler harmonik olarak adlandırılırlar (Şenyurt, 2006).

Harmonikler, lineer olmayan elemanlar ile sinüsoidal olmayan kaynaklardan herhangi birisi veya bunların ikisinin sistemde bulunmasından oluşur. Akım-gerilim karakteristiği doğrusal olmayan elemanlara lineer olmayan elemanlar denir. Harmonikli akım ve gerilimin güç sistemlerinde bulunması, sinüzoidal dalganın bozulması anlamına gelir. Bozulan dalgalar nonsinüzoidal dalga olarak adlandırılır. Bu dalgalar, fourier analizi yardımıyla temel frekans ve diğer frekanslardaki bileşenler cinsinden ifade edilebilir. Bu analiz ile nonsinüzoidal dalgalar, frekansları farklı sinüzoidal dalgaların toplamı şeklinde

matematiksel olarak yazılabilir. Bu sayede harmoniklerin analizi kolaylıkla yapılabilir. Harmonikler, güç sistemlerinde ek kayıplar, ek gerilim düşümleri, rezonans olayları, güç faktörünün değişmesi vb. gibi teknik ve ekonomik problemlere yol açar (Ferracci, 2001).

Fourier serileri kullanılarak sinüzoidal olmayan akım $I(t)$ ve gerilim $V(t)$ dalga formları (3.1) ve (3.2)'de bağıntılarla verilmiştir.

$$I(t) = I_{da} + \sum_{1}^{n} \sqrt{2} \cdot I_n \cdot \sin(\omega_n \cdot t - \phi_n) \quad (3.1)$$

$$V(t) = V_{da} + \sum_{1}^{n} \sqrt{2} \cdot V_n \cdot \sin(\omega_n \cdot t) \quad (3.2)$$

Sinüzoidal olmayan akım ve gerilimlerin etkin değeri ise

$$I = \sqrt{\sum_{1}^{n} I_n^2 + I_{da}^2} \quad (3.3)$$

$$V = \sqrt{\sum_{1}^{n} V_n^2 + V_{da}^2} \quad (3.4)$$

şeklinde ifade edilir.

3.2. Harmonik Üreten Elemanlar

Harmonikler genel olarak lineer olmayan elemanlar ile nonsinüzoidal kaynaklardan herhangi birisi veya bunların ikisinin sistemde bulunmasından meydana gelirler. Günümüzde pek çok alanlarda kullanılan akım-gerilim karakteristiği lineer olmayan elemanlar tarafından harmonik bileşenler üretilmektedir. Harmonikler güç sistemlerinde; ek kayıplar, ek gerilim düşümleri, rezonans olayları, güç faktörünün değişmesi gibi

teknik ve ekonomik problemlere yol açar (Sucu, 2003). Harmonikleri meydana getiren elemanlar genel olarak şu şekilde verilebilir (Akgeyik, 2005);

- Yarı iletken elemanların kullanıldığı cihazlar,
- Transformatörler (Manyetik akı),
- Konverterler,
- Generatörler (magnetik direncin olukları, kaçak akılar),
- Döner makineler,
- Ark fırınları,
- Kaynak makineleri,
- Floresan temelli aydınlatma cihazları,
- Kesintisiz güç kaynakları,
- Diyot ve tristörlü dönüştürücüler,
- Bilgisayarlar,
- Elektronik balastlar,
- Anahtarlama güç kaynakları,
- Kontrol devreleri,
- Yüksek gerilim ile enerji iletim (HVDC) sistemleri,
- Elektrikli ulaşım sistemleri.

3.2.1. Transformatörlerde Harmonikler

Transformatör nüvesinin mıknatıslanma karakteristiğinin lineer olmamasından, yani kullanılan transformatörün nüvesinin doymasından kaynaklanmaktadır. Transformatör çekirdeğinin mıknatıslanma karakteristiği belli bir bölgeden sonra lineer özelliğe sahip olmadığından, uygulanan sinüsoidal gerilim sonucu sinüsoidal akım ve akı oluşmamaktadır. Transformatörlerin nominal değerlerinin dışında çalışması nüvenin daha çok doymasına ve harmonik akımları seviyesinin hızla artmasına sebep olabilmektedir.

Mıknatıslanma akımı harmonikleri günün erken saatlerinde en yüksek seviyeye ulaşır, çünkü o saatlerde sistemdeki yük az olduğundan gerilim yükselmekte ve aşırı uyarma meydana gelmektedir. Aşırı uyarmayla oluşan 3., 5. ve 7. harmoniklerin etkisi ile akım harmonikleri oluşmaktadır (Kocatepe ve Demir, 1998).

3.2.2. Döner Makinelerde Harmonikler

Makinenin stator ve rotorundaki olukların neden olduğu manyetik relüktanstaki değişimlerle ilgilidir. Döner makinelerin harmonik üretmelerinin başlıca iki nedeni; alan şekli ve ana devreler ile kaçak yollardaki doymalardır. Günümüzdeki ileri tasarım teknikleri (oluk ve kutup geometrisi, sargı yapısı) ile döner makinelerdeki harmonik etkinliği en aza indirilmiştir. Döner makineler içerisinde en önemli harmonik üreticilerin başında senkron generatörler gelmektedir.

3.2.3. Güç Elektroniklerinde Harmonikler

Sanayiden enerji iletimine kadar tüm alanlarda kullanılan devre elemanları, yüksek çalışma verimine ve istenilen çalışma durumlarına sahip olmaları nedeni ile geniş kullanım alanına sahiptirler. Bunların üretiminde kullanılan yarı iletken maddeler, yüksek harmonik oluşumuna sebebiyet vermektedir (Yeşil, 1996).

3.2.4. Ark Fırınları Harmonikleri

Ark fırınları, yüksek harmonikler içeren yüklerin önemli bir örneğidir. Ark fırını bulunan işletmeler için harmonik oluşum nedeni olarak; ark fırınlarındaki ateşleyici elektrotların özellikleri ve ark akım-gerilim karakteristikleri verilir. Ark fırınının aktif direnci sabit değildir. Bir yarı periyodun başlangıcında direnç büyüktür, bundan sonra bir minimum değere düşer ve yarı periyodun sonuna doğru tekrar yükselir. Bu yüzden akım tam bir sinüs şeklinde değildir ve birçok harmonikler içerir. Ergitme aşamasının başında akım harmonikleri çok fazladır ve hurda eridikten sonra yani ark sakinleşince harmonik azalır (Zorlu, 1996).

3.2.5. Kesintisiz Güç Kaynağı Harmonikleri

Gerilim dalgalanmasının ve gerilim kesintilerinin yol açtığı zararlardan kurtulmak için hastaneler, hava alanları, bankalar, alışveriş merkezileri, kamu kuruluşları vb. diğer önemli yerlerde kesintisiz güç kaynakları kullanılır. Güç kaynakları alternatif gerilimin doğru gerilime çevrilerek depolanması ve sonra çevirici yardımı ile alternatif akıma çevrilerek tüketiciye iletilmesi esasına göre çalışır (Yeşil, 1996). Kesintisiz güç kaynaklarında

harmonikler; evirici tipine, modülasyon tipine, mikroişlemci kontrollü olup olmadığına v.b. etkenlere bağlı olarak değişmektedir (Sucu, 2003).

3.2.6. Gaz Deşarjlı Aydınlatma Harmonikleri

Gaz deşarjlı aydınlatma elemanları, örneğin flüoresan, cıva, ark, neon v.b. yüksek basınçlı sodyum lambaların elektriksel karakteristiği nonlineer olup akım geçişi esnasında negatif direnç karakteristiği gösterirler. Şebekeden harmonikler içeren akımların çekilmesine neden olurlar. Bu tür aydınlatma elemanları özellikle büyük şehir alanlarında daha çok hissedilen harmonikler meydana getirirler (Kocatepe ve Demir, 1998).

3.3. Harmoniklerin Meydana Getirdiği Etkiler

Günümüzde kullanılan sistemlerde akım veya gerilim harmonikleri birçok elemanı ve buna bağlı sistemleri etkilemektedir. Harmonik etkilerinin görüldüğü tesislerde en çok rastlanan problemler akım ve gerilim harmonikleri alt başlıkları altında sıralanabilir:

3.3.1. Akım Harmoniklerinin Etkileri

- Kullanılabilir güçte azalma ve kayıplarda büyük artışlar,
- Üç faz sistemlerde nötr hatlarda aşırı akımların oluşumu,
- Trafo ve jeneratörlerde aşırı ısınma,
- Akustik gürültüde artma,
- Telefon hatlarında artan girişim.

3.3.2. Gerilim Harmoniklerinin Etkileri

- Trafo ve jeneratörlerde aşırı ısınma,
- Kondansatörlerde aşırı ısınma,
- Motorlarda ısınma,
- İzolasyon sistemlerinde yalıtkan stresinin artması,
- Rezonans oluşumu ve yüksek gerilim delinmesi,

- Endüksiyon motorlarda problemler, mekanik salınımlar.

Akım ve gerilim dalga şekillerinin bozulması, şebeke geriliminin bozulması, gerilim düşümlerinin artması, kompanzasyon tesislerinin aşırı yüklenme ile zarar görmesi, enerji sistemlerindeki yüklerde kayıpların artması, senkron ve asenkron motorlarda aşırı ısınmalara, elektrik cihazlarının ömrünün kısılması, sesli ve görüntülü iletişim araçlarının parazitli veya anormal çalışması ve şebekede rezonans olayları gibi birçok elektriksel ve fiziksel soruna neden olur (Şenyurt, 2006).

Güç kalitesi problemleri, endüstride üretim ortamlarının ve işyerlerinin çalışmasını olumsuz yönde etkilemekle beraber, güç sistemlerinde donanım arızalanması gibi birçok sorun yaratmaktadır. Bu sorunlar, hem son kullanıcılar hem de güç sistemi açısından ciddi boyutlarda maliyet ve çalışma sorunları ortaya çıkarmaktadır (Erişti ve Demir, 2010).

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

Harmoniklerin zararlı etkilerinin azaltılması için, harmonik değerlerinin doğru ve sürekli ölçülmesine ihtiyaç vardır. Harmoniklerin güç sisteminde meydana getirdiği sorunların giderilmesi için bu bileşenlerin ölçümü ve analizi oldukça önemlidir. Ele alınan sistemlerde, hangi noktalardan ölçüm yapılacağı ve bunların analizlerinin nasıl gerçekleştirileceği, dikkat edilmesi gereken konulardır (Erişti ve Demir, 2011).

Harmonik içeren bir akım, yüksek bir empedans yolunda veya rezonans devresinde akarsa, gerilim de harmonik bileşenler içermeye başlar. Bu, dolaylı bir etkidir. Akım harmoniklerinin doğrudan etkisi, akım yolundaki elemanlarda ek ısınma ve kayıplara yol açmasıdır. Enerji sistemlerinde harmonikler nedeniyle gerilim ve akım dalga şekillerinin bozulması çok çeşitli problemlere yol açmaktadır (Filiz, 2006). Bunlar;

- Generatör ve şebeke geriliminin bozulması,
- Gerilim düşümünün artması,
- Kompanzasyon tesislerinin aşırı reaktif yüklenme ve dielektrik zorlanma nedeniyle zarar görmesi,
- Enerji sistemindeki elemanlarda ve yüklerde kayıpların artması,
- Senkron ve asenkron motorlarda moment salınımlarının ve aşırı ısınmanın meydana gelmesi,

- Endüksiyon tipi sayaçlarda yanlış ölçmeler,
- Uzaktan kumanda, yük kontrolü v.b. yerlerde çalışma bozuklukları,
- Şebekede rezonans olayları, rezonansın neden olduğu aşırı gerilimler ve akımlar,
- Koruma ve kontrol düzenlerinde sinyal hataları,
- İzolasyon malzemesinin delinmesi,
- Elektrik aygıtlarının ömrünün azalması,
- Sesli ve görüntülü iletişim araçlarında parazit ve anormal çalışma.

3.4. Harmoniklerin Rezonans Etkisi

Bir elektrik devresinde endüktif reaktans ile kapasitif reaktans değerlerinin eşitliği sonucu rezonans oluşmaktadır (Şenyurt, 2006). Başka bir ifadeyle, sistemdeki kapasitif ve endüktif yüklerin eşitlenmesiyle devrede tamamen omik yükün etkili olması ile rezonans oluşmaktadır. Rezonansın oluşumu ile enerji sisteminde aşırı akım, aşırı gerilim gibi problemler ve enerji akışının kesilmesi, sistemde maksimum akım akmasına neden olmaktadır. Rezonans durumu harmonik seviyelerini etkileyen en önemli etkenlerden birisidir. Seri ve paralel rezonans olmak üzere iki çeşit rezonans mevcuttur. Paralel rezonans, harmonik akım akışına yüksek empedans değerleri gösterirken, seri rezonans düşük bir empedans değeri göstermektedir.

3.5. Harmoniklerin Matematiksel Analizi

Elektrik sistemlerindeki yüklerden kaynaklı harmonik dalgalar, sinüsoidal geriliminin nonlineer bir yüke verilmesiyle ya da sinüsoidal olmayan bir gerilimin lineer veya nonlineer bir yüke verilmesiyle oluşmaktadır (Kırıcı, 2007). Harmonik bozuklukların neden olduğu düzensiz dalgalar, fourier analizi yardımıyla temel frekans ve diğer frekanslardaki bileşenler cinsinden tanımlanabilir (Kakilli vd., 2008). Sinüsel olmayan bir periyodik işaretin fourier analizi sonrasında zaman dömeninde eşitliği aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$f(t) = A_0 + A_1 \sin t + \dots + A_n \sin nt + B_1 \cos t + \dots + B_n \cdot \cos nt$$

3.5.1. Fourier Analizi

J. Fourier, sinüsoidal olmayan periyodik dalgaların, genlik ve frekansları farklı birçok sinüsoidal dalgaların toplamından oluştuğunu, başka bir deyişle; sinüsoidal olmayan periyodik dalgaların genlik ve frekansları değişik olan sinüsoidal dalgalara ayrılabilceğini göstermiştir. Fourier serisinin elde edilme işlemi, dalga analizi veya harmonik analizi olarak da tanımlanır. Periyodik fonksiyonlar Fourier serisine açıldıklarında birinci terimi bir sabit, diğer terimleri ise bir değişkenin katlarının sinüs ve kosinüslerinden oluşan bir seri halinde yazılabilir (Nilson ve Riedel, 1998).

Fourier' in teorisine göre; trigonometrik serilerin belirli tipleri rastgele fonksiyonların açılımlarını içermektedir. Temel frekans bileşeni ve bu temel frekansın tam katlarından oluşan harmonik bileşenlerinin toplamını bir zaman aralığında herhangi bir periyodik fonksiyon olarak göstermek, bu teori sayesinde temin edilmektedir. Bu seriler, zaman ve frekansa bağlı fonksiyonlar arasında ilişki kurmaktadır. Günümüzde Fourier serileri, mühendisler ve bilim adamlarının çoğu uygulamaları için çok önemli gereksinimlerinden biri olmuştur (Akgeyik, 2005).

Herhangi bir periyodik dalganın Fourier serisine açılabilmesi için Dirichlet koşulları olarak bilinen koşulların sağlanması yeterlidir. $f(t)=f(t+T)$ ifadesiyle belirlenen devirli herhangi bir fonksiyon aşağıda belirtilen 3 şartı sağladığında fourier serisine açılabilir (Filiz, 2006):

1. Fonksiyon süreksiz ise, T periyodu içerisinde sonlu sayıda süreksizlik noktası bulunmalıdır.
2. Fonksiyonun T periyodu için sonlu ortalama değeri bulunmalıdır.
3. Fonksiyonun sonlu sayıda minimum ve maksimum değerleri olmalıdır.

Dirichlet şartları olarak adlandırılan bu şartlar sağlandığında fonksiyonun Fourier açılımı vardır. Elektrik enerji sistemlerindeki dalga şekilleri bu koşulları sağladığında fourier bileşenlerinin elde edilmesi mümkündür.

Fourier serileri, verilen fonksiyonu sinüsoidal hale getirir. Fourier elektrik sinyallerindeki bozuklukların hesaplanması için periyodik bir $f(t)$ fonksiyonunu sinüsoidal fonksiyonların toplamları şeklinde (3.5)'te ifade etmiştir.

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} D_n \cos(n\omega_0 t + \theta_n) \quad (3.5)$$

(3.5)' te a_0 sinyalin ortalama değeridir. (3.5)' e göre bütün sinisoidal dalga formları t_0 peryodu içeren periyodik sinyallerdir. rnek verecek olursak;

- $n=1$ için t_0 saniye boyunca devam eden bir saykıdır. $D_1 \cos(\omega_0 t + \theta_1)$ 'e temel sinyal denir.
- $n=2$ için t_0 saniyeye yani bir periyoda iki saykıl düşer. Ve $D_2 \cos(2\omega_0 t + \theta_2)$ 'ye 2. harmonik denir.
- $n=3$ için t_0 saniyeye yani bir periyoda iki saykıl düşer. Ve $D_3 \cos(3\omega_0 t + \theta_3)$ 'ye 3. harmonik denir.

Bu Şekilde devam eden n değerleri sonsuza kadar çıkar.

Genel olarak $n=k$ için t_0 saniyeye k adet saykıl düşer ve $D_k \cos(k \omega_0 t + \theta_k)$ k . harmonik terimdir. Harmonik değerlerin sadece akım harmonik değerleri incelenecektir.

3.5.1.1. Harmonikli Akımın Fourier Analizi

Sinüs Şeklinde olmayan bir akım sinyali için (3.6) ve (3.7) hesaplanır,

$$i(t) = a_0 + a_1 \cdot \sin(\omega t) + a_2 \cdot \sin(2\omega t) + a_3 \cdot \sin(3\omega t) + \dots + a_n \cdot \sin(n\omega t) + b_1 \cdot \cos(\omega t) + b_2 \cdot \cos(2\omega t) + b_3 \cdot \cos(3\omega t) + \dots + b_n \cdot \cos(n\omega t) \quad (3.6)$$

$$i(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cdot \sin(n\omega t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cdot \cos(n\omega t) \quad (3.7)$$

fourier katsayıları cinsinden (3.8) ve (3.9) yazılabilir.

$$i(t) = I_0 + \sum_{n=1}^{\infty} I_{mn} \cdot \sin(n\omega t + \beta_n) \quad (3.8)$$

n . harmonik akımının (I_{mn}) tepe değeri,

$$I_{mn} = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad (3.9)$$

şeklindedir. n. harmonik akımının (β_n) faz açısı,

$$\beta_n = \tan^{-1} \left(\frac{b_n}{a_n} \right) \quad (3.10)$$

Yukarıdaki formüllerde;

t: Bağımsız değişkendir ve elektrik enerji sistemlerinde (ωt) olarak kullanılır.

a_1, a_2, \dots, a_n : Harmonikli gerilim ve akımların fourier serilerinin sinüslü bileşenlerinin çarpım katsayılarıdır.

b_1, b_2, \dots, b_n : Harmonikli gerilim ve akımların fourier serilerinin kosinüslü bileşenlerinin çarpım katsayılarıdır.

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_n$: Akımın faz açısıdır.

$n\omega$: n. harmoniğin dairesel frekansı (açısal hızı)'dır.

3.5.1.2. Hızlı Fourier Dönüşümü (Fast Fourier Transform-FFT)

Hızlı Fourier Dönüşümü, karışık sinyal yumaklarını ayırıştırır ve hangi frekansta ne şiddette bir titreşim olduğunu gösterir. Kısaca FFT, sinyallerimizi zaman alanından frekans alanına geçirirken kullandığımız bir dönüşüm işlemdir. Bu dönüşüm algoritması, karmaşık sinyaller içersinden periyodik olan sinyalleri belirleyip harmonik bileşenlerine ayırır. Hızlı fourier dönüşümü, ayrık fourier dönüşümünün işaret işleme uygulamalarında yaygın olarak kullanılabilmesini sağlamaktadır. Bir işaretin ayrık fourier dönüşümü (3.11)'deki gibidir.

$$x[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n]. e^{-j.w.n} \quad k = 0, 1, 2, \dots, N - 1 \quad (3.11)$$

Bu denklemde, dönüşümün her k değeri için N adet karmaşık çarpma ve $N-1$ adet karmaşık toplama işlemi yapılması gerekmektedir. N noktalı bir ayrık fourier dönüşümü için, N^2 ile orantılı bir hesap yükü anlamına gelmektedir. Ayrık fourier dönüşümündeki faz faktörü;

$$W_N = e^{-j.(2\pi/N)} \quad (3.12)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Faz faktörünün simetri ve periyodiklik özellikleri kullanılarak, ayrık fourier dönüşümünün daha verimli hesaplanabilmesi mümkündür. Faz faktörünün simetri özelliği şu şekildedir.

$$W_N^{k+N/2} = -W_N^k \quad (3.13)$$

Faz faktörünün periyodiklik özelliği aşağıdaki ilişkiyi vermektedir.

$$W_N^{k+N} = W_N^k \quad (3.14)$$

Hızlı fourier dönüşümü, ayrık fourier hesabı için faz faktörünün simetri ve periyodiklik özelliğinden faydalanılarak hızlı bir hesaplama sağlamaktadır (Şenyurt, 2006).

3.5.1.3. Harmonikli Akımın Ortalama Değeri

Harmonikli akımın ortalama değerini, (3.15) ile bulabiliriz.

$$I_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \int_0^{2\pi} i(t) dt \quad (3.15)$$

Periyodik alternatif akım büyüklüklerinden olan I_0 değeri sifıra eşittir (Kırcı, 2007).

3.6. Harmoniklerin Sınırlandırılması ve Standartları

Harmonik kaynaklarının son on yılda önemli derecede artması sonucu, çeşitli ülkeler harmoniklere bazı sınırlamalar getirmeyi uygun bulmuştur. Bu konuda dikkate alınan en önemli ölçüt, Toplam Harmonik Bozulma (THD) dır. AA endüstriyel güç kaynağı şebekelerinde akım ve gerilimin zamanla değişimi tam sinüs dalgasından oldukça farklıdır (Filiz, 2006).

Sistemdeki harmoniklerin sınırlandırılmasını amaçlayan standartlarda çok yaygın olarak kullanılan THD, akım ve gerilim için ayrı ayrı tanımlanmaktadır. Gerilim için;

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \quad (3.16)$$

Akım için;

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (3.17)$$

şeklinde tanımlanır. THD_v , gerilimdeki toplam harmonik bozulma olur. THD_I , akımdaki toplam harmonik bozulma olur. V_n devreye uygulanan gerilimin n 'inci mertebedeki harmoniğin etkin değeridir. I_n devreden geçen akımın n 'inci mertebedeki harmoniğinin etkin değeri. V_1 devreye uygulanan gerilimin temel frekanstaki etkin değeri. I_1 devreden geçen akımın temel frekanstaki etkin değeridir.

Akım ve gerilim için tanımlanan THD değerleri genel olarak yüzde cinsinden ifade edilirler; dolayısıyla 1 ve 2 denklemlerinden elde edilen sonuçlar 100 ile çarpılarak sistemin % THD değerleri elde edilir (Kocatepe ve Uzunoğlu, 2001).

Bu yaklaşımlarla sinüsoidal olmayan periyodik sinyallerin oluşturduğu harmonik dalgalar, fourier serileri yardımıyla sinüsel olarak hesaplanabilir. Veriler FFT analizinden sonra sayısal değerlere dönüşmektedir. Böylelikle bir analizörle ölçülen trafo merkezindeki bozukluklardan bu işlemlerden sonra sayısal nitelikte veriler elde edilmiş olur.

3.6.1. Harmonik Standartlar

Harmonik bileşenlerin olumsuz etkilerinden dolayı, harmonik sınırlandırma çalışmaları büyük önem arz etmektedir. Harmoniklerin sınırlandırılması için THD kriterine göre çeşitli standartlar mevcuttur. Elektrik enerji sistemlerinde bulunan harmoniklerin miktarını sınırlamak amacıyla kullanılan iki ayrı yöntem vardır. Bunlardan birincisi, IEC tarafından da tercih edilen herhangi bir nonlineer yükün bağlandığı noktada uygulanan yöntemdir. İkinci yöntem ise, IEEE tarafından benimsenen, birden fazla nonlineer yükün beslendiği bir veya daha fazla merkezi noktada uygulanan yöntemdir.

IEC tarafından öngörülen sınırlama mantığında, tek tek her bir yükten kaynaklanan harmoniklerin sınırlandırılması söz konusudur. Böylece harmoniklerin toplamsal etkisinin

de sınırlandırılacağı kabulüne dayanır. Bu mantık teorik olarak etkin olmakla birlikte uygulamada harmonik sınırlamalar için yapılan kabuller nedeniyle gerçekte oldukça çelişmektedir. IEEE tarafından öngörülen sınır ölçütler hem akım hem de gerilim harmoniklerine sınırlar getirmeleri bakımından daha etkin ve sınırlayıcı olarak görülmektedir (Bayram, 1991).

Elektronik güç kaynakları, bilgisayarlar, flüoresan lambalar, makineler, konut, ticaret ve kamu kuruluşlarında kullanılan cihazlar (yani doğrusal olmayan yükler) şebekeden sinüzoidal akım çekmezler. Bu yüklerin giriş akımları 50 Hz frekansına ayarlı tepeler ya da süreksizlikler şeklinde olduklarında, istenmeyen harmonikler oluştururlar. Böyle birçok yük şebekeye bağlandığında, istenmeyen harmoniklerin sayısı ve seviyeleri zararlı boyutlarda olabilir. Bu nedenle EN 61000-3-2, giriş akımı 16 A'den küçük bütün cihazlar için 1 Temmuz 1998'den itibaren zorunlu kılınmıştır (Sevgi, 2005).

Yürürlüğe giren standartlar ile elektriksel cihazlara üretim aşamasında harmonik sınırlar getirilmiştir (Acarkan vd., 2004).

- TS EN 61000-3-2 standardında faz başına 16A'den küçük, tek fazlı veya üç fazlı yüklerin harmonik akım sınırlarını düzenlemektedir (TS EN 61000-3-2, 2003).
- EN 61000-3-4 standardı ise faz başına 16A'den büyük yükler için harmonik akım sınırlarını düzenlemektedir (EN 61000-3-4, 1998).
- IEEE'nin tek fazlı yükler için harmonikleri inceleyen çalışma grubu, akımı 40A'den küçük tek fazlı yükler için benzer bir taslak standart (P1495) geliştirmektedir. Bununla beraber sınırların ne olması konusunda hala bir uzlaşma yoktur.

Birçok ülkede harmoniklerin sınırlandırılması için THD kriterine göre çeşitli standartlar mevcuttur. Müsaade edilen maksimum gerilim ve akım distorsiyonu IEEE 519-1992 standartına göre belirtilmiştir. Buna göre birçok endüstriyel tesis için maksimum müsaade edilen THD'si %5, herhangi bir harmonik bileşen içinse %3'tür. IEEE (519-1992)'nin dağıtım sistemleri için akım distorsiyonu limitleri Tablo 3.1' de gösterilmiştir (Sevgi, 2005).

Tablo 3.1. Dağıtım sistemleri için akım distorsiyonu limitleri

I_K / I_1	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	THD
< 20	4	5	1,5	0,6	0,3	5
$20 < 50$	7	3,5	2,5	1	0,5	8
$50 < 100$	10	4,5	4	1,5	0,7	12
$100 < 1000$	10	4,5	4	1,5	0,7	12
> 1000	15	7	6	2,5	1,4	20

I_K : Kısa devre akımını

I_1 : Temel bileşen akımını

h : Harmonik derecesini göstermektedir.

TS EN 61000-3-2 - Harmonik içeren yüklerin sınıfları aşağıda gösterilmiştir.

A Sınıfı:

- Dengelenmiş üç fazlı donanım
- D sınıfında belirlenmiş donanımların dışındaki ev aletleri
- Taşınabilir aletlerin dışındaki aletler
- Akkor lambalar için ışık zayıflatıcıları
- Ses donanımı
- Diğer üç sınıfın herhangi birinde tanımlanmayan donanımlar

B Sınıfı:

- Taşınabilir aletler
- Mesleki olmayan ark kaynak donanımı

C Sınıfı:

- Aydınlatma donanımı

D Sınıfı:

- Kişisel bilgisayarlar ve kişisel bilgisayar monitörleri
- Televizyon alıcıları

EN 61000-3-2'ye göre belirlenen harmonik sınırları Tablo 3.2'de gösterilmektedir

Tablo 3.2. EN 61000-3-2 standardına göre akım harmonik sınırları

Harmonik No	A Sınıfı (A rms)	B Sınıfı (A rms)	C Sınıfı (%)	D Sınıfı (mA / W)
2	1.08	1.62	2	..
3	2.30	3.45	30	3.4
4	0.43	0.645
5	1.14	1.71	10	1.9
6	0.30	0.45
7	0.77	1.115	7	1.0
8<= n <=40	1.84/n	2.76/n
9	0.40	0.60	5	0.5
11	0.33	0.495	3	0.35
13	0.21	3.15	3	0.296
15<= n <=39	2.25/n	3.375/n	3	3.85/n

EN 61000-3-2 genel 50-60 Hz 220/380 V, 230/400 V ve 240/415 V besleme sistemleri için geçerlidir. Standartlarda en fazla kırkıncı harmonik (n=40) için (2 kHz'e kadar) test ve ölçüler istenir. Eğer 19. harmonikten yukarısi monoton olarak azalıyorsa, standartlarda ölçülen en yüksek harmonik n=19 alınabilir. Cihaz ile gerçekleştirilen ölçülerde, giriş akımının % 6'sından ya da 5 mA'den küçük harmonikler göz önüne alınmayabilir. Cihaz çalışırken sürekli durumda harmonik limitleri A, B, C ve D sınıfı için tablolarla belirtilmiştir. 10 s'den az süreleri geçici olarak gözlenen harmonikler, genlikleri ne olursa olsun, göz önüne alınmazlar. 2-10 arası çift mertebeli ve 3-19 arası tek mertebeli geçici olarak gözlenen harmoniklerin genlikleri 150 saniye içerisinde 15 s. süresince tablo değerlerinin 1.5 katına kadar çıkabilir.

Avrupa Birliği'nde geçerli olan TS EN 61000-3-2 standardı, üreticilerin ürünlerindeki harmonik akım tüketimine sınırlama getiren yaklaşımı benimsemiştir. Bu standart, faz başına akımı 16A'den küçük tek fazlı veya üç fazlı bütün yükleri kapsamaktadır.

4. GERÇEKLEŐTRİLEN HARMONİK İZLEME SİSTEMİ VE ELDE EDİLEN HARMONİK VERİLER

Güç dağıtım sistemlerinde harmoniklerin izlenmesi, harmonik standartlara göre harmonik bilginin elde edilmesi ve harmonik iyileştirme işleminin belirlenmesi için oldukça önemlidir. Bu tez çalışmasında, dağıtım sistemlerinde, akım harmoniklerinin değişimlerinin gerçek zamanlı izlenmesi ve bu veriler üzerinde çeşitli analiz çalışmalarının gerçekleştirilmesi için bir sistem tasarlanmıştır. Tasarlanan bu harmonik izleme sistemi, belirlenen dağıtım bölgesine yerleştirilerek IEC 61000-4-7/CLASS B ve IEEE 519-1995 standartlarına göre harmonik değerlerinin ölçümü yapılmıştır. Gerçekleştirilen ölçümler sonucunda, elde edilen harmonikli veriler çeşitli ön işlemlerden geçirilerek bir veritabanında saklanmaktadır. Oluşturulan bu veritabanı, harmonikli verilerin incelenmesi ve analiz edilmesi işlemlerinde kullanılmaktadır. Elde edilen harmonikli verilerin miktarı ve karmaşıklığı göz önüne alındığında, bu veriler üzerinde bilgi çıkarımı için veri madenciliği tekniklerinin kullanılması amaçlanmıştır. Şekil 4.1’de, harmonik izleme sisteminin bir yapısı verilmiştir.



Şekil 4.1. Harmonik izleme sistemi

Önerilen harmonik izleme sisteminde, ölçüm noktasından elde edilen akım bilgileri, izleme cihazına aktarılmaktadır. İzleme cihazı içerisinde bu akım sinyalleri üzerinde çeşitli algoritmalar kullanılarak akımlara ait harmonik bilgiler gerçek zamanlı olarak elde edilmektedir. İzleme cihazının sahip olduğu veri aktarım teknolojileri kullanılarak, harmonik bilgiler bilgisayar ortamına aktarılmaktadır. Bilgisayar ortamında yazılan izleme yazılımı ile harmonikli veriler üzerinde analiz çalışmaları gerçekleştirilmektedir.

4.1. Harmonik Ölçüm Ortamı

Harmoniklerin zararlı etkilerinin azaltılması için harmonik değerlerinin doğru, gerçek zamanlı ve sürekli ölçülmesi gerekmektedir. Harmoniklerin güç sisteminde meydana getirdiği sorunların giderilmesi için bu bileşenlerin ölçümü ve analizleri çok önemlidir. Ele alınan sistemlerde, hangi noktalardan ölçüm yapılması gerektiği, bunların analizlerinin nasıl gerçekleştirileceği dikkat edilmesi gereken konulardır. Harmonikler ile ilgili çalışmalar gerçekleştirilirken uluslararası ve ulusal kuruluşların belirlediği çeşitli standartlar temel alınarak, ölçüm süreleri, ölçüm ve analiz yöntemleri uygun standartlara göre seçilmelidir. Bu tez çalışmasında, IEC 61000-4-7/CLASS B ve IEEE 519-1995 standartlarına göre harmonik değerlerin ölçümü yapılmıştır. Elektrik iletim ve dağıtım sistemlerindeki harmoniklerin ölçülmesinde ölçüm noktası olarak trafo merkezleri belirlenmiştir. Bu çalışmada, ölçüm merkezi olarak Tunceli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi (TÜMF) elektrik panosu kullanılmıştır. Şekil 4.2’de TÜMF dağıtım panosu üzerinde kurulan gerçek zamanlı harmonik izleme sistemi görülmektedir.

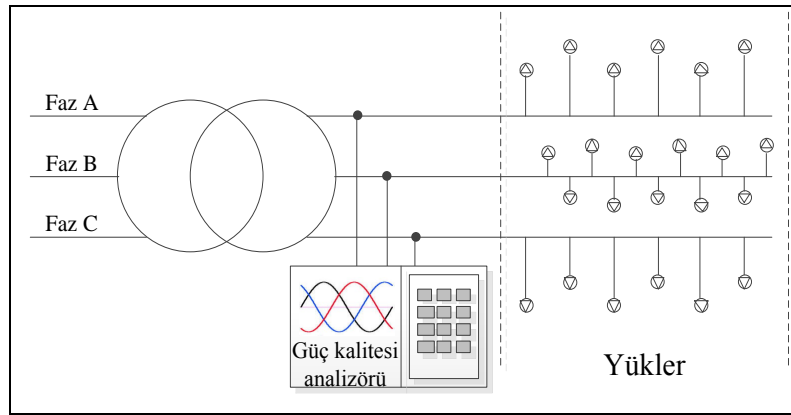


Şekil 4.2. Çalışılan ölçüm bölgesi üzerinde kurulan izleme sisteminin bir görüntüsü

Tez çalışması kapsamında alınan harmonikli veriler, Tunceli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi elektrik dağıtım panosundaki 3 fazdan elde edilmiştir. Mühendislik fakültesinde inşaat beton analiz merkezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölüm Laboratuvarı, deney amaçlı yüksek tüketimli ısıtıcılar, klimalar, projeksiyonlar, LCD ekranlar, yüksek güç kapasiteli bilgisayar kasaları, flüoresan aydınlatıcılar, günlük kesintisiz çalışan kamera güvenlik sistemleri bulunmaktadır.

4.2. Akım Harmoniklerinin Elde Edilmesi

Harmonik izleme sistemi üzerinde akım harmonik bileşenleri güç kalitesi analizörü aracılığı ile elde edilmiştir. Bu çalışmada; 3., 5., 7., 9., 11. ve 13. akım harmonik bileşenleri önerilen izleme sistemi için kullanılmıştır. Hioki marka 3196 modellenli güç kalitesi analizörü, TÜMF dağıtım panosunda bulunan 3 faza takılarak 12 hafta boyunca 10'ar dakikalık aralıklarla kesintisiz akım ve gerilim değerleri, Şekil 4.3'deki bağlantıya göre ölçülmüştür.



Şekil 4.3. 3 Fazlı elektrik panosu dağıtım sisteminin ölçümü.

Harmonikli veri kaydına başlamadan önce güç analizörünün veri kaydı için belli ayarlamalar yapılmalıdır. Bunlar;

1. Güç kalitesi analizörünün 3 fazlı girişleri, ara bağlantı kabloları ile elektrik panosunda bulunan fazlara monte edilir.
2. Bağlantılar yapıldıktan sonra 3 fazdan da veri alımının olup olmadığı kontrol edilir.
3. Analizörün tarih ve saati yerel saate göre ayarlanır.

4. Ölçümü yapılacak verilerin hangileri olduğu belirlenir ve güç analizöründe gerekli ayarlamalar yapılır.
5. Güç analizörünün dahili ve harici hafızası formatlanarak kayıt yapmaya hazır hale getirilir.
6. Harici hafızanın boyutu göz önüne alınarak yapılan kayıtların miktarına göre belli aralıklarla verilerin alınımının sağlanması için hesaplamalar yapılır.
7. Akım harmonik değerleri için temel, 3., 5., 7., 9., 11. ve 13. harmonik değerler seçilerek harmonik değerlerin kaydedilmesi sağlanır.
8. Harmonik değerlerin standartlar çerçevesinde kayıtları için zaman aralıkları seçilir. Gerçekleştirilen tez çalışmasında kayıt zaman aralığı ulusal ve uluslararası standartlara göre 10 dakika olarak ayarlanmıştır.
9. Oluşturulan sistemin çalışıp çalışmadığı kısa aralıklı testlerle değerlendirilir.
10. 1 günlük ve 1 haftalık test ölçümü ile kayıtlı verilerin kontrolü ve analizi yapılır.
11. Tüm ayarlamalar yapıldıktan sonra kayıt işlemi için Start/Stop butonuna basılır ve veri kaydının olup olmadığı bir müddet incelenir.
12. Kayıt başladıktan sonra hafızanın dolumu 3 haftada gerçekleşmektedir. 3 hafta sonra kayıtlı veriler, güç analizörü durdurulduktan yani kayıtlı durumdan analiz durumuna getirildikten sonra bilgisayar arasında kurulan ağ bağlantısıyla alınır.
13. Güç analizörünün tekrar veri kaydedebilmesi için dahili ve harici hafızalar formatlanır ve tekrar Start/Stop düğmesine basılarak kayıt işlemine tekrar başlanmış olur.
14. 11, 12 ve 13. adımlar, hedeflenen harmonikli veri miktarına ulaşıncaya kadar devam eder.
15. Toplanan veriler birleştirilerek güç analizörünün yazılımı ile sayısal verilere dönüştürülür.

Analizörün Text ve Binnary kayıt formatı olmak üzere iki adet veri kayıt biçimi bulunmaktadır. Text veri tipi çok daha fazla yer kapladığından kayıt türü olarak Binnary kayıt formatı tercih edilmiştir. Veriler sistematik olarak, önce analizörün dahili ve harici hafızasında toplanır. Hafıza dolumu gerçekleşmeden önce, yaklaşık olarak 3 haftalık süre sonunda bilgisayar ortamına taşınır. Taşıma işlemi bittikten hemen sonra cihazın dahili ve harici bellek içeriği temizlenerek yeni kayıt için hazır hale getirilir. Veriler alındıktan sonra

bu işlem 3 haftada bir devam eder ve toplamda kesintisiz 12 haftalık veri oluşana kadar verilerin kayıt ve alım süreci devam eder.

4.3. Toplanan Harmonikli Veriler

Ulusal ve uluslararası standartlarda belirtilen 10'ar dakikalık aralıklarla, belirlenen harmonik akım değerleri 12 haftalık zaman diliminde kesintisiz olarak elde edilmiştir. Tablo 4.1'de tek faz için oluşan toplam harmonikli veri miktarı gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Tek faz için belirlenen harmonik derecelerin veri sayıları

Harmonik Derece	1 saat	1 gün (x 24)	1 hafta (x 7)	12hafta (x 12)
3. Harmonik	6	144	1.008	12.096
5. Harmonik	6	144	1.008	12.096
7. Harmonik	6	144	1.008	12.096
9. Harmonik	6	144	1.008	12.096
11. Harmonik	6	144	1.008	12.096
13. Harmonik	6	144	1.008	12.096
Toplam	36	864	6.048	72.576

Tablo 4.1 incelendiğinde; tek faz için 12 haftada toplamda 72.576 harmonikli veri oluşmaktadır. İncelenen sistem, üç fazlı sistem olduğundan dolayı toplam 12 haftada kümelenen veri sayısı 217.728 adet olmaktadır. Tek harmonik derece için 1 günde 144 veri oluşurken, 12 haftada toplamda 12.096 adet veri yapılmaktadır.

4.4. Harmonikli Verilerle İlgili İstatistiksel Bilgiler

Harmoniklerin gün içindeki hareketleri, bozulmaların dereceleri, harmonik değerlerindeki yükselişlerin zaman aralıkları ve bunların sebeplerinin öğrenilmesi oldukça önem arz etmektedir. Harmonikler gün içinde elektriksel yüklerin özellikleri ve kullanımına göre artmakta ve azalmaktadır. Bu nedenle, harmoniklerin sürekli ölçülmesi ve aynı zamanda da analizi gerekmektedir.

Ölçülen ortamın bir üniversite yerleşkesi olması nedeniyle genelde hafta içi mesai saatlerinde elektrik enerjisi kullanımı fazla iken, hafta sonu ise elektrik enerjisi kullanımı

az olmaktadır. Bu tür nedenlerden dolayı harmonik değerin analizinde doğru ve yararlı bilgilere ulaşmak için veriler hafta içi ve hafta sonu olarak ayrılmıştır. Böylelikle hafta içi oluşan harmonik bozulma ile hafta sonu oluşan bozulmalar ayrı ayrı değerlendirilerek, aralarındaki farklılıklar tespit edilmeye çalışılmıştır.

Tablo 4.2’de, dağıtım sistemi üzerinde A fazı için seçilen hafta içi bir güne ait saat 07:00 ile 18:00 arasında ölçülen harmonik değerler gösterilmiştir. Tablo 4.2 incelendiğinde; sabah saatlerinde harmonik değerlerde bir yükseliş gözlemlenmiş ve daha sonra bu yükseliş saat 9’a doğru düşmüş, ilerleyen saatlerde tekrar yükselişin olduğu görülmektedir. A fazı harmonik derecelerin değerlerine bakıldığında, en yüksek değerin 3. harmonik derecede çıktığı ondan hemen sonra 7. harmonik ile 5. harmonik derecenin yüksek olduğu görülmektedir. Diğer harmonik derecelerin değerleri düşük görünebilir fakat standartlara göre yüksek çıkmıştır. Harmonik değerler incelendiğinde, tüm derecelerin sabah saatlerinde çok yüksek olduğu daha sonra bu yükselişin düştüğü ve sonra tekrar bir yükselişe geçtiği görülmektedir. Akşama doğru özellikle 3. harmonikte ciddi derecede bir yükselişin olduğu tespit edilmiştir. 3. Harmoniğin akşam saatlerinde yükselmesine en büyük sebeplerinin başında aydınlatma için kullanılan nötr iletkenler üzerinde akımın oluşmasını sağlayan floresan lambaların kullanılması olarak söylenebilir.

Tablo 4.2 A fazı hafta içi ölçülen harmonik değerler ve ortalamaları.

Gün	Saat	3. Harm	5. Harm	7. Harm	9. Harm	11. Harm	13. Harm
CUMA	07:00	20,990	19,500	19,120	13,905	8,705	4,520
	08:00	7,660	9,215	13,445	10,280	6,480	2,805
	09:00	5,105	3,990	6,090	4,245	3,085	1,060
	10:00	7,420	5,555	6,435	5,110	3,070	1,625
	11:00	6,460	3,270	3,685	2,260	1,325	0,680
	12:00	15,545	9,950	7,920	4,775	2,505	1,870
	13:00	9,475	5,395	5,465	3,275	1,890	0,930
	14:00	11,525	8,305	7,420	5,180	3,690	1,365
	15:00	7,925	5,575	5,675	3,635	2,425	1,230
	16:00	14,230	12,285	10,555	8,075	6,150	4,430
17:00	18,065	13,510	11,375	7,520	4,900	4,025	
18:00	11,170	10,270	9,950	8,160	3,855	5,025	
Ortalama		11,298	8,902	8,928	6,368	4,007	2,464

Tablo 4.3’te saat 07:00 ile 18:00 arası harmonik derecelerin saatlik ölçüm değerleri görülmektedir.

Tablo 4.3 A fazı hafta sonu için ölçülen harmonik değerler ve ortalamaları.

Gün	Saat	3. Harm	5. Harm	7. Harm	9. Harm	11. Harm	13. Harm
CUMARTESİ	07:00	10,92	11,57	12,36	9,355	6,27	2,795
	08:00	7,585	1,78	5,395	4,555	3,44	0,345
	09:00	10,125	7,57	11,17	8,47	6,985	2,075
	10:00	8,7	1,855	4,35	3,175	2,84	0,27
	11:00	9,06	1,975	4,755	3,645	2,51	0,5
	12:00	8,26	4,175	8,585	5,385	4,66	1,99
	13:00	2,65	5,845	11,95	9,035	6,135	2,62
	14:00	8,53	8,815	11,29	8,38	5,655	2,58
	15:00	8,065	7,22	11,34	9,935	6,595	2,915
	16:00	6,365	3,965	8,645	10,07	6,59	3,1
	17:00	12,205	8,805	10,245	9,045	6,275	2,37
18:00	13,34	10,815	10,595	9,31	5,655	2,755	
Ortalama		8,8171	6,1992	9,2233	7,5300	5,3008	2,0263

Tablo 4.3 incelendiğinde; A fazı hafta sonu Cumartesi gününde saat 07:00 ile 18:00 arasında harmonik derecelerin, ulusal ve uluslararası standartların üstünde çıktığı görülmektedir. Özellikle sabahın ilk saatlerinde 3., 5. ve 7. harmonik değerlerin yüksek çıktığı görülmektedir. Hafta sonu ölçülen bölgede çalışmalar olduğu, özellikle laboratuvar deney çalışmaları yapılmasından dolayı harmonik derecelerde yükseklik olmuştur. Cumartesi günü yapılan laboratuvar çalışmaları nedeniyle 9. harmonikte de bir yükseliş gözlemlenmiştir. Cumartesi gününün harmonik derece ortalamaları Cuma gününe göre düşük çıkmıştır. Bu da hafta sonu elektrik tüketiminin hafta içine göre çok düşük olduğu göstermektedir. Tablo 4.4’de, dağıtım sistemi üzerinde B fazı için seçilen hafta içi rastgele seçilen bir güne ait saat 07:00 ile 18:00 arasında ölçülen harmonik değerler gösterilmiştir. B fazının harmonik değerleri A fazına göre düşük çıkmıştır. TÜMF’ndeki dağıtım sisteminin fazlar üzerine yük paylaşımının eşit olarak kurulmadığını göstermektedir.

Tablo 4.4 B fazı için hafta içi ölçülen harmonik değerler ve ortalamaları.

Gün	Saat	3. Harm	5. Harm	7. Harm	9. Harm	11. Harm	13. Harm
CUMA	07:00	5,11	3,33	3,54	2,58	1,14	1,09
	08:00	2,60	2,61	4,26	2,85	1,35	0,96
	09:00	3,40	2,15	3,80	2,64	1,57	0,77
	10:00	6,26	3,43	3,04	2,29	1,22	0,89
	11:00	7,36	3,62	3,08	2,17	1,07	0,83
	12:00	7,04	2,87	3,23	2,23	1,29	0,69
	13:00	9,92	5,17	4,16	3,59	1,75	1,22
	14:00	9,99	5,09	4,18	3,35	1,65	1,05
	15:00	13,76	7,63	5,44	3,24	1,67	1,35
	16:00	6,58	5,11	5,49	4,39	2,44	2,04
17:00	7,56	4,53	4,14	2,76	1,95	1,60	
18:00	4,79	4,06	3,72	3,83	2,20	2,29	
Ortalama		7,03	4,13	4,01	2,99	1,61	1,23

Tablo 4.5’de, dağıtım sistemi üzerinde B fazı için seçilen hafta sonu herhangi bir güne ait saat 07:00 ile 18:00 arasında ölçülen harmonik değerler gösterilmiştir.

Tablo 4.5 B fazı için hafta sonu için ölçülen harmonik değerler ve ortalamaları.

Gün	Saat	3. Harm	5. Harm	7. Harm	9. Harm	11. Harm	13. Harm
CUMARTESİ	07:00	5,63	3,84	4,38	3,94	2,12	1,31
	08:00	2,15	1,88	4,66	4,58	3,05	0,88
	09:00	1,64	0,68	3,11	3,2	2,18	0,75
	10:00	2,82	1,71	4,33	3,63	3,79	1,13
	11:00	2,7	1,86	3,96	3,39	3,15	1,24
	12:00	2,06	1,53	4,42	2,78	2,66	0,73
	13:00	3,24	1,02	3,18	2,5	1,69	0,66
	14:00	4,6	1,64	3,64	3,44	2,08	0,89
	15:00	5,79	2,51	4,38	4,62	2,48	1,27
	16:00	3,95	1,85	2,98	3,61	1,97	1,18
17:00	6,9	3,64	3,66	3,57	1,96	1,43	
18:00	7,73	5,11	4,02	3,95	1,4	1,4	
Ortalama		4,101	2,273	3,893	3,601	2,378	1,073

Yapılan ölçümlerle oluşan Tablo 4.4 ve Tablo 4.5 incelendiğinde; hafta içi Cuma gününde saat 07:00 ile 18:00 arasında yarım saatlik 10 zaman diliminde harmonik derecelerin, aynı saat ve gündeki A fazı değerlerine göre çok düşük olduğu görülmektedir. B fazının bu değerleri, harmonik standartlara göre yakın çıktığı tespit edilmiştir. Hafta içi B fazının ölçülen bu değerleri, A fazının aynı gün ve aynı saatteki değerlerinin ortalamalarına göre çok düşük olduğu görülmektedir. Cuma günü için B fazındaki 7. harmonik derecenin analiz edilen saat dilimi için ortalaması 3,524 iken; aynı saat ve aynı

gün için A fazında oluşan 7. harmonik bozulman değeri 10,066 olduğu görülmektedir. A fazının, 7. harmonik seviyesi saat 08:20 de 18,035 iken; B fazının bu saatteki değeri 4,41 olarak ölçülmüştür. Hafta sonu için bakıldığında, A fazının, 7. harmonik seviyesi saat 08:10 da 18,29 iken; B fazının bu saatteki değeri 3,48 olarak ölçülmüştür. Ölçülen bölgedeki dağıtım sisteminin fazlar açısından eşit olarak bölünmediği açıkça ortaya çıkmaktadır. Hafta içi ve hafta sonu ölçülen harmonik derecelerin anlık değerleri ve ortalama değerlerinin A fazına göre düşük çıkmasının sebebi, ortamdaki doğrusal olmayan yüklerin genelde A fazı üzerinde çekildiği, eşit bir dağıtım sisteminin kurulmadığı şeklinde yorumlanabilir. Hafta sonu ölçülen harmonik derecelerde ortalama değerlerin yakınlık gösterdiği tespit edilmiştir.

Tablo 4.6'da, dağıtım sistemi üzerinde C fazı için seçilen hafta içi bir güne ait saat 07:00 ile 18:00 arasında ölçülen harmonik derecelerin değerler görülmektedir.

Tablo 4.6. C fazı hafta içi ölçülen harmonik değerler ve ortalamaları.

Gün	Saat	3. Harm	5. Harm	7. Harm	9. Harm	11. Harm	13. Harm
CUMA	07:00	15,91	11,75	10,85	6,07	3,65	2,07
	08:00	9,72	13,29	19,84	13,85	11,28	3,11
	09:00	19,93	16,39	18,68	13,71	12,16	3,70
	10:00	13,48	8,78	6,59	4,04	3,70	1,91
	11:00	15,04	8,86	6,53	3,09	2,80	2,09
	12:00	16,51	8,40	5,63	3,09	2,52	1,84
	13:00	17,42	9,12	5,61	2,53	1,96	1,50
	14:00	19,48	10,13	5,59	2,60	2,40	1,64
	15:00	13,72	6,18	3,86	1,96	1,84	1,16
	16:00	29,79	16,26	8,62	5,27	5,43	5,39
	17:00	18,51	11,35	9,02	5,68	5,71	3,87
18:00	7,49	8,57	9,23	9,77	8,09	3,23	
Ortalama		16,42	10,76	9,17	5,97	5,13	2,63

Tablo 4.7'de, dağıtım sistemi üzerinde C fazı için seçilen hafta sonu herhangi bir güne ait saat 11:00 ile 12:30 arasında ölçülen harmonik değerler gösterilmiştir.

Tablo 4.7. C fazı hafta sonu için ölçülen harmonik değerler ve ortalamaları.

Saat	Gün	3. Harm	5. Harm	7. Harm	9. Harm	11. Harm	13. Harm
CUMARTESİ	07:00	38,44	26,67	23,52	17,4	12,32	5,63
	08:00	8,45	7,82	14,21	13,48	13,49	3,53
	09:00	33,61	19,08	20,01	16,79	14,66	5,92
	10:00	5,09	2,86	5,15	4,09	6,03	1,45
	11:00	4,19	1,53	3,8	3,8	4,35	1,55
	12:00	3,95	1,24	4,51	2,99	3,82	1,33
	13:00	13,53	7,69	9,45	8,07	7,04	2,72
	14:00	6,21	2,81	5,08	4,77	4,02	1,58
	15:00	7,47	3,61	4,85	4,01	3,33	1,43
	16:00	6,4	2,75	4,04	4,65	3,89	2,01
	17:00	27,05	17,18	15,91	13,64	10,49	5,74
18:00	16,66	14,17	14,42	12,26	7,51	4,83	
Ortalama		14,25	8,95	10,41	8,83	7,58	3,14

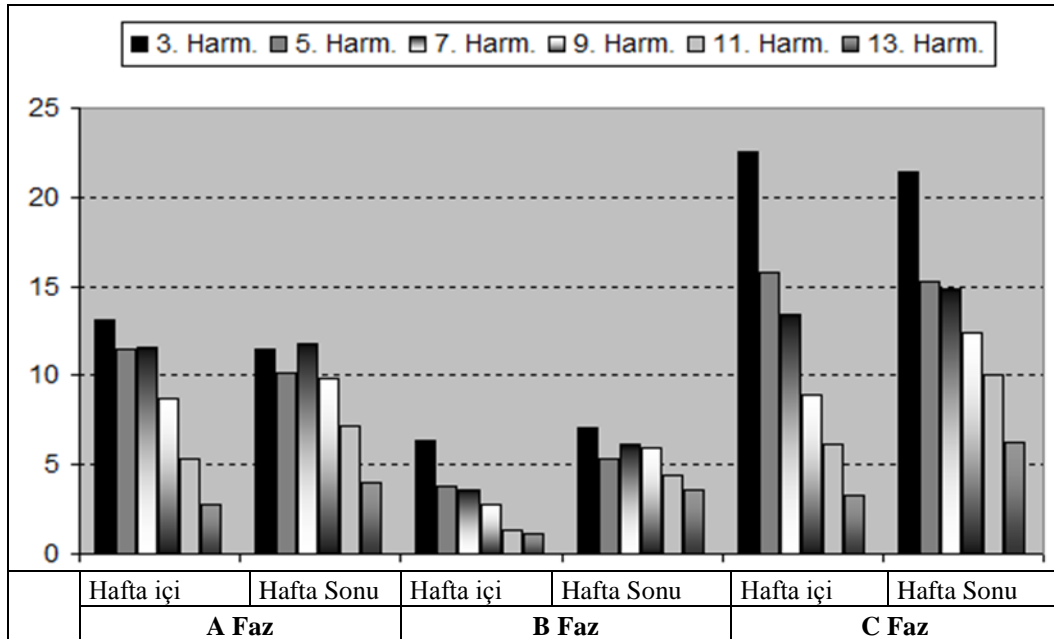
Dağıtım sistemindeki üçüncü faz olan C fazının, diğer fazların aynı gün ve aynı saatte yapılan ölçümlerinde, Tablo 4.6 ve Tablo 4.7 değerleri oluşmaktadır. Bu değerler incelendiğinde; Cuma ve Cumartesi günlerinin harmonik derecelerdeki bozulmaların ulusal ve uluslararası harmonik standartların çok fazla üstünde olduğu tespit edilmiştir. C fazının hemen hemen tüm harmonik dereceleri çok yüksek çıkmıştır. Örneğin hafta sonu 3. harmonik derecenin 38'e kadar çıktığı, 5. harmonik derecenin 26'ya kadar çıktığı ve diğer derecelerde ulusal ve uluslararası standartlar seviyesini çok aştığı görülmektedir. Hafta içi harmonik dereceler incelendiğinde hem ortalama değer olarak hem de anlık değer itibarıyla A ve B fazına göre çok yüksek çıktığı görülmektedir. Cuma günü saat 7'de C fazının 3. harmonik derecesi 38'in üzerinde iken; A fazında bu saatte yaklaşık 21, B fazında ise 5,11 olarak ölçülmüştür. TÜMF elektrik dağıtım panosunu fazlar açısından değerlendirdiğimizde C fazının harmonik derecelerin değerleri çok yüksek çıkmakta, aynı saat ve günde yapılan diğer fazların ölçümlerinde ise özellikle B fazının değerinin düşük olduğu ve harmonik standartlar çerçevesine yakın olduğu tespit edilmiştir. A ve C fazlarında harmonik derecelerin çok yüksek çıktığı görülmektedir. A, B ve C fazları için hafta içi ve hafta sonu rastgele seçilen günlerde oluşan harmonik değerlerin ortalamaları Tablo 4.8'de gösterilmektedir. Tablo 4.8 incelendiğinde; aynı gün ve aynı saatlerde A ve B fazlarında harmonik seviyenin yüksek çıkmasına rağmen C fazındaki harmonik değerlerin düşüklüğü; dağıtım sistemindeki dengesizliği açık olarak göstermiştir. Bu değerler incelendiğinde; A fazı için tüm harmonik derecelerin uluslararası standartlara göre çok yüksek çıktığı görülmüştür. Hafta içi tüm harmonik değerlerin ortalamaları A faz

değerlerinden olan harmonik ortalamalara göre düşük çıkmıştır. Örneğin hafta içi Cuma gününde A fazındaki 7. harmonik derecenin analiz edilen saat dilimi için ortalaması 23,987 iken; aynı saat ve aynı gün için B fazında oluşan 7. harmonik bozulma değeri 6,287 ve C fazı için 6,883 olmaktadır. Hafta sonu olan Pazar günü ise aynı saatlerde mesai olmaması ve çalışmaların az olması nedeni ile harmonik dereceler normal seviye yaklaştığı görülmektedir. Hafta sonu 7. harmonik derece A fazı için 8,495 iken; B fazı 7,815 ve C fazı 6,438 olarak ölçülmüştür. Bu değer harmonik standartlara yakın çıkmıştır.

Tablo 4.8. A, B ve C fazlarına ait rastgele seçilmiş bir gündeki harmonik dereceler ortalamaları

Harmonik Dereceler	Faz A		Faz B		Faz C	
	Hafta İçi	Hafta Sonu	Hafta İçi	Hafta Sonu	Hafta İçi	Hafta Sonu
3. Harm.	13,161	11,502	6,338	7,033	22,567	21,4104
5. Harm.	11,523	10,153	3,783	5,376	15,793	15,2449
7. Harm.	11,541	11,734	3,603	6,177	13,423	14,806
9. Harm.	8,701	9,866	2,784	5,947	8,863	12,4237
11. Harm.	5,289	7,201	1,354	4,451	6,179	10,0329
13. Harm.	2,775	3,989	1,083	3,592	3,235	6,2037

Şekil 4.4'te 3 fazın hafta içi ve hafta sonu rastgele seçilen gün ve saat için oluşan harmonik dereceler ortalamaları grafiği görülmektedir.



Şekil 4.4. Harmonik dereceler ortalamaları

Şekil 4.4 incelendiğinde; dağıtım sistemlerindeki C fazı hafta içi harmonik derecelerinin, A ve B fazlarındaki aynı gün ve saatlere göre çok yüksek çıktığı görülmektedir. Hafta sonu harmonik değerlerin ortalamaları tüm fazlarda standartlara yakın çıkmıştır. C fazındaki değerlerin hem hafta içi hem hafta sonu yüksek çıkması, ölçülen ortamda dağıtım sistemi faz dağılımının dengeli yapılmadığını göstermektedir.

4.4.1. Hafta İçi Harmonikli Verilere Ait Bilgiler

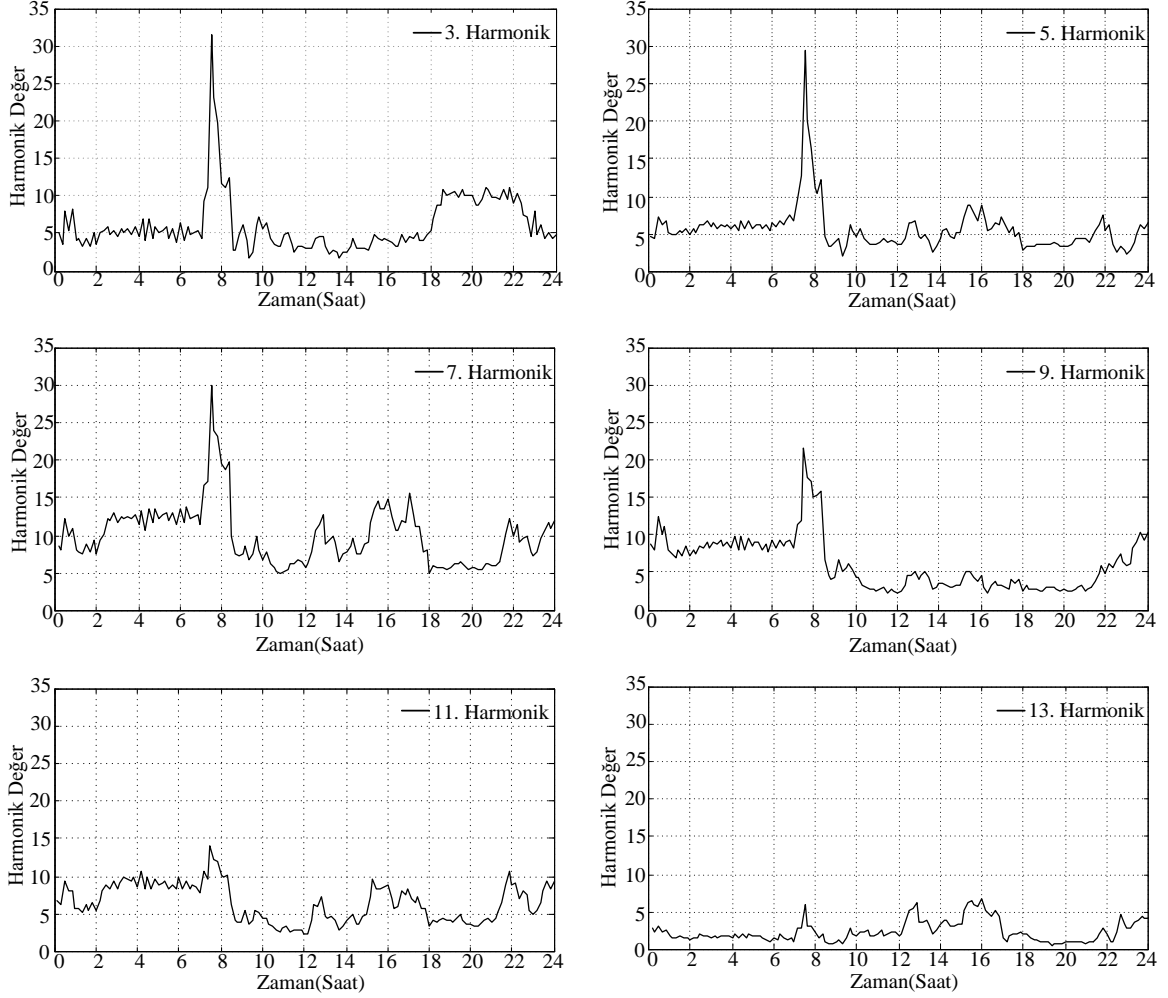
Bu bölümde, hafta içi herhangi bir gün seçilerek oluşan harmonik değişimler gözlenmeye çalışılmıştır. Harmonikli veriler hafta içi ve hafta sonu olarak ayrıldığında 12 haftalık ve her hafta 5 gün olmak üzere toplamda 60 günlük veri analiz edilmiştir. Tablo 4.9'da 3 fazlı sistemde ölçüm sonuçlarına göre oluşan ve analizi yapılacak olan hafta içi harmonikli veri sayıları görülmektedir.

Tablo 4.9. Hafta içi harmonikli veri sayıları

Harmonik Derece	Faz A			Faz B			Faz C			Toplam
	1 Gnlk	1 Hft	12 Hft	1 Hft	12 Hft	12 Hft	1Gnlk	1 Hft	12 Hft	
3. Harm	144	720	8.640	144	720	8.640	144	720	8.640	25.920
5. Harm	144	720	8.640	144	720	8.640	144	720	8.640	25.920
7. Harm	144	720	8.640	144	720	8.640	144	720	8.640	25.920
9. Harm	144	720	8.640	144	720	8.640	144	720	8.640	25.920
11. Harm	144	720	8.640	144	720	8.640	144	720	8.640	25.920
13. Harm	144	720	8.640	144	720	8.640	144	720	8.640	25.920
Toplam	864	4.320	51.840	864	4.320	51.840	864	4.320	51.840	155.520
Gnlk(Günlük), Hft(Haftalık), Harm(Harmonik Derece)										

Günlük tek faz ve tek harmonik derece için 144 adet veri oluşmaktadır. 6 harmonik derece için toplamda 864 adet veri yapmaktadır. 3 fazlı sistem ölçüldüğünden 6 harmonik derece için toplamda günlük 2.592 adet veri oluşmaktadır. Bu veri sayısı 60 günde yani 12 haftada 155.520 adet yapmaktadır. Tek faz incelendiğinde 155.520 sayısı 51.840 olmakta, harmonik dereceler tek grafikte gösterildiğinde ise tek faz için 8.640 adet olmakta, 3 fazlı sistem için sayı 25.920 adet olmaktadır.

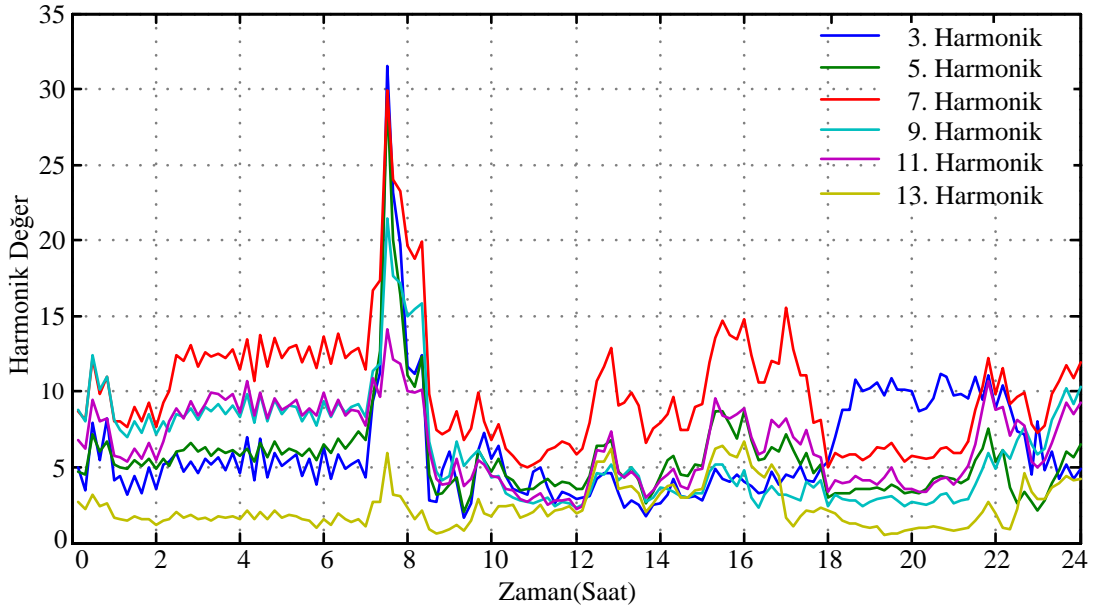
Şekil 4.5’de, hafta içi seçilmiş bir güne ait harmonik derecelerin, gün içindeki ayrı ayrı dağılımları sunulmuştur.



Şekil 4.5. Hafta içi seçilmiş bir günlük harmonik derecelerin zamansal dağılımı

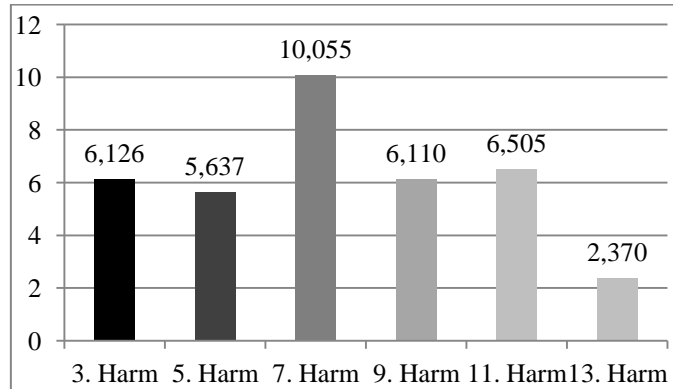
Şekil 4.5’deki harmonik derecelerin seçilmiş bir gün içindeki dağılımı incelendiğinde; 3., 5. ve 7. harmonik derecenin uluslararası standartlara göre çok yüksek çıktığı görülmektedir. 9, 11 ve 13. harmonik derecelerde ulusal ve uluslararası standartlara göre yüksek çıkmıştır; fakat ölçülen ortamda kullanılan elektrikli aygıtlar genelde 3., 5. ve 7. harmonik bozulmaya sebebiyet vermiştir. 9. harmonik ise standartlara göre yüksek çıkmış; fakat diğer harmonik değerlerine oranla biraz daha düşük kalmıştır. Harmonik derecelerin dağılımları incelendiğinde 3., 5. ve 7. harmonik derecenin sabah saat 7 den sonra ani olarak yükseldiği ve bu yükselişin 35’ler parametresine kadar çıktığı görülmektedir. Ani harmonik bozulma yaklaşık 1 saat sürdüğü 8 den sonra yükselişin düşüşe geçtiği ve normal seviyeye yaklaştığı tespit edilmiştir. Akşam saatlerine doğru harmonik seviyelerde yeniden

bir yükseliş olduğu gece bu yükselişin normal seviyelere indiği görülmektedir. 9. harmonik, diğer harmonik hareketlere benzer davranışlar sergilerken 11. ve 13. harmonik derecelerde çok fazla miktarda bir yükseliş gözlemlenmiştir, fakat uluslararası standartlara göre de yüksek çıkmıştır. Bu harmonik derecelerin zamansal (saat) olarak dağılımı Şekil 4.6'de gösterilmiştir. Şekil 4.6'da sabah saatlerinde yaklaşık tüm harmonik derecelerinde çok fazla bir yükseliş olduğu tespit edilmiştir. Bu saatlerdeki yükselişin nedenlerine bakıldığında mesainin 8 gibi başladığı dikkate alındığında saat 7 gibi ölçülen ortamda çalışmaların başladığı görülmektedir. TÜMF'de gece dersleri olduğundan akşam saatlerine doğru tekrar harmonik derecelerin yükseldiği görülmektedir.



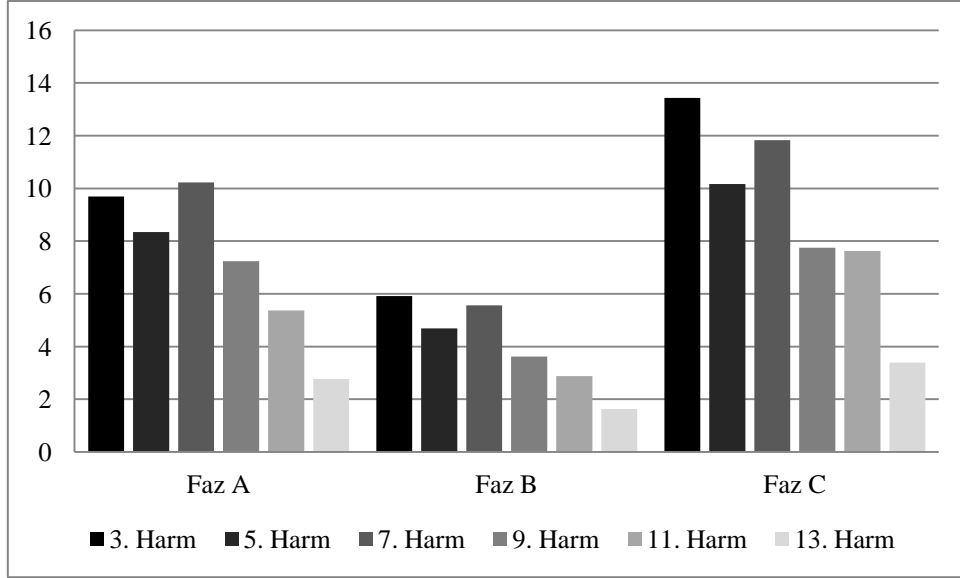
Şekil 4.6. Seçilen hafta içi bir güne ait tüm harmonik derecelerin zamansal dağılımı

Şekil 4.7 da, hafta içi seçilmiş bir günlük harmonik değerlerin ortalamaları görülmektedir.



Şekil 4.7. Hafta içi seçilmiş güne ait harmonik derecelerin ortalamaları

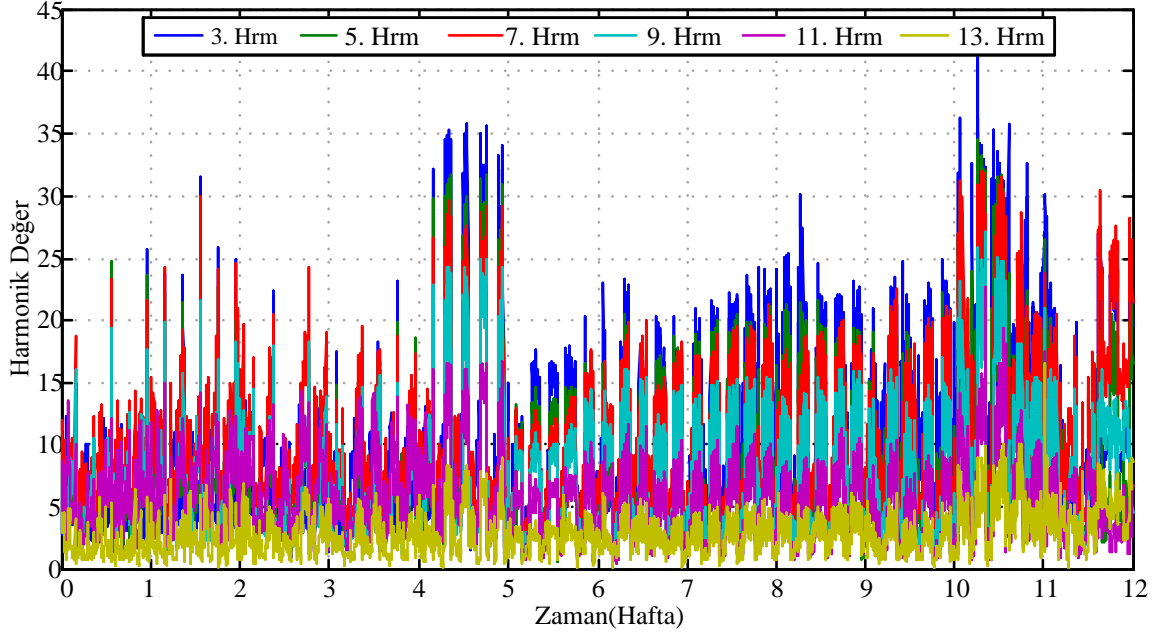
Şekil 4.7 incelendiğinde; belirlenen hafta içi güne ait harmonik değerlerinin ortalamaları görülmektedir. 7. harmonik derecesinin yüksek çıktığı tespit edilmiştir. Bu analiz, 12 haftalık hafta içi, toplamda 60 günlük harmonik derecelerinin ortalamaları üzerinde yapıldığında, Şekil 4.8’de gösterilen sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.8. Hafta içi üç faza ait harmonik derecelerinin ortalamaları

12 haftalık hafta içi günleri toplamda 60 günlük harmonik değerler incelendiğinde; 7. harmonik derece ile 3. harmonik derecesinin üç faz içinde çok yüksek çıktığı görülmüştür. Şekil 4.8 incelendiğinde; harmonik derecelerinin uluslararası standartlarda belirtilen değerlerin çok üstünde olduğu tespit edilmiştir. A ve C fazı harmonik değerleri çok yüksek çıkarken B fazının harmonik değerleri diğer fazlara göre düşük olarak ölçülmüştür. C fazının hemen hemen tüm harmonik dereceleri diğer fazlara göre yüksek çıktığından ölçülen ortamda yükün genelde C fazı üzerinden ya da daha çok harmonik üreten elemanların C fazı üzerinden beslendiği söylenebilir. B fazındaki harmonik değerler diğer fazlara göre biraz daha düşük çıkmıştır. Yükün çok az kısmı B fazından beslenmekte veya düşük harmonik üreten elektrik-elektronik aygıtlar, B fazını kullanmakta olabilir.

Şekil 4.9’da hafta içi elde edilen 12 haftalık harmonik derecelerinin haftalık bazda dağılımları görülmektedir.



Şekil 4.9. Hafta içi tüm harmonik derecelerin 12 haftalık dağılımları

Harmonik derecelerin haftalık değerleri incelendiğinde; 12 haftalık süreçte haftalık değerlerin farklılık gösterdiği görülmektedir. Uluslararası IEC 519-1992 'ye göre standartlar içinde kabul edilen harmonik bozulma değerleri, akım için % 5 olarak belirlenmiştir; fakat ana dağıtım panosunda yapılan ölçümlerde akım harmoniği %10 ila %12 üzerinde ise önlem alınması gerektiği belirtilmiştir. Harmonik değerlerin 4. Hafta ile 5. Hafta çok ani yükselişlerin olduğu görülmektedir. Diğer haftalarda da harmonik derecelerin standartlar üstünde olduğu tespit edilmiştir. 10. Hafta ile 12. Hafta arasındaki hemen hemen tüm harmonik derecelerde ani yükselmeler olduğu, 3. harmonik derecenin ise son haftaya doğru 42'lere kadar çıktığı görülmektedir. Harmonik derecelerin uluslararası standartlara göre çok yüksek çıktığı ve gerekli önlemler alınmadığı takdirde ciddi sorunlara sebebiyet verebileceği görülmüştür.

4.4.2. Hafta Sonu Harmonikli Verilere Ait Bilgiler

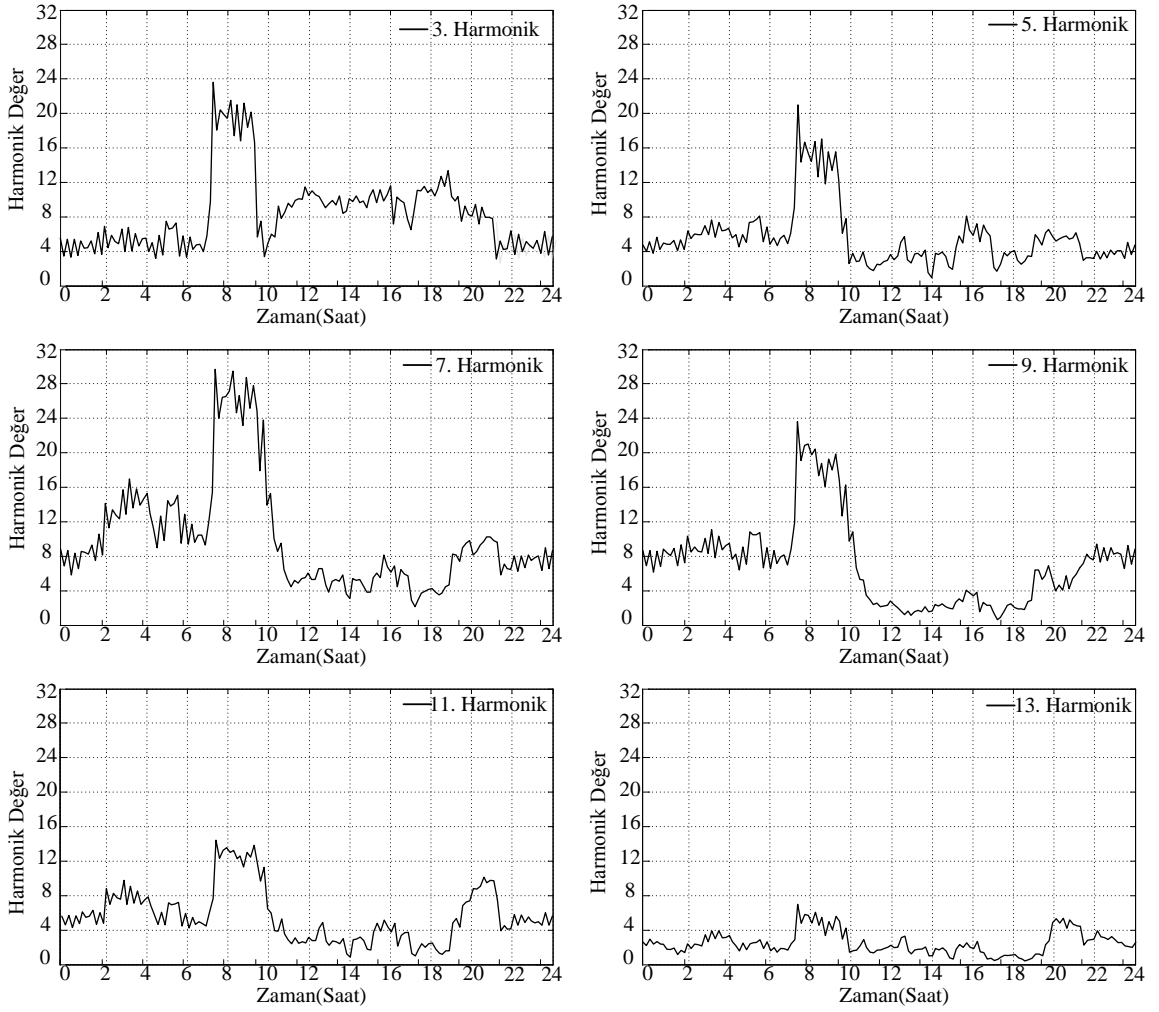
Harmonikli veriler hafta içi ve hafta sonu olarak ayrıldığında 12 haftalık ve her hafta sonu iki gün olduğundan toplamda 24 günlük hafta sonu verisi analiz edilecektir. Tablo 4.10'da 3 faz sistemde ölçüm sonuçlarına göre oluşan ve analizi yapılacak olan hafta sonu harmonikli veri sayıları görülmektedir.

Tablo 4.10. Hafta sonu harmonikli veri sayıları

Harmonik Derece	Faz A			Faz B			Faz C			Toplam
	1 Gnlk	1 Hft	12 Hft	1 Hft	12 Hft	12 Hft	1Gnlk	1 Hft	12 Hft	
3. Harm	144	288	3.456	144	288	3.456	144	288	3.456	10.368
5. Harm	144	288	3.456	144	288	3.456	144	288	3.456	10.368
7. Harm	144	288	3.456	144	288	3.456	144	288	3.456	10.368
9. Harm	144	288	3.456	144	288	3.456	144	288	3.456	10.368
11. Harm	144	288	3.456	144	288	3.456	144	288	3.456	10.368
13. Harm	144	288	3.456	144	288	3.456	144	288	3.456	10.368
Toplam	864	1.728	20.736	864	1.728	20.736	864	1.728	20.736	62.208

Gnlk(Günlük), Hft(Haftalık), Harm(Harmonik Derece)

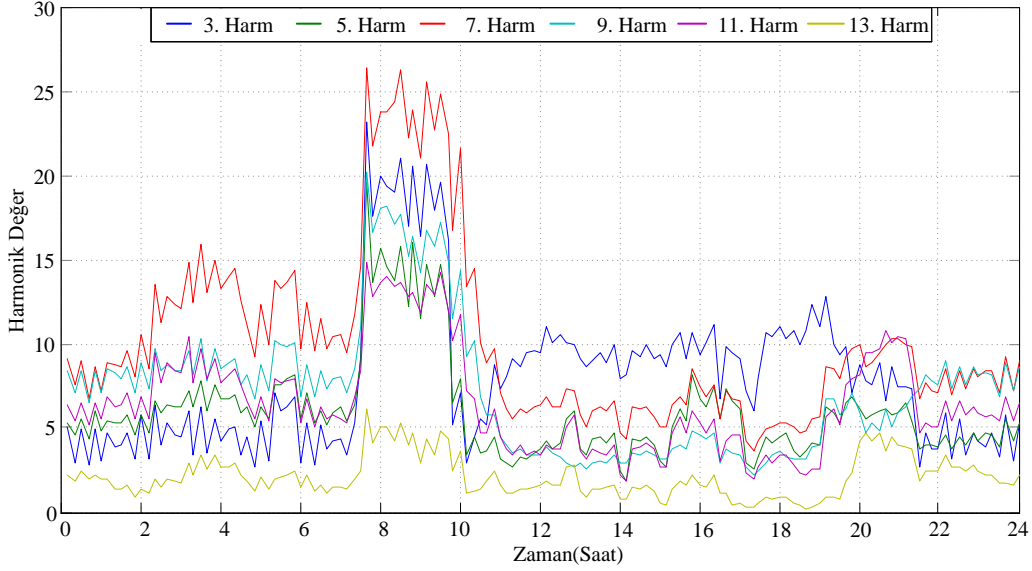
Günlük tek faz ve tek harmonik derece için 144 adet veri oluşmaktadır. 6 harmonik derece için toplamda 864 adet veri yapmaktadır. 3 fazlı sistem ölçüldüğünden 6 harmonik derece için toplamda günlük 2.592 adet veri oluşmaktadır. Bu veri sayısı 24 günde yani 12 haftada 62.208 adet yapmaktadır. Tek faz incelendiğinde 62.208 sayısı 20.736 olmakta, harmonik dereceler tek grafikte gösterildiğinde ise tek faz için 3456 adet olmakta, 3 fazlı sistem için 10.368 adet olmaktadır. Harmonikli verilerde hafta sonu herhangi bir gün seçilerek 24 saat boyunca harmonik değişimler gözlenmeye çalışılmıştır. Şekil 4.10'da hafta sonu rastgele seçilmiş bir günün harmonik derecelere göre gün içindeki dağılımları görülmektedir.



Şekil 4.10 Hafta sonu seçilmiş bir günlük harmonik derecelerin saatlik dağılımı.

Şekil 4.10'daki harmonik derecelerin seçilmiş bir gün içindeki dağılımı incelendiğinde; 3., 5., 7. ve 9. harmonik derecenin ulusal ve uluslararası standartlara göre çok yüksek çıktığı görülmektedir. 11. harmonik derecede uluslararası standartlara göre çok yüksek çıkmıştır; 13. harmonik derece genelde uluslararası standartlarda belirtilen değerlerin biraz üstünde çıkmıştır. Harmonik derecelerin dağılımları incelendiğinde; 3., 5., 7. ve 9. harmonik derecenin sabah saat 7'den sonra ani bir yükseliş gösterdiği ve bu yükselişin 32 seviyesine kadar çıktığı görülmektedir. Ani harmonik bozulma yaklaşık 3 saat sürdüğü saat 10'dan sonra yükselişin düşüşe geçtiği ve normal seviyeye yaklaştığı tespit edilmiştir. 11. harmonik derece de diğer harmonik hareketlere benzer davranışlar sergilerken, 13. harmonik derecelerde çok fazla miktarda bir yükseliş gözlemlenmemiştir, fakat uluslararası standartlara göre de yüksek çıkmıştır. Hafta sonu harmonikli verilerinden yüksek değerlerin 7. harmonik derecede olduğu tespit edilmiştir.

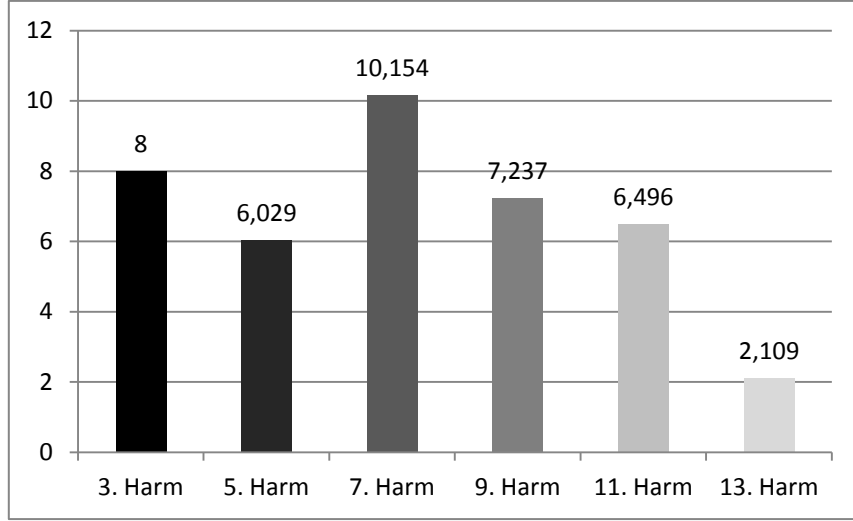
Ölçümle bir günlük harmonik derecelerin toplu olarak zamansal değişimleri Şekil 4.11’de gösterilmiştir



Şekil 4.11. Seçilmiş hafta sonu bir günlük tüm harmonik derecelerin saatlik dağılımı

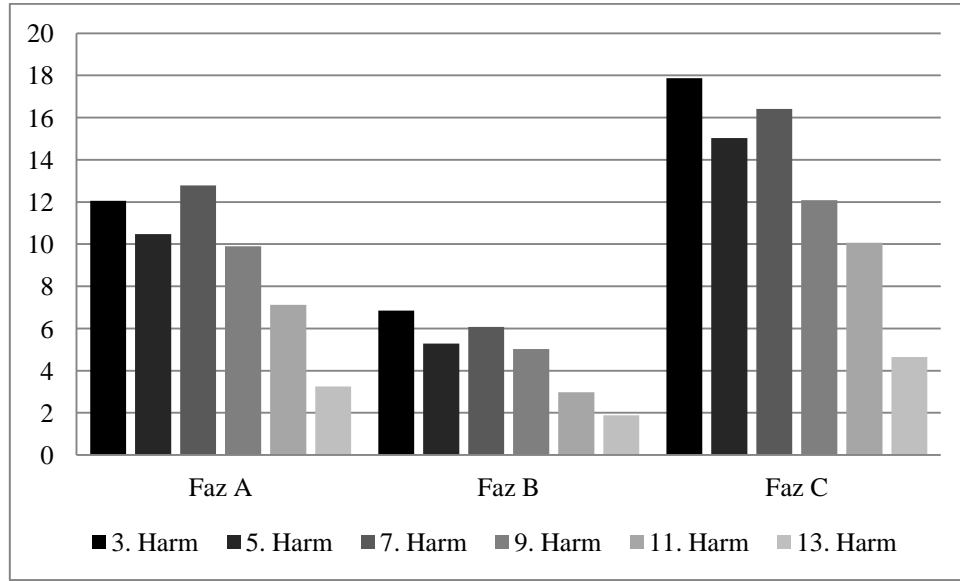
Şekil 4.11’de, verilen bir günlük harmonik derecelerin saatlere göre bozulmaları incelendiğinde; sabah saatlerinde yaklaşık tüm harmonik derecelerde çok fazla bir yükseliş olduğu tespit edilmiştir. Hafta sonu bazı derslerin işlenmesi ve laboratuvar çalışmaları nedeniyle harmonik bozulmalarda bir artış olmuştur. Hafta sonu seçilmiş bir günde ölçülen bölgede çalışmaların olmaması, sadece kamera ve güvenlik nedeniyle açık tutulan ışık ve ısıtıcıların olması nedeniyle akşam saatlerinde harmonik bozulmaların uluslararası standartlar düzeyine ulaştığı görülmüştür. Harmonik dereceler hafta sonu çalışmalarında bozulmalara ve seviyelerinde özellikle sabah saatlerinde çok ciddi bir artış görülmüştür. Bu artış sabah saatlerinde 7’de başlayıp saat 10’a kadar sürdüğü daha sonra normal düzeyde hareket ettiği görülmüştür.

Şekil 4.12’deki hafta sonu seçilmiş bir günlük harmonik değerlerin ortalamaları görülmektedir.



Şekil 4.12. Hafta sonu seçilmiş bir günlük harmonik derecelerin ortalamaları

Ölçülen 3 faz hafta sonu, 12 haftalık harmonikli verilerin toplamda 24 günlük harmonik değerlerin ortalamaları Şekil 4.13’de görülmektedir.

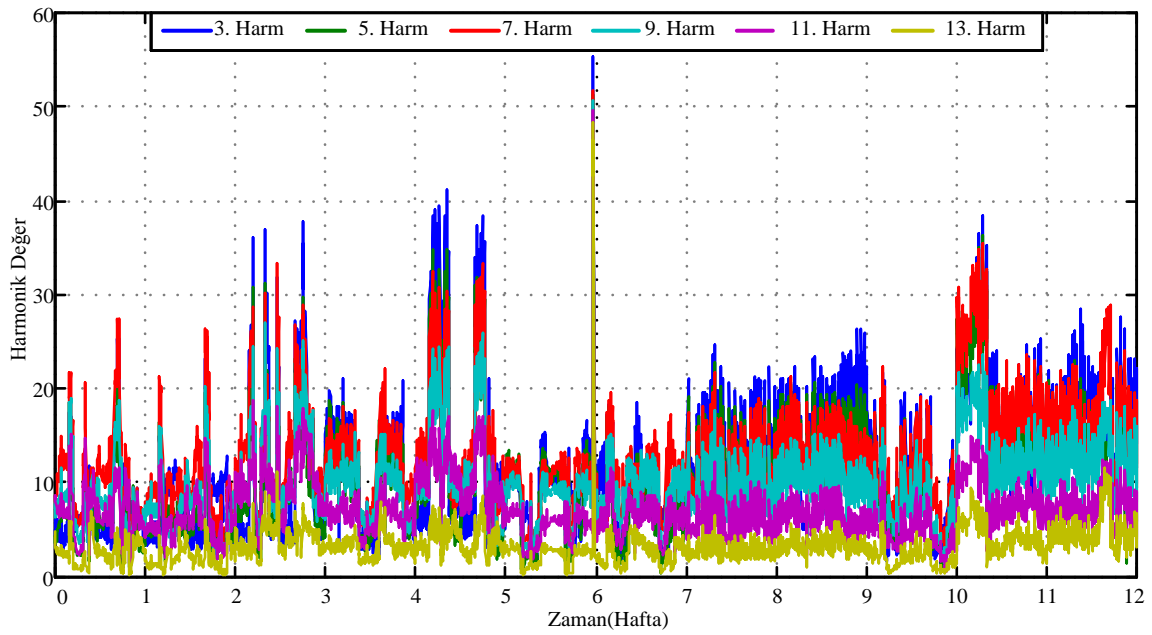


Şekil 4.13. Hafta sonu 3 faz’a ait harmonik derecelerin ortalamaları

Şekil 4.13 incelendiğinde; hafta sonu toplam 24 günün harmonikli verilerinin, 7. harmonik derece ile 3. harmonik derecenin hafta içi harmonik derecelerin sonuçlarına benzer olarak 3 fazda da çok yüksek çıktığı görülmüştür. C fazında harmonik derecelerin tümü yüksek çıkmış ve harmonik standartların çok üzerinde oldukları tespit edilmiştir. B fazındaki harmonikli verilerin ortalamaları uluslararası standartlar düzeyine yakın

çıkıştır. A fazındaki harmonik ortalama standartların üzerinde olduğu tespit edilmiştir. 12 hafta boyunca yapılan kesintisiz ölçümlerde, 3 faz için harmonik derecelerin ortalamaları göz önüne alındığında ölçülen bölgede yük dağılımının fazlara doğru bir şekilde bölünmediği ya da harmoniklere sebep olan elektrik aygıtların çok yoğun kullanıldığı tespit edilmiştir.

Şekil 4.14’de harmonik derecelerine ait tüm verilerin, 12 haftalık dağılımları görülmektedir.



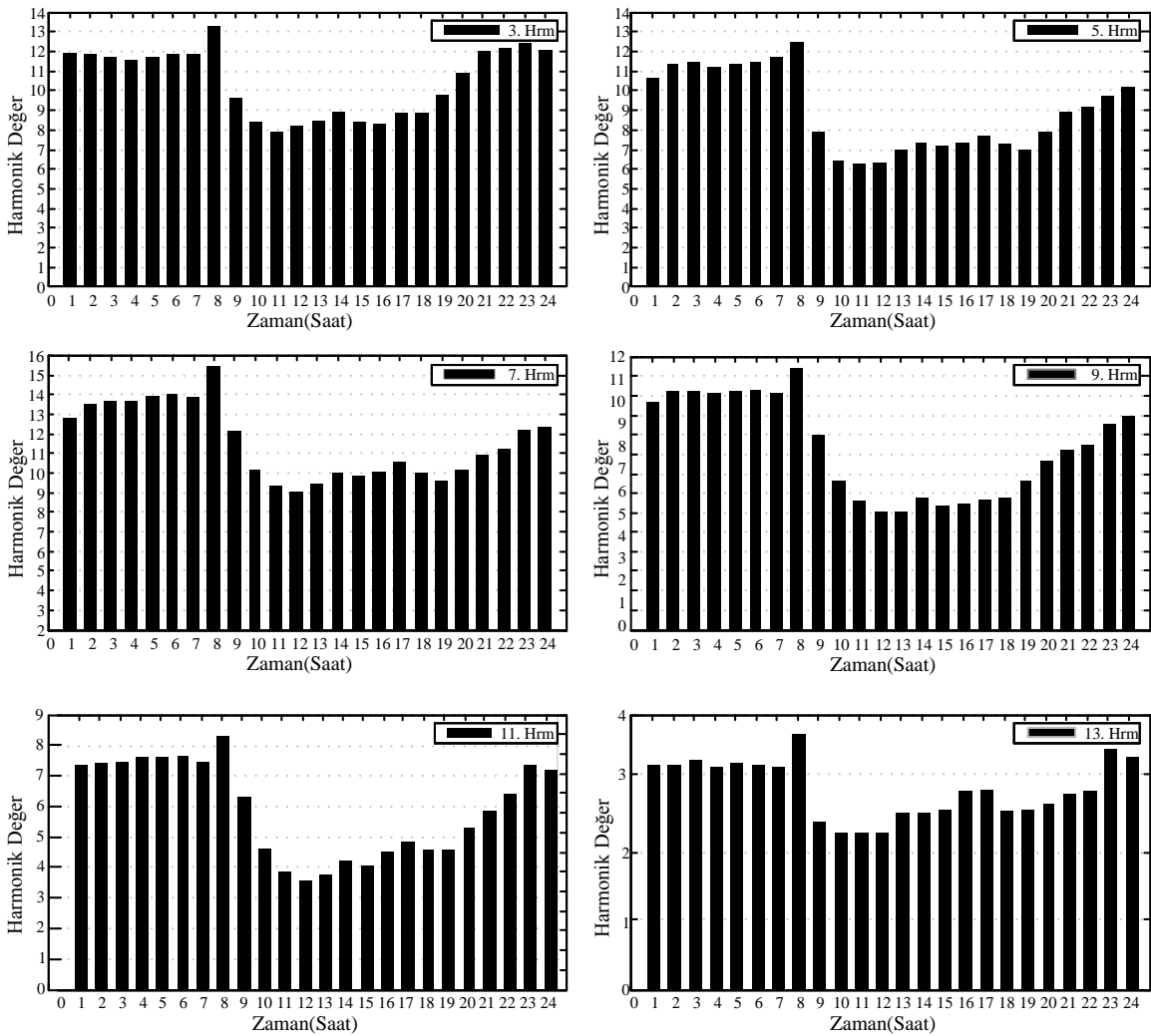
Şekil 4.14. Hafta sonu harmonik derecelerinin 12 haftalık dağılımları

Harmonik derecelerinin haftalık değerleri incelendiğinde; 12 haftalık süreçte haftalık değerlerin farklılık gösterdiği görülmektedir. Uluslararası IEC 519-1992’ye göre standartlar içinde kabul edilen harmonik bozulma değerleri, akım için % 5 olarak belirlenmiştir; fakat ana dağıtım panosunda yapılan ölçümlerde akım harmoniği %10 ila %12 değerlerinin üzerinde ise önlem alınması gerekmektedir. Harmonik değerlerin 3, 5 ve 11. hafta çok yükseldiği görülmektedir. Diğer haftalarda da harmonik derecelerinin standartlar üstünde olduğu tespit edilmiştir. 6. haftada ise harmonik bozulma çok artmış ve kısa süreliğine de olsa yaklaşık 55’e kadar çıkmıştır. Haftalık harmonik değerlerin 42’ye kadar çıktığı günler olduğu tespit edilmiştir. Bu değer ölçülen ortam için ciddi sorunlara sebebiyet verebilir. Uluslararası standartlara göre ölçülen ortamda yoğun harmonik

bozulmaların olduğu açık bir şekilde tespit edilmiştir. Bundan dolayı erken vakitte harmoniklerin azaltılması için gerekli önlemlerin alınması gerekliliği ortaya çıkarmıştır.

4.4.3. 12 Haftalık Harmonikli Verilerin Zamansal Değişimi

Dağıtım sisteminin 12 haftalık ölçüm sonucunda oluşan harmonikli veriler incelendiğinde; değerler 10'ar dakika olarak alınmakta ve 1 saatte her harmonik derece için 6 harmonikli veri oluşur. Bu verilerin ortalamaları alınarak her saat için ortalama harmonik değer hesaplanmaya çalışılmıştır. Buradaki amaç 1 günlük tüm harmonik derecelerinde oluşan verilerin saatlik olarak ortalamaların dağılımı gösterilmeye çalışılmıştır. 24 saatlik harmonikli verilerin ortalama değerleri Şekil 4.15'de verilmiştir.



Şekil 4.15. Tüm harmonikli verilerin saatlik ortalama değerleri

Harmonik derecelerin saatlik ortalama değerleri incelendiğinde; genelde sabah saat 8’de harmonik değerlerin çok yükseldiği görülmektedir. Ölçülen ortamda sabah mesai saatinin başlaması ile harmonik derecelerde yükselme olduğu, daha sonra oluşan bu bozulmanın ilerleyen saatlerde belli ölçülerde düşüş yaşadığı görülmektedir. Akşama doğru bu düşüşlerin tekrar yükselişe geçtiği, gece geç saatlerde harmonik derecelerin normal seviyenin çok fazla üstüne çıktığı tespit edilmiştir. Bütün gün bakıldığında harmonik derecelerin seviyelerinin yüksek çıktığı görülmektedir. Harmonik derecelerin saatlere göre ortalamalarına bakıldığında 3. harmonik derecenin 13’n üzerine çıktığı, 7. harmonik derecenin aynı saatlerde 15’in üzerine çıktığı, 13. harmonik derecenin ise 3,5 dolaylarında olduğu grlmştir. Harmonik derecelerin ortalama değerleri Tablo 4.10’da gösterilmiştir.

Uluslararası IEC 519-1992’ye göre standartlar içinde kabul edilen harmonik bozulma değerleri, akım için % 5 olarak belirlenmiştir; fakat ana dağıtım panosunda yapılan ölçümlerde akım harmoniği %10 ila %12 değerlerinin üzerinde ise önem alınmalıdır. Ölçülen ortam TMF ana panosu harmonik derecelerin ortalama değeri bile göz önüne alındığında ne kadar yüksek çıktığı görülmektedir. Bu nedenle ölçülen ortam için harmonik filtreleme sistemi tasarlanması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Tablo 4.11’de tüm harmonik derecelerin ortalama değerleri görülmektedir.

Tablo 4.11. Tüm harmonik derecelerin ortalama değerleri

Harmonik Derece	Harmonik Ortalama
3. Harmonik	10.369
5. Harmonik	8.9545
7. Harmonik	10.957
9. Harmonik	8.0029
11. Harmonik	5.8683
13. Harmonik	2.9064

En yüksek ortalama değer, yaklaşık 11 olan 7. harmonik derece çıkmıştır. 3. harmonik bozulma ise 10,4 olarak hesaplanmıştır. Bu iki değerinde ulusal ve uluslararası standartlara göre oldukça yüksek olduğu açıkça görülmektedir. Uluslararası IEC 519-1992’ye göre akım harmonik değerleri %10’un altında olmalıdır. Fakat lm sonuçları bu seviyenin üzerindedir.

5. HARMONİK VERİLERİN VERİ MADENCİLİĞİ TEKNİKLERİ İLE İNCELENMESİ

Dağıtım sisteminde toplanan harmonikli verilerin büyük miktarlarda ve karmaşık olması, bu veriler içerisindeki saklı örüntülerin keşfedilme sürecini ön plana çıkarmaktadır. Tez çalışmasının bu bölümünde, dağıtım sisteminden elde edilen harmonikli verilere ait önemli bilgilerin elde edilmesi için bu veriler üzerinde veri madenciliği teknikleri uygulanmıştır. Bu amaçla, harmonikli veriler üzerinde iki farklı veri madenciliği uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Birinci uygulamada, elektrik dağıtım sistemlerinde meydana gelen akım harmoniklerine k-Means kümeleme yaklaşımı uygulanarak harmoniklerin zamansal değişimlerini sınıflandıran bir harmonik izleme yaklaşımı sunulmuştur. Bu amaçla, ilk olarak bir elektrik dağıtım sistemine yerleştirilen güç kalitesi analizörü ile 10 dakikalık aralıklarla akım bilgileri elde edilmiştir. Daha sonra akım verilerine Fourier yöntemi uygulanarak harmonik bileşenler elde edilmiştir. Son olarak, hafta içi harmonik bileşenlerine k-Means kümeleme yaklaşımı uygulanarak harmonik bileşenlerinin zamansal değişim bilgilerini içeren harmonik sınıfları elde edilmiştir.

İkinci uygulamada, k-Means ve LMT veri madenciliği yöntemleri kullanılarak harmonikli verilerinin kümelendirilmesi ve sınıflandırılması için akıllı yeni bir yaklaşım sunulmuştur. Önerilen bu yaklaşımda, herhangi bir sınıf bilgisi içermeyen harmonikli veriler eğitici öğrenme algoritması olan k-Means ile k sayıda sınıfa ayrılmıştır. Elde edilen bu sınıflara göre belirlenen sınıflandırıcılar eğitilerek harmonikli verilerin sınıflandırılması yapılmıştır.

Harmonikli veriler üzerinde veri madenciliği ile ilgili uygulamalar gerçekleştirilmeden önce, bu veriler üzerinde bir takım düzenlemelerin yapılması ve algoritmalara uygun biçime getirilmesi gerekmektedir.

5.1. Harmonikli Veriler Üzerinde Ön İşleme

Veri madenciliği sürecinde kullanılacak veriler ile ilgili bazı ön işlemlerin yapılması gerekmektedir. Bu ön işlemler genel olarak değerlendirilecek veri türünün tespit edilmesi ve veriler arasında hiyerarşik yapının ve genellemenin belirlenmesidir. Bu aşamada elde

edilen harmonikli verilerin, kümeleme ve sınıflama algoritmalarında işlenmesi için bu veriler içerisinde bulunan tutarsız ve eksik veriler ayrıştırılmıştır.

Veri önileme aşamasında, TÜMF elektrik panosundan elde edilen harmonikli veriler belirlenen bir standartlara göre önilemeden geçirilmiştir. Bu önilemler genel olarak, değerlendirilecek veri türünün tespit edilmesi ve veriler arasında hiyerarşik yapının ve genellemenin belirlenmesidir.

Analizörden farklı zamanlarda toplanan veriler önce analize uygun bir yapıya çevrilmiş, daha sonra verilerdeki gürültü ve hatalı noktalar tespit edilmiştir. Tespit edilen hatalı verilerin nedeni ve durumuna bakılarak ilk önce düzeltme işlemi, düzeltme yapılamayan verilere temizleme işlemi uygulanmıştır.

Tez çalışması için gerekli olan ve önceden belirlenen 12 haftalık harmonikli veri ölçümü yapılmıştır. Güç analizörünün dahili-harici hafızası, 3 haftalık kayıt yapmaktadır. Her bir kayıt süreci veri kaydı yaptığından toplamda 4 defa veri kaydı gerekmektedir. 3 haftalık kayıttan sonra analizörde saklı veriler bilgisayar ortamına aktarılır ve tekrar harmonikli veri kaydı için güç analizörü kaydı başlatılmıştır. Toplanan veriler tarih ve saate göre veri ambarına eklenerek süreç devam etmektedir. Tüm veri alım işlemi bu şekilde tekrarlanmaktadır.

5.1.1. Birleştirme ve Temizleme

Veri önileme adımlarının en önemli aşamasını birleştirme ve temizleme aşaması oluşturmaktadır. Bu adımda toplanan verilerde bulunan farklılıklar giderilmeye çalışılır. Hatalı veya analizinin yanlış yönleneceğine neden olabilecek verilerin temizlenmesine veya düzeltilmesine çalışılır. Genellikle yanlış veri girişinden veya sistemden kaynaklanan veri kayıt esnasında oluşan hatalardan kaynaklanan verilerin, önemli bir uyarıcı enformasyon içerip içermediği kontrol edildikten sonra veri ambarından atılması tercih edilir. Ancak basit yöntemlerle veya baştan savma olarak yapılacak sorun giderme işlemleri, ileriki aşamalarda daha büyük sorunlara sebep olmaktadır.

Elde edilen harmonikli veriler incelendiğinde; bazı bölgelerde analizör ve sistemden kaynaklı hatalı ve eksik bilgiler olduğu görülmektedir. Transformatörün açma kapama durumlarında, anahtarlama ve bunlara benzer nedenlerden dolayı analizörün hatalı ölçüm yaptığı tespit edilmiştir. Bu hatalı veriler ölçüm sonucunu etkileyeceğinden veri tabanından silinmiştir. Verilerin kümeleneceği ve sınıflandırılması için uygun formatta hazırlanması gerekmektedir.

5.1.2. Dönüştürme

Veri madenciliğinin bir diğer önemli aşaması da temizlenen ve birleştirilen verilerin işlenir hale gelmesi için gerekli olan dönüşümü sağlamaktır. Kullanılacak model ve algoritma çerçevesinde verilerin tanımlama veya gösterim şeklinin de değiştirilmesi gerekebilir. Kümelemede kullanılacak k-Means algoritması ile sınıflandırmada kullanılacak algoritmalar sayısal veriler üzerinde çalışmaktadır. Verilerin MATLAB ortamında çalışması için gerekli olan sayısal formata dönüştürülmesi gerekmektedir.

5.1.3. Harmonikli Verilerin Hazırlanması

Veri ön işleme aşamasının son adımı olan bu aşama; verilerin artık kümeleme ve sınıflandırma işlemlerine sokulması için gerekli son kontrollerin ve varsa düzenlemelerin yapılmasıdır. Bu adımda veriler işlenir hale getirilmektedir. Dönüştürme adımından sonra veriler toplanır ve veri ambarında zamana göre sıralanır. Farklı zamanlarda toplanan veriler düzenlendikten sonra zamana göre sıralanmasına dikkat edilir. Kümelenecek hazır verilerin zamana göre sıralaması yapılır ve verilere artık bir müdahale yapılmamaktadır. Bu adımda veriler tekrar gözden geçirilip bütünleştirme işlemi uygulanır.

Tablo 5.1., Tablo 5.2. ve Tablo 5.3'te sırayla TÜMF elektrik panosundan elde edilen A, B ve C fazlarının akım harmonikli verilerinin Fourier dönüşümünden sonraki sayısal değerleri görülmektedir.

Tablo 5.1. A fazı gerçek akım harmonikli verileri

Tarih	Saat	HarmI ₁ (3)	HarmI ₁ (5)	HarmI ₁ (7)	HarmI ₁ (9)	HarmI ₁ (11)	HarmI ₁ (13)
30.01.2012	14:40:19	1,6	0,8	2,71	1,43	0,47	0,86
30.01.2012	14:50:19	1,32	0,79	2,79	1,49	0,49	0,91
30.01.2012	15:00:19	1,88	1,19	3,38	1,83	0,73	1,2
30.01.2012	15:10:19	1,37	1,31	3,29	1,78	0,67	1,22
30.01.2012	15:20:19	2,43	1,26	3,84	2	1,03	1,56
30.01.2012	15:30:19	1,26	1,12	3,28	1,78	0,71	1,07
30.01.2012	15:40:19	1,64	1,34	3,86	1,93	1,1	1,41
30.01.2012	15:50:19	1,62	1,5	3,7	1,93	1,01	1,27
30.01.2012	16:00:19	1,91	1,72	4,1	2,21	0,98	1,49
30.01.2012	16:10:19	3,53	1,11	3,55	1,79	0,82	1,26
...

Tablo 5.2. İkinci faz gerçek akım harmonikli verileri

Tarih	Saat	HarmI ₂ (3)	HarmI ₂ (5)	HarmI ₂ (7)	HarmI ₂ (9)	HarmI ₂ (11)	HarmI ₂ (13)
30.01.2012	14:40:19	8,14	3,27	2,88	1,64	1,02	0,85
30.01.2012	14:50:19	6,76	2,43	2,75	1,76	1,05	0,93
30.01.2012	15:00:19	7,37	2,9	2,84	1,64	1,08	0,82
30.01.2012	15:10:19	8,72	3,95	3,46	2,06	1,29	0,99
30.01.2012	15:20:19	6,43	2,24	3,76	1,66	1,57	1,19
30.01.2012	15:30:19	7,36	3,48	3,36	2,03	1,33	0,92
30.01.2012	15:40:19	6,25	2,59	3,67	1,63	1,45	0,95
30.01.2012	15:50:19	7,18	3,32	3,92	1,84	1,58	0,99
30.01.2012	16:00:19	8,01	3,73	4,15	1,94	1,57	1,16
30.01.2012	16:10:19	7,11	3,04	3,93	1,77	1,49	1,03
...

Tablo 5.3. Üçüncü faz gerçek akım harmonikli verileri

Tarih	Saat	HarmI ₃ (3)	HarmI ₃ (5)	HarmI ₃ (7)	HarmI ₃ (9)	HarmI ₃ (11)	HarmI ₃ (13)
30.01.2012	14:40:19	3,95	1,34	2,07	1,5	0,97	0,95
30.01.2012	14:50:19	4,06	1,2	2,23	1,6	0,97	0,97
30.01.2012	15:00:19	4,07	1,07	2,22	1,5	1,13	1
30.01.2012	15:10:19	4,13	1,19	2,27	1,48	1,16	0,96
30.01.2012	15:20:19	4,38	0,93	2,79	1,66	1,72	1,41
30.01.2012	15:30:19	4,73	0,48	2,06	1,42	1,32	1,02
30.01.2012	15:40:19	3,71	0,36	2,42	1,12	1,51	1,14
30.01.2012	15:50:19	3,37	0,5	2,22	1,17	1,39	1,16
30.01.2012	16:00:19	3,35	0,55	2,36	1,33	1,36	1,16
30.01.2012	16:10:19	2,98	0,87	2,3	1,39	1,14	0,92
...

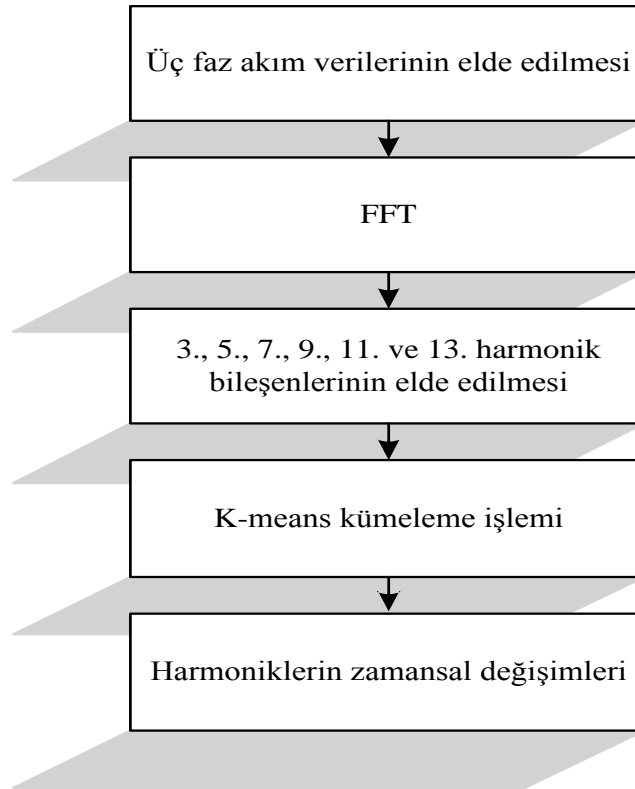
5.2. K-Means Kümeleme Yaklaşımı Kullanarak Harmoniklerin Zamansal Değişimlerinin İncelenmesi

Bu bölümde, veri madenciliği kümeleme tekniklerinden k-Means algoritması kullanılarak güç kalitesindeki harmonik bozulmaların analizi gerçekleştirilmiştir. Harmonikli veriler, elektrik dağıtım sistemine yerleştirilen bir güç kalitesi analizörü aracılığıyla belirli sürelerde elde edilmiştir. Farklı seviyelerde elde edilen harmonik bileşenlere k-Means kümeleme yaklaşımı uygulanmıştır. Algoritma çıkışında, harmonikli verilerin zamansal değişim süreçleri ve bu süreçlerdeki harmonik değerleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre gerçekleştirilen kümeleme yaklaşımıyla, elektrik dağıtım sistemlerinde

olumsuz etkiler meydana getiren harmoniklerin zamansal değişim süreçleri hakkında önemli bilgiler elde edildiği gözlemlenmiştir.

5.2.1. Önerilen Algoritma

Elektrik dağıtım sistemlerinde harmonikli verilerinin k-Means kümeleme yaklaşımı ile zamansal değişimlerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen harmonik izleme sisteminin akış diyagramı Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Gerçekleştirilen alçak gerilim sistemlerindeki harmoniklerin izlenmesi yaklaşımı, Tunceli Üniversitesi Mühendislik Fakültesinin dağıtım panosunda, Aralık 2011 ile Mart 2012 tarihleri arasında elde edilen akım harmonikli verilerine uygulanmıştır. Harmonik izleme sisteminde ilk olarak 10’ar dakikalık aralıklarla üç faz akım verileri elde edilmiştir. Daha sonra üç faz akım verilerine FFT dönüşümü uygulanılarak 3., 5., 7., 9., 11. ve 13. akım harmonik bileşenleri elde edilmiştir.



Şekil 5.1. Önerilen algoritmanın akış diyagramı

Harmonikli veriler veri setine dönüştürülmüş daha sonra matlab programının okuyacağı matris sistemine çevrilmiştir. Tablo 5.4'te harmonikli verilerin kümeleme algoritmasına giriş biçimi verilmiştir.

Tablo 5.4. Harmonikli verilerin kümeleme algoritmasına sunum formatı

Saat	Gün	3. Harm	5. Harm	7. Harm	9. Harm	11.Harm	13. Harm
13.00	5	4,05	6,375	10,85	4,88	7,395	3,51
13.10	5	3,385	5,65	10,16	5,205	7,395	3,515
13.20	5	3,6	5,7	10,2	5,195	6,845	3,68
13.30	5	3,85	6,05	10,125	5,805	7,345	3,2
13.40	5	4,77	7,87	12,015	6,97	8,645	3,935
13.50	5	2,79	6,095	9,805	5,38	7,21	3,545
14.00	5	4,51	6,39	10,08	5,345	7,125	3,42
14.10	5	3,485	5,83	9,23	3,905	6,29	3,085
14.20	5	4	5,165	8,38	2,905	5,24	2,955
14.30	5	3,06	5,135	8,175	3,11	4,625	2,99
...

Bu sütunlarda sırayla; saat, gün, 3., 5., 7., 9., 11. ve 13. akım harmonik derecelerine ait veriler ayrı ayrı bulunmaktadır. Tablo 5.5'te, kümeleme algoritmasına giriş olarak sunulan gün parametresinin sayısal değerlerde kodlanmasına ait tablo gösterilmiştir.

Tablo 5.5. Günlerin sayısal kodlanması

Günler	Sayısal Kodlama
Pazartesi	1
Salı	2
Çarşamba	3
Perşembe	4
Cuma	5
Cumartesi	6
Pazar	7

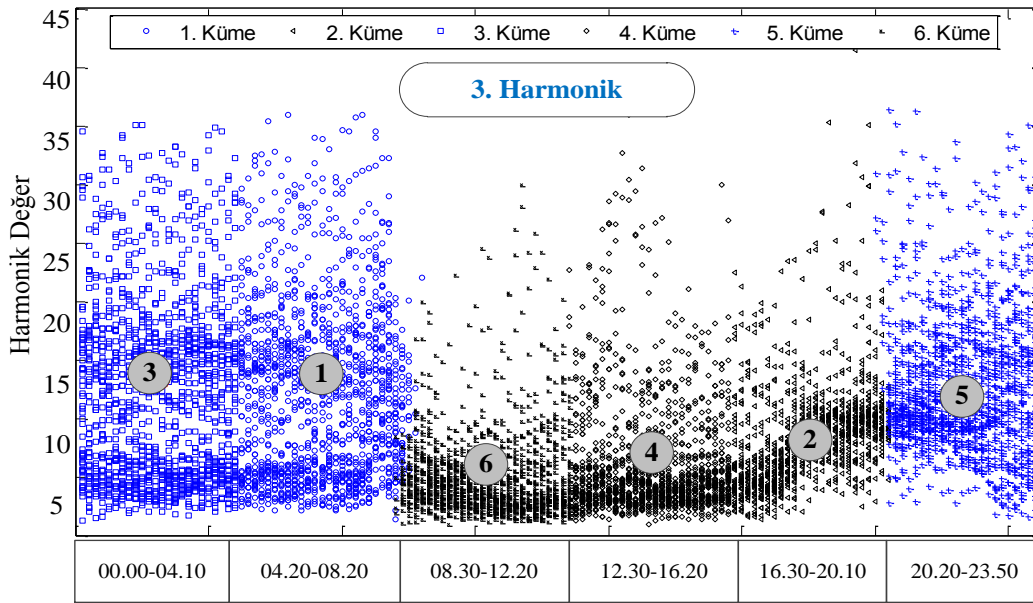
Elde edilen harmonik bileşenlerine, hafta içi kümeleme işlemi uygulanmıştır. Bu çalışmada sayısal verileri kümelemedeki başarısı yüksek olan k-Means algoritması kullanılmaya karar verilmiştir. Elde edilen veriler matlab ortamında kümeleme işlemine kullanılacak formata çevrilir. Bu veriler Matlab programının Clustering Tool box'ında bulunan k-Means kümeleme fonksiyonu kullanılarak kümeleme işlemine tabi tutulacaktır.

k-Means algoritmasında gerekli olan k küme değeri dışarıdan verilerek bölümlenme işlemi yapılmıştır. Yapılan bu bölümlenme işlemlerinin sonuçları incelendiğinde k değerinin 6 olduğu durumlarda harmonikli verilerin daha iyi bir şekilde kümelediği görülmüştür. Kümeleme işlemleri sonucunda oluşan kümelerin merkezleri oluşan kümelerdeki verilerin ağırlıklarına göre değişmektedir. Algoritma kümeleri ayırırken son eklenen verilerden sonra küme merkezini hesaplamaktadır. Gün içerisindeki harmonik değişimler, 6 farklı küme altında incelenerek küme merkezleri ve kümelerin zamansal değişimleri elde edilmiştir.

5.2.2. k-Means Kümeleme Sonuçları

k-Means algoritması, daha önceden elde edilen harmonikli verileri üzerinde, 6 sınıfa bölünerek kümeleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Birinci faz için yapılan kümeleme işlemleri aynı zamanda diğer fazlar içinde tekrarlanmıştır.

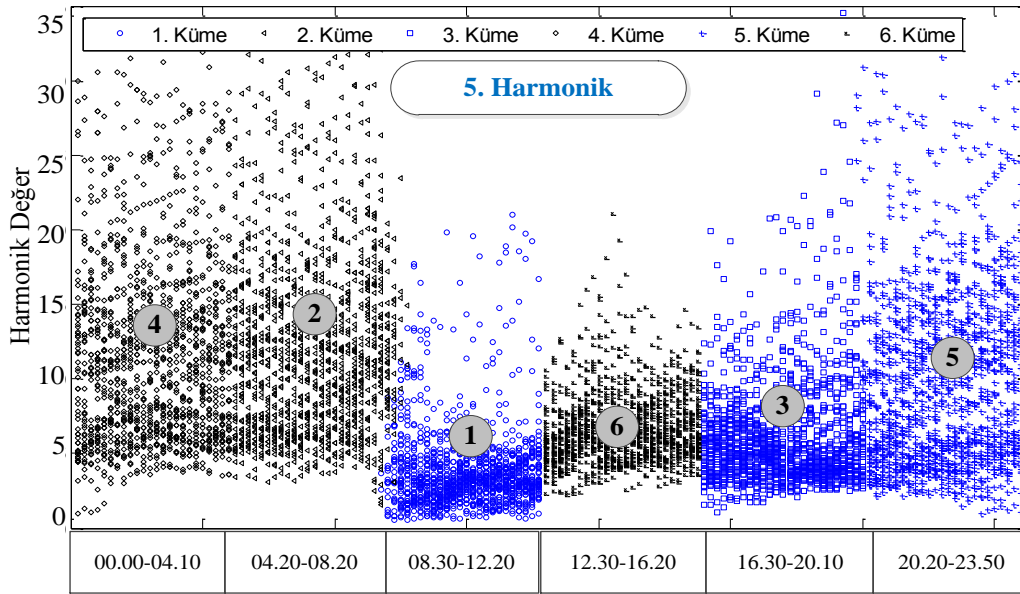
Şekil 5.2’de, hafta içi harmonikli verilerinin her 3.harmonik seviyesi için k-Means algoritması ile kümelendirilmesi işlemine ait sonuçlar verilmiştir.



Şekil 5.2. Kümelenmiş hafta içi 3. harmonik derecenin tüm değerleri

Şekil 5.2 incelendiğinde, hafta içi 3. harmonik seviyesine ait değerlerin başarılı bir şekilde 6 kümeye ayrıldığı görülmektedir. Bazı kümelerdeki veri dağılımları her ne kadar birbirine yakın görünse de, kümeler arasındaki zaman parametresinden kaynaklı olarak bu veriler farklı kümelere başarılı bir şekilde ayrılmıştır. Harmonikli verilerin değerlerine göre yapılan kümeleme işleminde, yüksek değerler 3 ve 1 nolu kümelerde toplanırken düşük değerler 6, 4 ve 2 nolu kümelerde toplandığı görülmektedir. 5 nolu kümede ise daha çok ara değerlerin toplandığı görülmektedir. Harmonik değerlerin zaman aralıkları incelendiğinde ise sabah saatlerine doğru yükselmenin olduğu saat yaklaşık 9'dan sonra düşüşlerin başladığı görülmektedir. Hafta içi seçilmiş bir gün incelendiğinden, bu günde akşam saatlerinde çalışmalar olduğundan, 3. harmonik derecenin değerleri bu saatlerde yükseldiği görülmektedir.

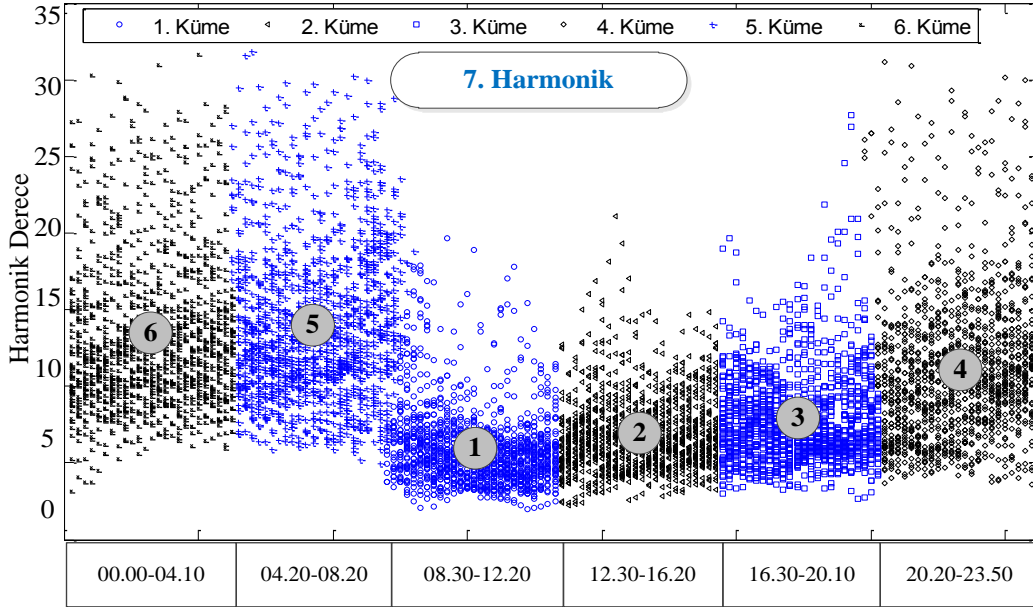
Şekil 5.3'de, hafta içi harmonikli verilerinin 5. harmonik seviyesi için k-Means algoritması ile kümelendirilmesi işlemine ait sonuçlar verilmiştir.



Şekil 5.3. Kümelmiş hafta içi 5. harmonik derecenin tüm değerleri

Şekil 5.3 incelendiğinde, hafta içi 5. harmonik seviyesine ait değerlerin başarılı bir şekilde k-Means kümeleme algoritması ile 6 kümeye ayrıldığı görülmektedir. 4 ve 2. kümelerdeki harmonikli verilerin dağılımları her ne kadar birbirine yakın görünse de, diğer kümeler arasındaki zaman parametresinden kaynaklı olarak bu veriler farklı kümelere ayrılmıştır. Özellikle 1 ve 6. kümeler ile 4 ve 2. kümelerin değerleri arasında oldukça büyük ölçüde farklılık görülmektedir. 5. harmonik seviyenin 35'ler düzeyine kadar

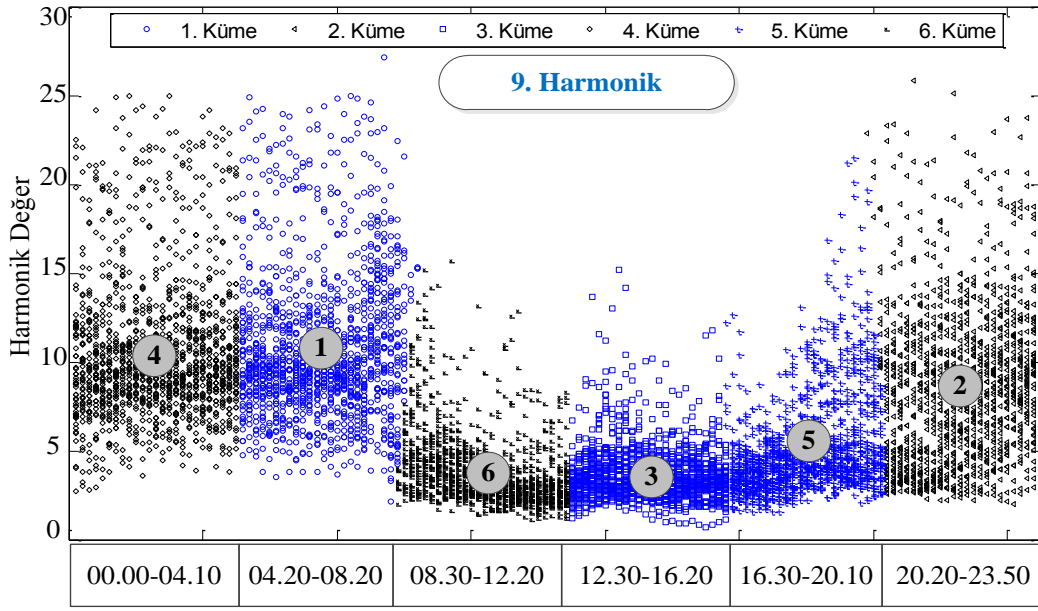
çıkması, özellikle sabah mesai saatlerin başlaması ile çok fazla bir yükselişin olduğu, daha sonra bu yükselişin azaldığı görülmektedir. Şekil 5.4’de, hafta içi harmonikli verilerinin 7. harmonik seviyesi için k-Means algoritması ile kümelendirilmesi işlemine ait sonuçlar verilmiştir.



Şekil 5.4. Kümelmiş hafta içi 7. harmonik derecenin değerleri

Şekil 5.4 incelendiğinde, hafta içi 7. harmonik seviyesine ait değerlerin kümelendiği görülmektedir. 1, 2 ve 3. kümelerinde bulunan harmonikli verilerin değerlerinin düşük düzeylerde olduğu ve bu değerlerinde saat sabah 9’dan sonra oluşan değerlerin olduğu görülmektedir. 4. küme değerleri ile 6. kümedeki değerlerin benzerlik göstermesine rağmen bu kümelerdeki verilerin dağılımında farklılık görülmektedir. 1 ve 3. küme incelendiğinde, bu kümelerdeki harmonikli verilerin bir birine yakın olduğu ama tersine 5 ve 6. kümedeki harmonikli verilerin değerlerinin de uzak olduğu görülmektedir.

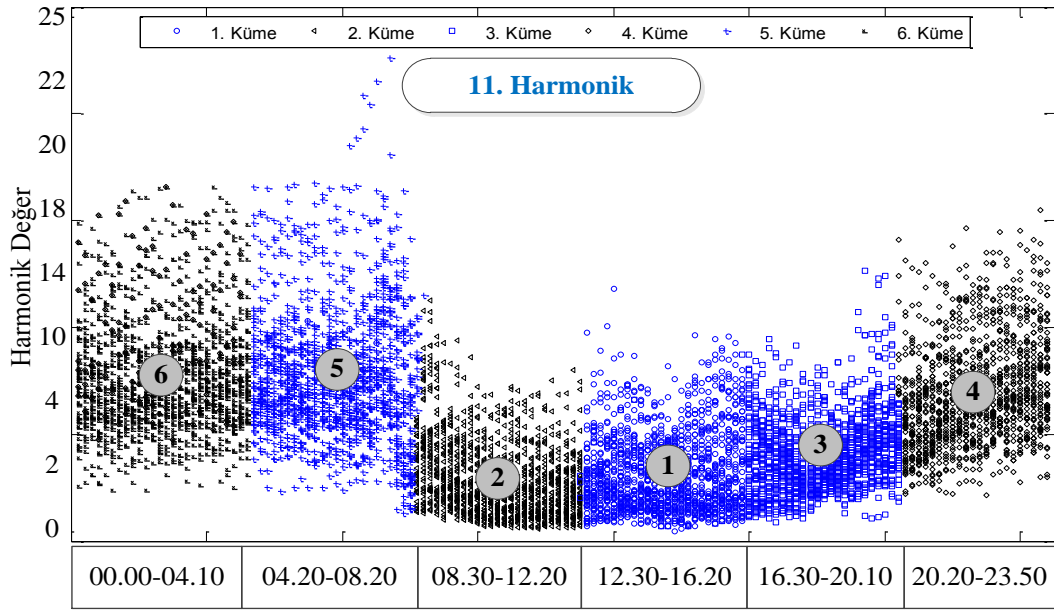
Şekil 5.5’de, hafta içi harmonikli verilerinin, 9. harmonik seviyesi için k-Means algoritması ile kümelendirilmesi işlemine ait sonuçlar verilmiştir.



Şekil 5.5. Kümelenmiş hafta içi 9. harmonik derecenin değerleri

Şekil 5.5 incelendiğinde, hafta içi 9. harmonik seviyesine ait değerlerin başarılı bir şekilde 6 kümeye ayrıldığı görülmektedir. 3. kümeye ayırdığı verilerin değerleri birbirine yakınlık gösterirken 1, 2 ve 4. kümedeki harmonikli verilerin değerleri daha fazla farklılık göstermektedir. 6. kümede diğer kümelere göre değerleri düşük çıkmıştır. Bazı kümelerdeki veri dağılımları her ne kadar birbirine yakın görünse de, kümeler arasındaki zaman parametresinden kaynaklı olarak bu veriler farklı kümelere ayrılmıştır. 9. harmonik seviyesinin 25'lere kadar çıktığı görülmektedir. Bu nedenle 9. harmoniğinde diğer harmonikler gibi düzeltilmesi için gerekli eliminasyon sisteminin yapılması gerekmektedir.

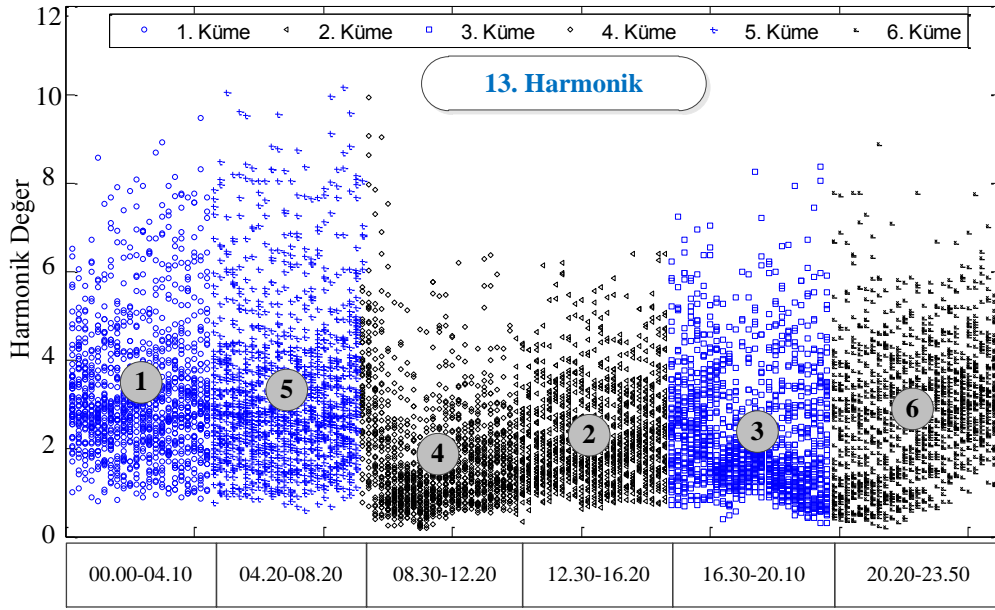
Şekil 5.6'de, hafta içi harmonikli verilerinin 11.harmonik seviyesi için k-Means algoritması ile kümelendirilmesi işlemine ait sonuçlar verilmiştir.



Şekil 5.6. Kümelenmiş bir günlük 11. harmonik derecenin değerleri

Şekil 5.6 incelendiğinde, hafta içi 11. harmonik seviyesine ait değerlerin başarılı bir şekilde 6 kümeye ayrıldığı görülmektedir. Bazı kümelerdeki veri dağılımları birbirine yakın görünmektedir. Özellikle 5 ve 6. kümelerdeki harmonikli verilerin dağılımı birbirine yakın görünmesine rağmen 5. kümede verilerin 24'ler mertebesine çıktığı, bunun yanında 6. kümede harmonikli verilerin en yükseklerinin 19 civarında olduğu görülmektedir. Diğer kümelerde harmonikli veriler taşıdığı özellik ve parametrelere göre başarılı bir şekilde ayrılmıştır. Uluslararası standartlar göz önüne alındığında 11. harmonik seviyenin bu kadar yüksek çıkması beklenir fakat ölçülen ortamda ciddi harmonik bozukluklara sebebiyet verecek sorunların olduğu bu harmonik seviyesinde de görülmektedir.

Şekil 5.7'de, hafta içi harmonikli verilerinin her 13. harmonik seviyesi için k-Means algoritması ile kümelendirilmesi işlemine ait sonuçlar verilmiştir.



Şekil 5.7. Kümelenmiş bir günlük 13. harmonik derecenin değerleri

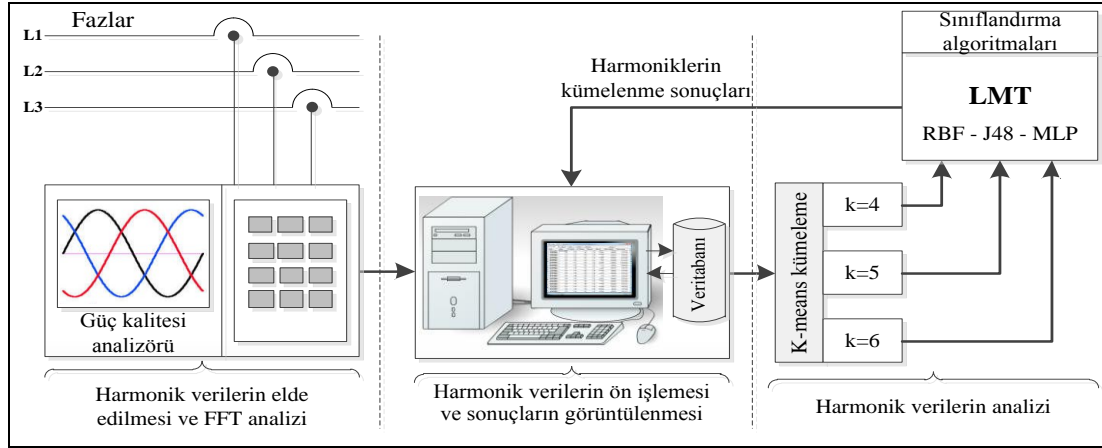
Şekil 5.7 incelendiğinde, hafta içi 13. harmonik seviyesine ait değerlerin başarılı bir şekilde 6 kümeye ayrıldığı görülmektedir. 5. kümedeki verilerin değerleri ile 2. kümedeki verilerin değerleri arasında oldukça fazla farklılık görülmekteyken 1 ve 5. küme ya da 3 ve 6. küme arasında benzerlikler olduğu tespit edilmiştir. 13. harmonikli verileri incelendiğinde, verilerin bir birine çok yakın değerler taşıdığı tespit edilmiştir.

Bu bölümde, güç sistemlerindeki akım harmoniklerinin gün içerisindeki zamansal değişimleri k-Means yaklaşımı ile kümelere ayrılmıştır. Kümeleme sonucuna göre zaman dilimlerinde akım harmoniklerinin değişim verileri elde edilmiştir. Böylece, gerçekleştirilen kümeleme yaklaşımı ile gün içerisinde meydana gelen harmonik bozulmaların nedenlerinin tespit edilmesi ve gerekli önlemlerin alınması gibi önemli bilgiler ortaya çıkarılmıştır. Böylece, gerçekleştirilen harmonik analizleri sonuçlarına göre, tüm harmonik içeriklerinin, IEEE 519-1992 standardına göre belirlenen sınırların üzerinde olduğu sonucuna varılmıştır. Bu değerler dikkate alınarak ölçüm yapılan alanda bulunan elektronik aygıtların sağlıklı çalışması için gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

5.3. Harmoniklerin Sınıflandırılması

Bu bölümde, dağıtım sistemlerinde akım harmoniklerinin değişimlerini otomatik sınıflandıran k-Means ve karar ağaçları algoritmalarından olan LMT, J48, ve Yapay sinir

ağları algoritmalarından olan MLP ve RBF tabanlı akıllı bir harmonik izleme sistemi sunulmuştur. Önerilen harmonik izleme sisteminde, k-Means kümeleme işlemi ile akım harmonikleri k adet sınıfa ayrılır. Elde edilen sınıf bilgileri kullanılarak harmonikler LMT, J48, MLP ve RBF tabanlı harmonik izleme sistemi ile sınıflandırılmaktadır. Şekil 5.8’de, oluşturulan harmonik sınıflandırma sisteminin yapısı gösterilmiştir.

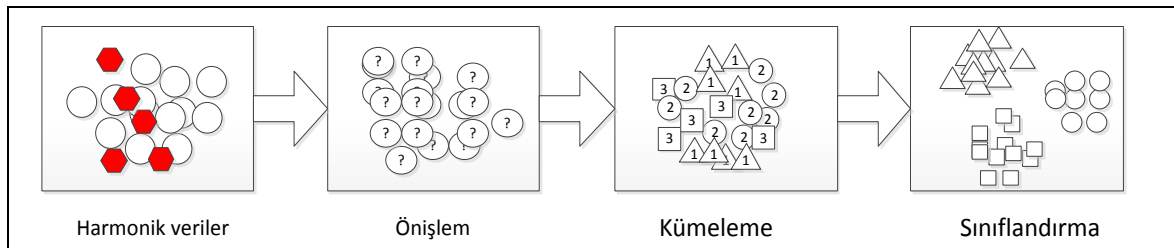


Şekil 5.8. Gerçekleştirilen harmonik sınıflandırma sisteminin yapısı

Önerilen akıllı harmonik izleme sisteminin girişine bir güç dağıtım sistemi çıkışından elde edilen üç faz akım sinyallerinin harmonik bileşenleri uygulanmaktadır. İzleme sisteminin çıkışında ise üç faz akım harmonik sınıf bilgileri elde edilmiştir. Ayrıca, harmonik izleme sisteminin başarımını değerlendirmek için farklı sınıflandırıcılar kullanılarak başarımlar elde edilmiştir.

5.3.1. Önerilen Sınıflandırıcı Algoritması

Şekil 5.9’da, veri madenciliği yaklaşımları kullanılarak gerçekleştirilen bir harmonik izleme sisteminin akışı verilmiştir.



Şekil 5.9. Veri madenciliği tabanlı harmonik izleme sistemi

İlk olarak harmonikli verilere ön işlem uygulanarak analiz için uygun duruma getirilir. Daha sonra, optimum küme sayısı belirlenerek harmonikli veriler kümelere ayrılır. Son olarak, kümeleme işleminden elde edilen sınıf bilgileri kullanılarak sınıflandırma yaklaşımı gerçekleştirilir. Sınıflandırma işleminin eğitim aşamasında, kümeleme işleminde elde edilen harmonikli veriler kullanılır. Test aşaması ile anlık olarak elde edilen harmonikli verilerin hangi kümeyle ait olduğu belirlenir. Önerilen veri madenciliği tabanlı izleme sistemi 4 temel aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar; akım harmoniklerinin elde edilmesi, ön işleme, kümeleme ve sınıflandırmadır.

Akım harmoniklerinin elde edilmesi aşaması: Bu aşamada güç kalitesi analizörü aracılığı ile akım harmonik bileşenleri elde edilmiştir. Bu çalışmada; 3., 5., 7., 9., 11. ve 13. akım harmonik bileşenleri önerilen izleme sistemi için kullanılmıştır.

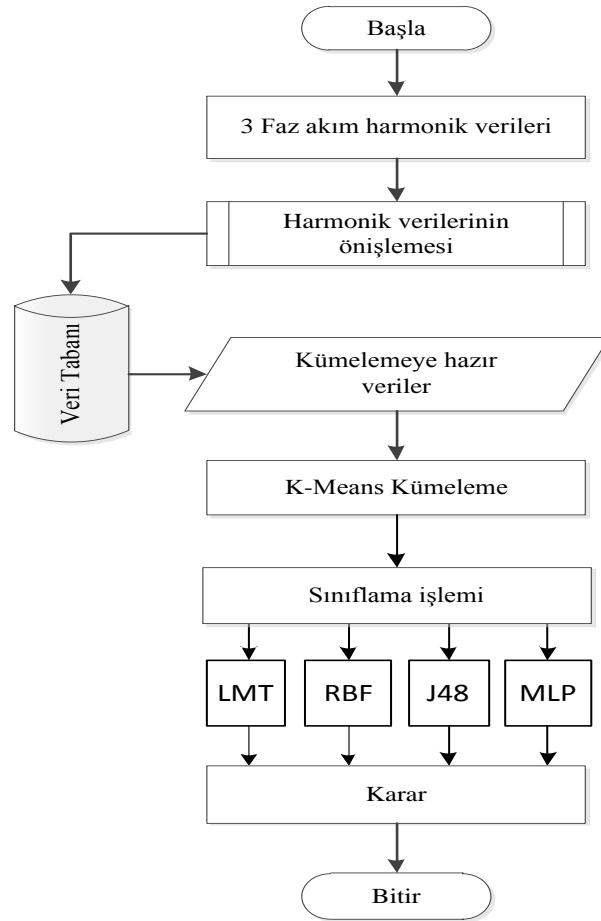
Ön İşleme aşaması: Veri madenciliği sürecinde kullanılacak veriler ile ilgili bazı ön işlemlerin yapılması gerekmektedir. Bu ön işlemler genel olarak değerlendirilecek veri türünün tespit edilmesi ve veriler arasında hiyerarşik yapının ve genellemenin belirlenmesidir. Harmonikli verilerinin veri madenciliği algoritmaları ile değerlendirilebilmesi için bu verilerin uygun bir formata dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu aşamada elde edilen harmonikli verilerin; kümeleme ve sınıflama algoritmalarında işlenmesi için bu veriler içerisinde bulunan tutarsız ve eksik veriler ayrıştırılmıştır.

Kümeleme aşaması: Veri madenciliğinde kümeleme işlemleri için yaygın olarak kullanılan k-Means algoritması harmonikli veriler üzerine uygulanırken çeşitli parametre seçimlerinin yapılması gerekmektedir. Bu parametreler genel olarak küme sayısını temsil eden k parametresi ve uzaklık hesabında kullanılan yöntemdir. Harmonikli veriler üzerinde k-Means algoritması uygulanırken farklı k değerleri (4, 5 ve 6) seçilmiştir. Düşük k değerlerinde veriler arasındaki ayırt ediciliğin azalması ve yüksek k değerlerinde birbirlerine çok yakın kümelerin oluşmasından dolayı küme değerleri belirlenen bu aralıklar için test edilmiştir. Kümeler arasındaki uzaklıkların hesaplanmasında ise Öklid mesafe hesabı yöntemi kullanılmıştır.

Sınıflandırma aşaması: Harmonik izleme sisteminin sınıflandırma aşaması ile akım harmoniklerinin hangi sınıfa ait olduğu belirlenmiştir. Sınıflandırma aşamasında,

kümeleme aşamasından elde edilen harmonikli verilerin sınıf bilgilerine göre LMT, RBF, MLP ve J48 sınıflandırıcıların ayrı ayrı eğitim ve test işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu sınıflandırıcılardan elde edilen sonuçlar önerilen sistemim için performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu sınıflandırıcılar için optimum sınıflandırıcı parametreleri belirlenerek sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen veri madenciliği tabanlı harmonik izleme sisteminin akış diyagramı Şekil 5.10'da verilmiştir.



Şekil 5.10. Gerçekleştirilen harmonik izleme sisteminin akış diyagramı

Şekil 5.10 incelendiğinde, veri tabanında bulunan harmonikli veriler k-Means kümeleme işlemi ile harmonikli veriler belirlenen k değerine göre sınıflara ayrılmakta ve elde edilen sınıf bilgileri ile LMT, RBF, MLP ve J48 sınıflandırıcıların eğitimi gerçekleştirilmektedir. Böylece, önerilen harmonik izleme sistemi ile elde edilen üç faz akım harmonikli verileri ayrı ayrı sınıflandırılmaktadır.

Farklı kümeleme senaryoları ile sınıflandırma aşaması gerçekleştirilecektir. Bu aşamada, harmonikli veriler belirlenen k parametresine göre kümelendikten sonra elde edilen bilgiler doğrultusunda sınıflandırma algoritmalarına sürülecektir.

5.3.2. Sınıflama Senaryoları

Bu bölümde, kümeleme işlemi için seçilen parametre değerine göre sınıflandırma işlemi yapılmaktadır. k -means algoritmasının k giriş parametresi belirlenen 4, 5 ve 6 küme sayısı senaryolarına göre veriler üzerine uygulanmıştır. 3, 5, 7, 9, 11 ve 13. Harmonik derecelerin bir araya gelmesi ile oluşan harmonik veri tabanı, her faz için 12 haftada toplamda 12 096 adet veri içermektedir. Her fazın zaman bilgisine göre sırasıyla 4 haftalık verileri alınarak toplamda 12 haftalık veri oluşturulmuştur. Sınıflandırma senaryoları için, toplamda 12 096 adet harmonik veri kullanılmıştır. 12 096 adet verinin 8 064 tanesi eğitim aşaması için, 4032 veri ise test aşamasında kullanılmıştır.

Kümeleme aşamasında, harmonik verilerin ait oldukları sınıf bilgileri elde edilmiştir. Sınıflamada ise kümeleme işleminden elde edilen sınıf bilgileri kullanılarak sınıflandırıcıların eğitimi gerçekleştirilmiştir. Test verileri üzerinde sınıflandırma başarımları elde edilmiştir.

Kullanılan sınıflandırıcıların parametreleri uygun bir şekilde belirlenmiştir. Her senaryo için sınıf parametreleri küme sayısına göre değişiklik göstermiştir. Tablo 5.6'da MLP algoritması için belirlenen parametre bilgileri görülmektedir. Gizli katman sayısı yapılan senaryolara göre değişmektedir. 4 ve 5 küme için gizli katman sayısı 5 iken, 6 küme için gizli katman sayısı 6 olarak seçilmiştir.

Tablo 5.6 MLP algoritmasının parametre bilgileri

Özellikler	MLP
Katman sayısı	2
Gizli katman sayısı	5 ve 6
Aktivasyon fonksiyonu	Tansig
Öğrenme oranı	0,3
Momentum Değeri	0,2
Doğrulama Eşiği	20

Tablo 5.7’de RBF algoritmasının parametre bilgileri görülmektedir.

Tablo 5.7 RBF algoritmasının parametre bilgileri

Özellikler	RBF
Küme sayısı	2
Minimum standart dağılım	0,1
Çekirdek küme	1
Ridge	1.0E-8

RBF algoritması küme sayısı 2 olarak belirlenmiş ve çekirdek küme sayısı 1 olarak seçilmiştir. Tablo 5.8’de karar ağaçları algoritmalarından J48 algoritmasının parametre değerleri görülmektedir.

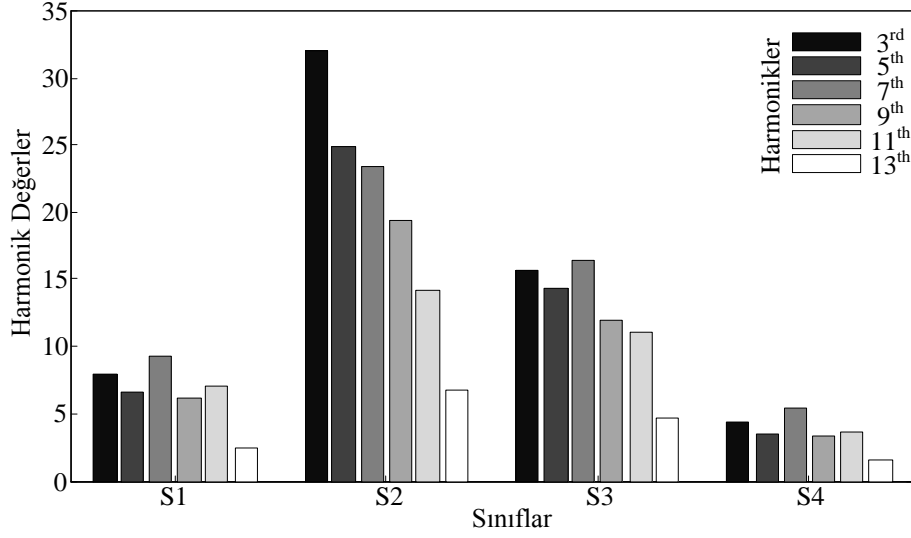
Tablo 5.8 J48 algoritmasının parametre bilgileri

Özellikler	J48
Minimum nesne sayısı	2
Kıvrım sayısı	3
Seed	1
Güven faktör değeri	0,25
Alt ağaç türetme	Aktif

Tablo 5.8 incelendiğinde J48 algoritmasının maksimum nesne sayısı 2, ağaç oluşturma ise aktif olarak ayarlanmıştır. LMT algoritmasının öğrenme sayısı 15 olarak ayarlanmıştır.

5.3.2.1. Senaryo 1 (k=4)

Küme sayısı $k=4$ durumunda veriler değerlerine göre k-Means algoritması ile 4 sınıfa ayrılmaktadır. Algoritma yürütümü sonucunda oluşan bu sınıfların taşıdığı harmonikli verilerin değerlerine göre her bir harmonik derecenin küme merkezleri oluşmaktadır. Bu merkezler k-Means algoritması harmonik derecelerin taşımış olduğu değerleri daha önceden rastgele belirlenen merkezlerin Öklid uzaklığına göre hesaplama yaparak atamaktadır. Algoritma yürütümü sonucunda oluşan küme merkezi değerleri Şekil 5.11’ de görülmektedir.



Şekil 5.11. $k=4$ parametresi için sınıflara ait küme merkezlerinin dağılımı

Bu senaryoda $k=4$ için oluşan küme değerleri incelendiğinde en yüksek harmonik merkez değerlerinin 2. kümede toplandığı görülmektedir. Bu sınıftaki harmonikli verilerin değerlerinin oldukça yüksek olduğu, 4. Kümede ise harmonik merkezlerin düşük olduğu görülmektedir. Yine sınıflardaki harmonik dereceler incelendiğinde, 3. harmonik derecenin yaklaşık olarak tüm kümelerde yüksek çıktığı görülmektedir. Özellikle 2. sınıftaki bu harmonik bozukluğun çok yüksek olduğu sayısal değer olarak Tablo 5.9'da görülmektedir.

Tablo 5.9. $k=4$ parametresi için sınıflara ait küme merkezlerinin değerleri

Sınıf	Harmonik Dereceler					
	3.Harm	5.Harm	7.Harm	9.Harm	11.Harm	13.Harm
S1	7.976	6.557	9.364	6.189	7.088	2.396
S2	32.001	24.790	23.416	19.394	14.165	6.771
S3	15.616	14.348	16.391	11.980	11.027	4.730
S4	4.321	3.460	5.457	3.332	3.675	1.487

Tablo 5.9 incelendiğinde 2. kümedeki 3. harmonik derecenin çok yüksek çıktığı görülmektedir. Bu değer uluslararası harmonik standartlarında belirtilen değerlerin çok üzerinde olduğu tespit edilmiştir. k-Means işlemi ile elde edilen bu kümelere ait sınıf

bilgileri ve veriler kullanılarak, önerilen harmonik izleme sisteminin eğitim ve test aşamaları gerçekleştirilmiştir. Ayrıca izleme sisteminin sınıflandırıcı aşamasında performans değerlendirmesi için kullanılan LMT, RBF, MLP ve J48 sınıflandırıcılar için eğitim ve test aşamaları ayrı ayrı gerçekleştirilerek sonuçlar elde edilmiştir. Bu senaryoda elde edilen sınıflandırma sonuçları Tablo 5.10'da görülmektedir.

Tablo 5.10. $k=4$ parametresi için sınıflandırma sonuçları

Sınıflandırıcılar	Doğru Sınıflama	Hatalı Sınıflama	Başarım (%)
LMT	4009	23	99.42
MLP	3997	35	99.13
J48	3861	171	95.75
RBF	3879	153	96.20

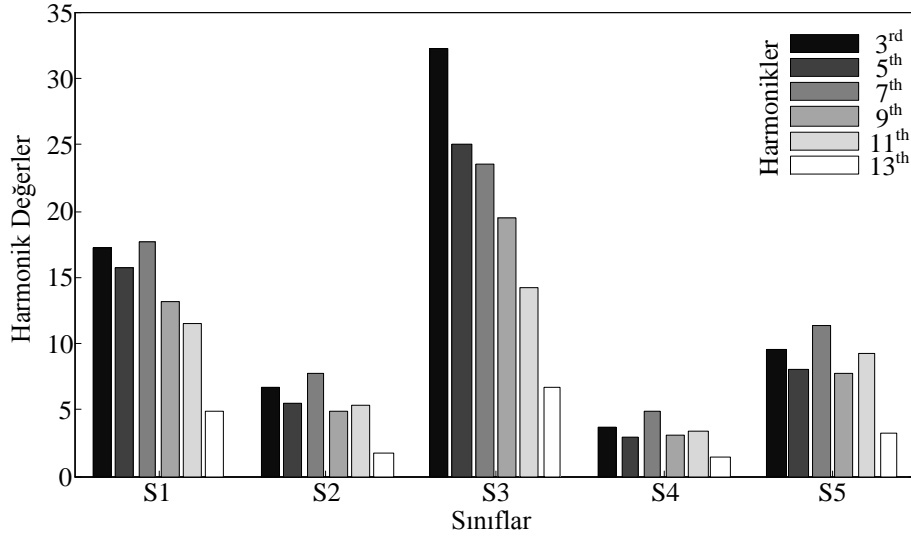
Elde edilen sınıflandırma sonuçları incelendiğinde; önerilen harmonik izleme sisteminde algoritmaların başarımlarına bakıldığında; LMT karar ağacı algoritması sadece 23 harmonikli veriyi hatalı sınıflandırmışken, elimizde olan 4009 veriyi doğru sınıflamış ve başarımı % 99,42 olmuştur. Yapay sinir ağları algoritmalarından olan MLP algoritması 35 veriyi yanlış sınıflarken, başarımı % 99,13 olmuştur. Yine karar ağaçları algoritmalarından J48 algoritmasının başarımı, diğer algoritmalara göre düşük çıkmıştır. RBF algoritması 153 veriyi hatalı sınıflamış ve başarımı % 96.20 de kalmıştır. Sonuçlara bakıldığında; önerilen harmonik izleme sisteminde kullanılan LMT sınıflandırıcı, diğer sınıflandırıcılardan daha yüksek bir sınıflandırma başarımı göstermiştir.

Kümeleme ve sınıflandırma işleminin ardından sonuçların istatistiki bilgilerinin bulunduğu Tablo 5.7 incelendiğinde; seçilen sınıflama algoritmalarının başarımlarının genelde yüksek çıktığı, LMT algoritmasında başarımın diğerlerine göre çok daha yüksek olduğu görülmektedir.

5.3.2.2. Senaryo 2 ($k=5$)

Küme sayısı $k=5$ durumunda veriler farklılıklarına göre 5 sınıfa ayrılmaktadır. Oluşan beş sınıftaki verilerin değerlerine göre küme merkezleri oluşmaktadır. MATLAB ortamında bulunan kümeleme algoritmalarından olan k-Means algoritması fonksiyonu

Şekil 5.12’de 5 küme için her bir harmonik derecenin küme merkezlerinin değerleri görülmektedir. k-Means algoritması harmonik derecelerin taşıdığı olduğu değerleri daha önceden rastgele belirlenen merkezlerin Öklid uzaklığına göre hesaplama yaparak atamaktadır.



Şekil 5.12. $k=5$ parametresi için sınıflara ait küme merkezlerinin dağılımı

$k=5$ için oluşan küme değerleri incelendiğinde, 3. kümenin harmonik ortalama değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Bu sınıftaki harmonikli verilerin değerlerinin oldukça yüksek olduğu, 4. kümede ise harmonik ortalamaların düşük olduğu görülmektedir. Yine sınıflardaki harmonik dereceler incelendiğinde 3. harmonik derecenin yaklaşık olarak tüm kümelerde yüksek çıktığı görülmektedir. Özellikle 3. sınıftaki bu harmonik bozukluğun çok yüksek olduğu Tablo 5.11’de sayısal olarak ifade edilmiştir.

Tablo 5.11. $k=5$ parametresi için sınıflara ait küme merkezlerinin değerleri

Sınıflar	Harmonik Dereceler					
	3.Harm	5.Harm	7.Harm	9.Harm	11.Harm	13.Harm
S1	17.202	15.783	17.647	13.279	11.498	4.980
S2	6.841	5.531	7.805	4.891	5.324	1.855
S3	32.272	24.932	23.503	19.498	14.227	6.808
S4	3.741	2.998	4.973	3.084	3.406	1.432
S5	9.548	8.112	11.428	7.746	9.294	3.259

k-Means işlemi ile elde edilen bu kümelere ait sınıf bilgileri ve veriler kullanılarak önerilen harmonik izleme sisteminin eğitim ve test aşamaları gerçekleştirilmiştir. Ayrıca izleme sisteminin sınıflandırıcı aşamasında performans değerlendirmesi için kullanılan LMT, RBF, MLP ve J48 sınıflandırıcılar için eğitim ve test aşamaları gerçekleştirilerek sonuçlar elde edilmiştir. $k=5$ için elde edilen sınıflandırma sonuçları Tablo 5.12’de görülmektedir.

Tablo 5.12. $k=5$ parametresi için sınıflandırma sonuçları

Sınıflandırıcı	Doğru Sınıflama	Hatalı Sınıflama	Başarım(%)
LMT	4009	23	99.42
MLP	3861	171	95.75
J48	3772	260	93.55
RBF	3823	209	94.81

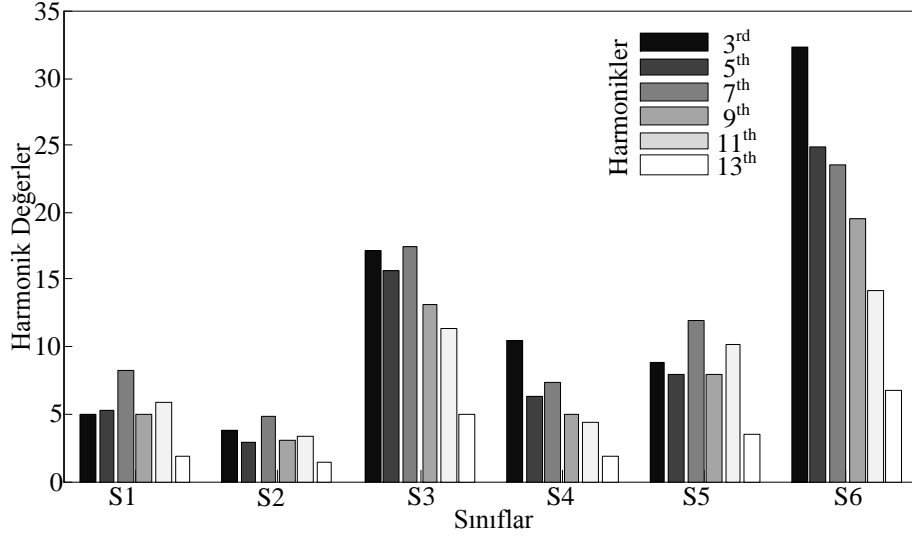
Elde edilen sınıflandırma sonuçları incelendiğinde, önerilen harmonik izleme sisteminde algoritmaların başarımlarına bakıldığında, LMT karar ağacı algoritması sadece 23 harmonikli verisi hatalı sınıflamışken, elimizde olan 4009 veriyi doğru sınıflamış ve başarımları % 99,42 olmuştur. Yapay sinir ağları algoritmalarından olan MLP algoritması 171 veriyi yanlış sınıflarken, başarımları % 95,75 olmuştur. Yine karar ağaçları algoritmalarından J48 algoritmasının başarımları, diğer algoritmalara göre düşük çıkmıştır. RBF algoritması 209 veriyi hatalı sınıflamış ve başarımları % 94.81’de kalmıştır. Sonuçlara bakıldığında, önerilen harmonik izleme sisteminde kullanılan LMT sınıflandırıcı, diğer sınıflandırıcılardan daha yüksek bir sınıflandırma başarımları elde edilmiştir.

Kümeleme ve sınıflandırma işlemi ardından sonuçların istatistikî bilgilerin bulunduğu Tablo 5.12 incelendiğinde, seçilen sınıflama algoritmalarının başarımlarının genelde yüksek çıktığı LMT algoritmasında başarımların diğerlerine göre çok daha yüksek olduğu görülmektedir.

5.3.2.3. Senaryo 3 ($k=6$)

Küme sayısı $k=6$ durumunda veriler farklılıklarına göre 6 sınıfa ayrılmaktadır. Algoritma yürütümü sonucunda oluşan bu sınıfların barındırdığı verilerin değerlerine göre küme merkezleri oluşmaktadır. K-Means algoritması harmonik derecelerin taşıdığı olduğu

değerleri daha önceden rastgele belirlenen merkezlerin Öklid uzaklığına göre hesaplama yaparak atamaktadır. Algoritma yürütümü sonucunda oluşan küme merkezi değerleri Şekil 5.13'te görülmektedir.



Şekil 5.13. $k=6$ parametresi için sınıflara ait küme merkezlerinin dağılımı

$k=6$ için oluşan küme değerleri incelendiğinde, 6. kümenin harmonik merkez değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Bu sınıftaki harmonikli verilerin değerlerinin oldukça yüksek olduğu, 2. kümede ise harmonik merkezlerin düşük olduğu görülmektedir. Yine sınıflardaki harmonik dereceler incelendiğinde, 3. harmonik derecenin yaklaşık olarak tüm kümelerde yüksek çıktığı görülmektedir. Özellikle 6. sınıftaki bu harmonik bozukluğun çok yüksek olduğu Tablo 5.13'de görülmektedir.

Tablo 5.13. $k=6$ parametresi için sınıflara ait küme merkezlerinin değerleri

Sınıflar	Harmonik Dereceler					
	3.Harm	5.Harm	7.Harm	9.Harm	11.Harm	13.Harm
S1	5.036	5.348	8.169	4.994	5.786	1.881
S2	3.779	2.890	4.841	3.014	3.324	1.417
S3	17.153	15.681	17.455	13.111	11.339	4.946
S4	10.520	6.331	7.308	4.909	4.488	1.903
S5	8.818	7.885	11.909	8.014	10.150	3.431
S6	32.256	24.925	23.502	19.492	14.224	6.806

k-Means işlemi ile elde edilen bu kümelere ait sınıf bilgileri ve veriler kullanılarak önerilen harmonik izleme sisteminin eğitim ve test aşamaları gerçekleştirilmiştir. Ayrıca izleme sisteminin sınıflandırıcı aşamasında performans değerlendirmesi için kullanılan LMT, RBF, MLP ve J48 sınıflandırıcılar için eğitim ve test aşamaları gerçekleştirilerek sonuçlar elde edilmiştir. $k=6$ için elde edilen sınıflandırma sonuçları Tablo 5.14'de görülmektedir.

Tablo 5.14. $k=6$ parametresi için sınıflandırma sonuçları

Sınıflandırıcılar	Doğru Sınıflama	Hatalı Sınıflama	Başarım (%)
LMT	4008	24	99.40
MLP	3712	320	92.06
J48	3750	282	93.00
RBF	3857	175	95.65

Elde edilen sınıflandırma sonuçları incelendiğinde, önerilen harmonik izleme sisteminde algoritmaların başarımlarına bakıldığında, LMT karar ağacı algoritması sadece 24 harmonikli verisi hatalı sınıflandırmışken, elimizde olan 4008 veriyi doğru sınıflamış ve başarımları % 99,40 olmuştur. Yapay sinir ağları algoritmalarından olan MLP algoritması 320 veriyi yanlış sınıflarken, başarımları % 92,06 olmuştur. RBF algoritması 175 veriyi hatalı sınıflamış ve başarımları % 95.65 de kalmıştır. Sonuçlara bakıldığında, önerilen harmonik izleme sisteminde kullanılan LMT sınıflandırıcı diğer sınıflandırıcılardan daha yüksek bir sınıflandırma başarımları elde etmiştir.

Kümeleme ve sınıflandırma işlemi ardından sonuçların istatistikî bilgilerinin bulunduğu Tablo 5.14 incelendiğinde, seçilen sınıflama algoritmalarının başarımlarının genelde yüksek çıktığı LMT algoritmasında başarımların diğerlerine göre çok daha yüksek olduğu yapılan literatür taramalarında da ortaya çıkmaktadır.

Tablo 5.15'de, küme parametresine göre gerçekleştirilen senaryolar sonucunda, sınıflandırıcıların başarımlar oranları görülmektedir.

Tablo 5.15. Küme parametrelerin göre sınıflandırma başarımları oranları

Sınıflandırıcılar	k=4 Başarımları (%)	k=5 Başarımları (%)	k=6 Başarımları (%)
LMT	99.42	99.42	99,40
J48	95.75	93.55	93.00
MLP	99.13	95.75	92.06
RBF	96.20	94.81	95.65

Tablo 5.15 incelendiğinde; karar ağaçları algoritmalarından olan LMT sınıflandırıcısının, en yüksek başarıma sahip olduğu ortaya çıkmıştır. LMT her üç küme parametresinde de başarımları hemen hemen aynı çıkmış ve hatalı veri sınıflama oranları çok az olmuştur. Aynı algoritma tipinden olan J48 algoritmasının hata oranı LMT ye göre çok yüksek çıkmıştır fakat başarımları oranı yapılan çalışmaya göre yüksek olmuştur. Yapay sinir ağları algoritmalarından olan MLP algoritmasının başarımları, k parametresini 4 olduğu, yani küme sayısının 4 olması durumunda yüksek çıkmıştır. k küme sayısı parametresinin yükselmesiyle başarımları ciddi derecede bir düşüş gözlemlenmiştir. k=4 durumunda MLP algoritmasının başarımları % 99.13 iken, k=6 durumunda başarımları % 92.06 olmuştur. RBF algoritması ise başarımları k=4 iken en yüksek çıkmıştır. k parametresi RBF algoritmasında çok etkili olmamış fakat hatalı veri sınıflama sayısı normal düzeyde kalmıştır.

Sınıflandırma işlemi ile, kümelenmiş harmonikli verilerin 8.064 adetlik kısmı sınıflandırıcıların eğitim aşamasında, 4.032 adetlik kısmı ise test aşamasında kullanılarak oluşan sınıf sonuçlarına göre harmonik bozukluklar ile ilgili çeşitli bilgiler elde edilmiştir. Harmonik bozuklukların giderilmesi için bu sınıf parametreleri kullanılarak eliminasyon sistemleri geliştirilebilir. Sınıf sayısı parametresine göre oluşan sonuçlar için farklı eliminasyon sistemleri geliştirilebilir ve böylece herhangi bir dağıtım sistemine kurulan harmonik izleme sistemi ile gerekli ölçümlerden sonra oluşan harmonik sınıf bilgisine göre filtreleme işlemleri rahatlıkla yapılabilmektedir. Sistemde oluşan anlık harmonik bozukluklara ait veriler hemen sınıflandırılarak oluşan sınıf bilgisine göre elimine sistemi devreye otomatik olarak sokularak filtreleme işlemi rahatlıkla yapılmaktadır.

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu tez çalışmasında, elektrik bilimlerinin enerji verimliliği konularına ve bilgisayar bilimlerinin popüler konularından biri olan veri madenciliği konusuna değinilmiş ve bu alanda kullanılan çeşitli teknikler irdelenmiştir. Daha sonra bu alanlarda ulusal, uluslararası yapılan çalışmalara değinilmiştir. Çalışmada yeni geliştirilen harmonik izleme istemi hakkında bilgi verilmiş ve bunun üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Harmonik izleme sistemi, akım harmonikli verilerin güç analizörü ile elde edilmesi, bu verilen ön işlenmesi ve daha sonra iki uygulama altında analiz edilmesini kapsamaktadır.

İlk uygulamada elde edilen akım harmonikli verilerine k-Means kümeleme algoritması başarılı bir şekilde uygulanmış ve harmonikli veriler sınıflandırılmıştır. Daha sonraki uygulamada ise küme bilgisi taşıyan harmonikli verilere, belirlenen karar ağaçları ve yapay sinir ağları algoritmaları ile başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Gerçekleştirilen bu sistemle, TÜMF elektrik dağıtım panosunda, gerçek zamanlı harmonik ölçüm yapılmakta ve bu ölçümler doğrultusunda elde edilen verilerin, harmonik analizi yapılarak istatistiki bilgiler elde edilmektedir. Ayrıca geliştirilen harmonik izleme sistemi, istenilen herhangi bir bölge için uyarlanabilir ve gerçek zamanlı ölçüm yapılarak anlık sonuçlar elde edilebilir. Bu tezde ölçülen yer bir elektrik panosu olarak seçilmiştir. Fakat daha büyük ortamlar veya trafo merkezleri seçilerek harmonik izleme yapılabilir.

Beşinci bölümde harmonik izlem sisteminden elde edilen verilere veri madenciliği yöntemleri uygulanarak harmonikli verilerin analizi ve ölçümü yapılmıştır. Bu bölümde elde edilen harmonik bilgilerin başarılı bir şekilde sınıflandırılmış ve ayrıca kullanılan algoritmalar arasındaki sınıflama başarımları test edilmiştir. Kümeleme ve sınıflama algoritmaları arasındaki farklılıklar, hata tespiti ve başarımlar istatistiki bilgi olarak sunulmuştur.

Gerçekleştirilen harmonik izleme sisteminde k-Means algoritmasında 3 farklı k değeri seçimine göre sınıflandırma sonuçları elde edilmiştir. Seçilen 3 farklı küme için harmonik izleme sisteminden oldukça yüksek bir tanıma başarımları elde edilmiştir. Ayrıca, önerilen LMT sınıflandırıcı yaklaşımın, diğer sınıflandırıcılara göre oldukça yüksek bir performansa sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre, önerilen akıllı harmonik izleme sistemi kullanılarak güç sistemindeki harmonik değişimler harmonik standartlarına göre oldukça rahat, hızlı ve

güvenilir olarak izlenilebilir. Ayrıca önerilen akıllı harmonik izleme sistemi kullanılarak güç sisteminin harmonik eliminasyonunun yapılması açısından oldukça önemli bilgiler elde edilebilir.

Bu tez çalışmasında, ölçülen bölgedeki akım harmoniklerinin izlenmesi ve bu veriler üzerinde çeşitli veri madenciliği tekniklerin ile analizlerin yapılmasına yönelik geliştirilmiş bir çalışma sunulmuştur. Ayrıca tez çalışmasında kullanılan yöntemlerin uygulanması için geliştirilen harmonik izleme sistemi, enerji verimliliği, harmonik filtreleme alanlarında çalışan uzmanların yararlanabileceği bir araç olarak önerilmiştir.

7. KAYNAKLAR

- Acarkan B., Kılıç O. ve İnan A.** 2004. Alçak Gerilimde Tek Fazlı Yükler için Harmonik Akım Sınırları, ELECO'2004 Elektrik - Elektronik - Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, s.84-88, Bursa.
- Akgeyik, O.,** 2005. Kesintisiz Güç Kaynaklarında Kullanılan Doğrultucuların Oluşturduğu Akım Harmoniklerinin Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akgöbek Ö., Çakır F.,** 2009. "Veri Madenciliğinde Bir Uzman Sistem Tasarımı" Harran Üniversitesi, Akademik Bilişim'09 - XI. Akademik Bilişim Konferansı, 1-13 Şubat 2009 Harran Üniversitesi, Şanlıurfa
- Akpınar, H.,** 2000. Veri Tabanlarında Bilgi Keşfi Ve Veri Madenciliği, İ.Ü. İşletme Fakültesi Dergisi, C:29, S: 1
- Alataş, B., Akın, E.,** 2004. Veri Madenciliğinde Yeni Yaklaşımlar, Ya/Em-2004-Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği XXIV Ulusal Kongresi, Gaziantep-Adana.
- Alkan A.** 2001. "Predictive Data Mining With Neural Networks and Genetic Algorithms", *Ph. D. Thesis*, Institute of Science and Technology, Computer Engineering, ITU, İstanbul.
- Altıntaş T.,** 2006. Veri Madenciliği Metotlarından Olan Kümeleme Algoritmalarının Uygulamalı Etkinlik Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Arrillaga J., Watson N.,** 2003. Power System Harmonics, John Wiley & Sons, England.
- Asheibi A., Stirling D., ve Sutanto D.,** 2008. Determination of the Optimal Number of Clusters in Harmonic Data Classification, Harmonics and Quality of Power, 2008. ICHQP 2008. 13th International Conference, Conference Publications, Page(s): 1 – 6
- Asheibi A. T. M.,** 2009. Discovery and Pattern Classification of Large Scale Harmonic Measurements Using Data Mining, Doctor of Philosophy, University of Wollongong, School of Electrical, Computer and Telecommunications Engineering, Avusturalya.
- Asheibi A., Stirling D., ve Sutanto D.,** 2009. Analyzing Harmonic Monitoring Data Using Supervised and Unsupervised Learning, IEEE Transactions On Power Delivery, Vol. 24, No. 1

- Aydın G. ve Yıldırım Ö.**, 2010. Deprem Verilerinin Analizinde Kümeleme Yönteminin Kullanılması: Türkiye Deprem Kataloğu Üzerinde Bir Çalışma, Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu-BMYS 2010, Diyarbakır.
- Aynekin G.**, 2006. İnternet İçerik Madenciliğinde Yapay Sinir Ağları Ve Bir Uygulama, *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Bayram, M.**, 1999. Elektrik Tesisleri ile İlgili Sorular ve Çözümleri, Birsen Yayınevi, Sayfa 426 İstanbul.
- Berson, A., Smith, S. And Thearling, K.**, 2001. Building Data Mining Applications For CRM, Second Edition, McGraw-Hill Professional Publishing, Page: 55-115.
- Catterson, V.M., Bahadoorsingh, S., Rudd, S., McArthur, S.D.J., Rowland, S.M.**, 2011. Identifying Harmonic Attributes From Online Partial Discharge Data, IEEE Transactions On Power Delivery, Journals & Magazines Volume: 26, Issue: 3, Page(s): 1811-1819.
- Coşkun C.**, 2010. Veri Madenciliği Algoritmaları Karşılaştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Çalış N.**, 2005. “Karma Dağılım Modellerinde Bileşen Sayısını Tahmin Etmek İçin Yöntemler”, *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana
- Demirbaş, Ş., Bayhan S.**, 2009. Real-Time Measurement and Analysis of Harmonics in Power Systems, J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ., 24- 3, 461-468.
- Dempster, A.P., Laird, N.M, and Rubin, D.**, 1977. Maximum Likelihood Estimation From Incomplete Data Via The EM Algorithm, Journal Royal Statistical Soc. Vol: 39, 1-38.
- Dener M, Dörterler M, Orman A.**, 2009. Açık Kaynak Kodlu Veri Madenciliği Programları: Weka’da Örnek Uygulama, Akademi Bilişim Konferansları, Şanlıurfa.
- Diñer E.**, 2006. Veri Madenciliğinde K-Means Algoritması Ve Tıp Alanında Uygulanması, *Yüksek Lisans Tezi*, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Diñer E., Duru N.**, 2006. Gırtlak Kanseri Ameliyat Verilerinin K-Means Yöntemiyle Analizi, TBV Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi, İstanbul.
- Doğan B.**, 2006. Zeki Öğretim Sistemlerinde Veri Madenciliği Kullanılması *Doktora Tezi* Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Elmas Ç.**, 2003. Yapay Sinir Ağları (Kuram, mimari, eğitim, uygulama), Seçkin Yayıncılık, 192 Sayfa.

- EN 61000-3-4**, 1998. Consolidated Edition. Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-4, Limits – Limitation of emission of harmonic currents in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 16 A.
- Ergeneli, A.**; “Elektrikte Laplace Dönüşümü ve Fourier Analizi”, Kipaş Dağıtımçılık, İstanbul, Türkiye, (1984).
- Erişti H.**, 2010. Güç Kalitesi İçin Dalgacık Dönüşümü ve Destek Vektör Makine Tabanlı Bir Olay Tanıma Tekniğinin Geliştirilmesi, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Erişti, H. and Demir, Y.**, 2010. A New Algorithm for Automatic Classification of Power Quality Events Based on Wavelet Transform and SVM, *Expert Systems With Applications*, 37-6, 4094-4102.
- Erişti, H. ve Demir, Y.**, 2011. Gerçek Zamanlı Güç Kalitesi İzleme Sistemleri ile Elektrik Dağıtım Sistemlerindeki Güç Kalitesinin İncelenmesi, *Elektrik-Elektronik Bilgisayar Sempozyumu, FEEB 2011*, Elazığ.
- Eroğlu H.**, 2009. Bir Dağıtım Şebekesinin güç kalitesi ve harmonikler yönünden incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Ferracci P.**, 2001. Power Quality, Schneider Electric , Cahier Technique sayfa no 199.
- Filiz C.**, 2006. Güç Sistemlerinde Harmonikler ve Filtrelemelerin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Friedman, J., Hastie, T. and Tibshirani, R.**, 2000. Additive logistic regression: A statistical view of boosting, *Annals of Statistics*, 32(2), 337–374.
- Gu, I.Y.-H.; Bollen, M.H.J.**, 2008. Estimating Interharmonics by Using Sliding-Window ESPRIT, *IEEE Transactions On Power Delivery*, Vol. 23, Issue 1, pp.13-23.
- Han, J. and Kamber, M.**, 2000. Data Mining: Concepts and Techniques, Morgan Kaufmann, San Francisco, 312s
- Hosmer, D.W. ve Lemeshow, S.**, 2000. “Applied Logistic Regression”, Wiley Series In Probability And Statistics, Canada, 8,49-50, 143, 156.
- Işık M.**, 2006. Bölünmeli Kümeleme Yöntemleri İle Veri Madenciliği Uygulamaları, *Yüksek Lisans Tezi* Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Jain, A.K., Murty, M.N., Flynn, P.J.**, 1999. Data Clustering: A Review, *ACM Computing Surveys*, Vol. 31, No. 3.
- Kakilli, A., Tunçalp K., Sucu M.**, 2008. Harmoniklerin Reaktif Güç Kompanzasyon Sistemlerine Etkilerinin İncelenmesi ve Similasyonu, *Fırat Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilimi Dergisi*, Sayı 20(1), Sayfa: 109-115, Elazığ

- Kalıkov A.**, 2006. Veri Madenciliği ve Bir E-Ticaret Uygulaması, *Yüksek Lisans Tezi* Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Karabatak, M., Ince, M. C.**, 2009. An expert system for detection of breast cancer based on association rules and neural network, *Expert Systems with Applications*, Volume 36, Issue 2, Part 2, 3465-3469
- Kayaalp K.**, 2007. Asenkron Motorlarda Veri Madenciliği İle Hata Tespiti, *Yüksek Lisans Tezi* Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Kılıç E., Özbalcı Ü., Özçalık H. R.**, 2012. Lineer Olmayan Dinamik Sistemlerin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesinde MLP ve RBF Yapılarının Karşılaştırılması, *ELECO '2012 Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, Bursa.
- Kırıcı, A.**, 2007. Harmonikli Sistemlerde Güç Faktörü Düzeltilmesinin Bilgisayar Destekli Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kocatepe, C., Demir, A.**, 1998. Güç Sistemlerinde Harmonik Üreten Elemanlara Genel Bakış, *Kaynak Elektrik Dergisi*, Sayı:113
- Kocatepe, C., Uzunoğlu, M.** 2001. Harmoniklerin Sınırlanması ve Harmonik Standartları. *Kaynak Elektrik Dergisi*, Sayı:150.
- Köse N., Salor Ö., ve Leblebicioğlu K.**, 2010. Interharmonics Analysis Of Power Signals With Fundamental Frequency Deviation Using Kalman Filtering, *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 80, no. 9, pp. 1145-1153.
- Kusljevic, M. D., Tomic, J. J. & Jovanovic, L. D.**, 2010. Frequency estimation of three-phase power system using weighted-least-square algorithm and adaptive fir filtering, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 59(2): pp. 322–329.
- Landwehr N., Hall M., ve Frank E.**, 2004. Logistic model trees, *Machine Learning*, 59(1/2) , 161–205, ABD.
- Mack G. ve Santoso, S.**, 2001. Understanding Power System Harmonics, *IEEE Power Engineering Review*.
- McQueen, J.**, 1967. Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations, *Proceedings of 5-th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, Berkeley, University of California Press, 1:281-297.
- Mitra, S., Acharya, T.**, 2003. *Data Mining: Multimedia, Soft Computing and Bioinformatics*, Wiley Interscience Publication, Canada.

- Negnevitsky, M., Univ., Hobart Ringrose, M.,** 2005. Monitoring Multiple Harmonic Sources in Power Systems Using Neural Networks, Power Tech, IEEE Russia, Conference Publications, Page(s): 1 – 6
- Nilson, J.,W, Riedel, S.,A.,** 1998. “Electric Circuits”, Prentice Hall,
- Özekes S.,** 2002. Veri Madenciliği Uygulaması, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- P1495/D3,** 2002. Draft Guide for Harmonic Limits for Single-Phase Equipment, Sponsored by the Transmission and Distribution Committee of the IEEE Power Engineering Society, January 26
- Rumelhart, D.E., Hinton, G.E. ve Williams, R.J.,** 1986. Learning Internal Representations by Error Propagation, pp. 318-362 in Parallel Distributed Processing, ed. Rumelhart, D.E. and McClelland, J.L. (Eds), MIT Press
- Savran Y.,** 2009. Çok Değişkenli Gauss Karışım Modelleme Yöntemiyle Görsel Doku Analizi *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul.
- Seidman C.,** 2001. Data Mining with Microsoft® SQL Server™ 2000 Technical Reference, *Microsoft Press*, Redmond, WA, USA.
- Sevgi L.,** 2005 EMC, Güç Kalitesi ve Harmonik Analizi, Endüstriyel & Otomasyon, Doğu Üniversitesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Sezer Ü.,** 2008. Karar Ağaçlarının Birlikte Kuralları İle İyileştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Sucu M.,** 2003. Elektrik Enerji Sistemlerinde Oluşan Harmoniklerin Filtrelenmesinin Bilgisayar Destekli Modellenmesi Ve Simülasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şenyurt Ö.,** 2006. Elektrik Tesislerinde Hızlı Fourier Dönüşümü ile Harmonik Analizinin Yapılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Tan P-N, Steinbach, M., Kumar, V.,** 2006. Introduction to Data Mining”, Addison Wesley
- Terzi Ö., Küçüksille E. U., Ergin G., İlker A.,** 2011. Veri Madenciliği Süreci kullanılarak Güneş Işınımı Tahmini, *SDU International Technologic Science*, Vol. 3, No 2, Sayfa: 29-37
- Thuarisingham B. M.,** 2003. Web Data Mining and Applications in Business intelligence and counter Terrorism. *Auerbach Publishers, incorporated*, Boca Raton, Crc Press FL,USA, 35.

- TS EN 61000-3-2**, 2003. Elektro-manyetik Uyumluluk (EMU) - Bölüm 3-2: Sınır Değerler – Harmonik Akım Emisyonlar için Sınır Değerler (Faz Başına Donanımın Giriş Akımı $\leq 16A$).
- Tümen V., Erişti, H.**, 2012, "K-Means Kümeleme Yaklaşımı Kullanarak Elektrik Dağıtım Sistemlerindeki Harmoniklerin Zamansal Değişimlerinin İncelenmesi", Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu (ELECO12), Bursa.
- Uzun Y.**, 2005. Tıbbi veriler üzerinde makine öğrenme algoritmaları ve bulanık mantık ile kurallar öğrenme, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Ünal Y., Ekim U., Köklü M.**, 2010. Üniversite Öğrencilerin Ortak Zorunlu Derslerdeki Başarılarının K-Means Algoritması İle İncelenmesi, Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu-BMYS 2010, Diyarbakır.
- Yeşil, M.**, 1996. Enerji Sistemleri Üzerindeki Nonlineer Yüklerin Etkileri Ve Alınabilecek Önlemler, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yıldırım Ö.**, 2010. Veri Madenciliği Yöntemleriyle Depremlerin Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Yıldırım S.**, 2003. Tümevarım Öğrenme Tekniklerinden C4.5'in İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Zhong, W., Altun, G., Harrison, R., Tai, P.C., Yi P.**, 2005. Improved K-Means Clustering Algorithm For Exploring Local Protein Sequence Motifs Representing Common Structural Property, *NanoBioscience IEEE Transactions on Volume 4, Issue 3, 255 – 265*.
- Zorlu, S.**, 1996. Ark Fırınlarının Şebeke Üzerindeki Etkileri ve Harmonik Kayıplarının Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

8. ÖZGEÇMİŞ

Vedat TÜMEN, Bitlis/TATVAN’da, 1985 yılında doğmuştur. 2002 yılında 19 Mayıs Üniversitesi Bilgisayar Eğitimi Bölümünde lisans eğitimine başladı ve 2006 yılında mezun oldu. 2007 yılının şubat ayında, Şanlıurfa Harran İlçesine Bilgisayar Öğretmeni olarak atandı. 2008 yılında Yedek Subay Asker Öğretmen olarak görev yaptı, yine Şanlıurfa’da Eğitici Formatör Öğretmen olarak 2009 yılına kadar çalıştı. 2009 Yılında Tunceli Üniversitesinde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaya başladı ve halen bu görevde çalışmaya devam etmektedir.