

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

**KIZILTEPE BÖLGESİNDE TARIMSAL SULAMADA KAYNAKLANAN**  
**GERİLİM DALGALANMASI ETKİLERİNİN ASENKRON**  
**MOTORLARDA SÜRÜCÜ SİSTEM KULLANIMI İLE AZALTILMASI**

**Halil İbrahim AYDINÖZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DIYARBAKIR**

**Şubat-2014**

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

**KIZILTEPE BÖLGESİNDE TARIMSAL SULAMADA KAYNAKLANAN**  
**GERİLİM DALGALANMASI ETKİLERİNİN ASENKRON**  
**MOTORLARDA SÜRÜCÜ SİSTEM KULLANIMI İLE AZALTILMASI**

**Halil İbrahim AYDINÖZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DIYARBAKIR**

**Şubat-2014**

T.C. DİCLE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ  
DİYARBAKIR

Halil İbrahim AYDINÖZ tarafından yapılan “Kızıltepe Bölgesinde Tarımsal Sulamada Kaynaklanan Gerilim Dalgalanması Etkilerinin Asenkron Motorlarda Sürücü Sistem Kullanımı İle Azaltılması ” konulu bu çalışma, jürimiz tarafından Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Vedat ORUÇ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Bilal GÜMÜŞ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mustafa NALBANTOĞLU

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 10/02/ 2014

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

.../...../.....

Doç. Dr. Mehmet YILDIRIM

Enstitü Müdürü

## TEŞEKKÜR

Eğitim hayatımın lisans ve yüksek lisans kademelerinde benden desteğini esirgemeyen bilgi ve birikimlerini benle paylaŐan; mesleki, akademik ve sosyal yaşamın her noktasında örnek aldığım danıŐman hocam Sayın Bilal GÜMÜŞ'e teşekkür ederim.

Bu tez çalışması süresince araŐtırmalarıma destek olan Sayın Nedim TÜZÜN'e, yaptığım çalıŐmalarımnda bana sabır, cesaret, özveri gibi birçok ahlaki değerini daha iyi görmeme yardımcı olan sifum Sayın Murat KAPLAN'a, elinden gelen her konuda desteklerini esirgemeyen kurum yöneticim Sayın Gülhan GÜZEL'e (TEİAŞ Batı Akdeniz Yük Tevzi İŐl. Müd.), tez çalıŐmamda gerek eviri gerek manevi desteklerini gösteren Sayın Derya ÖZEL'e ve bugüne kadarki eğitim süresince emek harcayan tüm hocalarıma teşekkür ederim

Tezin hazırlanması sırasında her konuda fedakârlık gösteren, manevi yardımlarını ve dualarını benden esirgemeyen saygıdeğer annem AyŐe AYDINÖZ'e, babam İhsan AYDINÖZ 'e ve kardeŐlerim Őahin AYDINÖZ ve Hayriye AYDINÖZ'e sonsuz Őükranlarımı sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKKÜR.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET.....	VI
ABSTRACT.....	VII
ÇİZELGE LİSTESİ.....	VIII
ŞEKİL LİSTESİ.....	IX
EK LİSTESİ.....	XIII
KISALTMA VE SİMGELER.....	XIV
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Tezin Amacı.....	4
1.2. Tezin Sınırları.....	4
1.3. Tezin İçeriği.....	5
<b>2. KAYNAK ÖZETLERİ</b> .....	<b>7</b>
<b>3. MATERYAL VE METOT</b> .....	<b>9</b>
3.1. Giriş.....	9
3.2. Elektrik Enerjinde Güç Kalitesi.....	10
3.3. Elektrik Enerjisindeki Güç Kalitesi Bozuklukları ve Standartları.....	12
3.3.1. Gerilimin Frekans Değeri.....	13
3.3.2. Harmonikler.....	13
3.3.3. Gerilim Kırpışması.....	16
3.3.4. Gerilim Etkin Değeri Değişimleri.....	17
3.3.4.1. Gerilim Etkin Değerinin Düşmesi.....	20
3.3.4.2. Gerilim Düşmesinin Oluşum Sebepleri ve Sıklıkları.....	21
3.3.4.3. Gerilim Düşmelerinin Etkileri.....	22
3.3.4.4. Gerilim Düşmelerinin Asenkron Motorlara Etkileri.....	23
3.3.5. Gerilim Dengesizliği.....	25

3.3.6.	Gerilim Dengesizliğinin Sınıflandırılması.....	27
3.3.6.1.	ABC sınıflandırılması.....	27
3.3.6.2.	Simetrik Bileşen Sınıflandırılması.....	28
3.3.7.	Gerilim Dengesizliğinin Asenkron Motorlara Etkileri.....	28
3.4.	IEC 61000-4-30 Güç Kalitesi Parametreleri Standardı.....	30
3.5.	Asenkron Motorların Yapısı.....	30
3.5.1.	Asenkron Motorun Pozitif ve Negatif Eşdeğer Devreleri.....	33
3.6.	Pompalar.....	35
3.6.1.	Santifirüj Pompalar.....	35
3.6.2.	Santifirüj Pompa Çeşitleri.....	36
3.6.2.1.	Sondaj (Kuyu) Pompaları.....	36
3.6.2.2.	Yarı Dalgıç Pompalar.....	37
3.6.2.3.	Dalgıç Pompalar.....	37
3.6.3.	Santifirüj Pompaların Temel Kavramları.....	39
3.6.3.1.	Debi(Q).....	39
3.6.3.2.	Toplam Dinamik Yükseklik(H).....	39
3.6.3.3.	Emmedeki Net Pozitif Yükü (ENPY).....	39
3.6.3.4.	Pompa Mil Gücü(Pm).....	40
3.6.4.	Santrifüj Pompaların Karakteristik Eğrileri.....	40
3.6.5.	Benzeşim Kanunları.....	41
3.7.	Asenkron Motor Sürücü Sistemleri.....	42
3.7.1.	Asenkron Motorlarda Hız Kontrol Yöntemleri.....	42
3.7.2.	Asenkron Motorlarda Yapılan Hız Kontrol Metotları.....	43
3.7.2.1.	Skaler(V/f) Kontrol Yöntemi.....	43
3.7.2.2.	Vektörel Kontrol Yöntemi.....	45
3.7.3.	Asenkron Motorda Kullanılan Frekans Çeviricileri.....	46
3.7.3.1.	Akım Kaynaklı Frekans Çeviriciler.....	47
3.7.3.2.	Gerilim Kaynaklı Frekans Çeviriciler.....	47
3.7.3.3.	Kare Dalga Evirici.....	48

3.7.3.4.	Dalga Genlik Modülasyonlu (PWM) Evirici.....	50
3.7.3.5.	Uzay Vektör PWM Evirici.....	52
3.7.3.6.	Uzay Vektör-Sinüzoidal PWM Karşılaştırılması.....	54
3.8.	Hız Kontrol Cihazları.....	55
3.8.1.	Hız Kontrol Cihazların Terimleri.....	56
3.8.2.	Hız Kontrol Cihazlarının Yapısı.....	56
3.8.3.	Değişken Hızlı Sürücülerin(VSD) Sağladığı Faydalar.....	58
3.8.3.1.	Santrifüj Pompalarda VSD İle Enerji Verimliliği.....	58
3.8.3.2.	Santrifüj Pompalarda VSD İle Mekanik Faydalar.....	61
3.8.3.3.	Santrifüj Pompalarda VSD İle Elektriksel Faydalar.....	61
<b>4.</b>	<b>ARAŞTIRMA BULGULARI.....</b>	<b>65</b>
4.1.	Giriş.....	65
4.2	Kızıltepe Ovasının Elektrik Şebeke Yapısı.....	65
4.3.	Kızıltepe Ovasındaki Enerji Tüketimi.....	66
4.4.	Kızıltepe Ovasında Elektrik Enerjisi Problemleri.....	67
4.4.1.	Enerji Talebini Karşılayamamak.....	67
4.4.2.	Orta Gerilim Enerji Hatlarındaki Yanlış Yapılandırılması.....	68
4.4.3.	Asenkron Motorlar Tarafından Tahrik Edilen Pompalardan Kaynaklanan Sorunlar.....	68
4.5.	Gerilim Çökmeleri ve Kesintiler.....	69
4.6.	Pilot Olarak Seçilen Sulama Tesisi.....	71
4.7.	Benzetim Çalışmaları.....	74
4.7.1.	Gerilim Kaynağı Modeli.....	75
4.7.2.	Asenkron Motor Modeli.....	76
4.7.3.	Dalgıç Pompa Modeli.....	76
4.7.4.	Gerilim Kaynaklı Evirici Bloğu.....	79
4.7.5.	Yöntem.....	81
4.7.5.1.	Doğrudan Yol Verme Asenkron Motor–Pompa Modelinin Matlab/Simulink ile Sayısal Benzetimi.....	82

4.7.5.2.	Altı Adımlı Kare Dalga Gerilim Kaynaklı Değişken Hızlı Sürücüyle Yol Vermenin Matlab/Simulink ile Sayısal Benzetimi.....	84
4.7.5.3.	Uzay Vektör PWM Gerilim Kaynaklı Değişken Hızlı Sürücüyle Yol Vermenin Matlab/Simulink ile Sayısal Benzetimi.....	86
4.7.6.	Sürme Yöntemlerine Göre Motor-Pompa Grubunun Yol Alma Sırasında İncelenmesi.....	88
4.7.7.	Ani Gerilim Düşmesi Durumunda Motor-Pompa Grubunun İncelenmesi....	89
4.7.8.	DC Bara Kapasite Değerlerinin Değişimin Motor Çıkış Parametreleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi .....	96
<b>5.</b>	<b>TARTIŞMA VE SONUÇ</b> .....	<b>101</b>
<b>6.</b>	<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>105</b>
	EKLER.....	113
	ÖZGEÇMİŞ.....	119



## ÖZET

# KIZILTEPE BÖLGESİNDE TARIMSAL SULAMADA KAYNAKLANAN GERİLİM DALGALANMASI ETKİLERİNİN ASENKRON MOTORLARDA SÜRÜCÜ SİSTEM KULLANIMI İLE AZALTIKMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Halil İbrahim AYDINÖZ

DİCLE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2014

Türkiye'nin tarımsal arazilerin çok yüksek bir oranının mevcut olduğu GAP uygulama bölgesinin sulama ağı çok yetersizdir. Bu nedenle sulama işlemi, çiftçilerin kendi olanaklarıyla kurdukları, derin kuyulardan yer altı suyunun büyük güçlü asenkron motorlar ile yeryüzüne çıkarıldığı tesislerle yapılmaktadır. Bu sulama sistemlerinde büyük güçlü asenkron motorlar kullanılmaktadır. Asenkron motorlar elektrik güç sistemlerinde iletim ve dağıtım şebekeleri için güç kalitesine, özellikle şebeke gerilimine, yüksek derecede etki eden kaynaklardan biridir

Asenkron motorların elektrik kalitesi üzerindeki bu etkilerini azaltmak amacıyla sürücü sistemleri yaygınlaşmaktadır. Son yıllarda bu ihtiyacı en iyi şekilde karşılamak amacıyla sürücü sistemlerinde birçok kontrol yöntemi geliştirilmiştir. Havalandırma ve pompa gibi değişken momentli yüklerde değişken hızlı sürücüler kullanılarak sistemlerin daha verimli ve elektrik sisteminin de daha kaliteli olması amaçlanmaktadır.

Bu çalışmada Kızıltepe Bölgesi çalışma bölgesi olarak seçilmiştir. Bölgenin elektrik şebeke yapısı ve enerji kalite sorunları incelenmiştir. Bölgedeki bir sulama sistemi ele alınarak tesisindeki kullanılan pompa-asekron motor grubu MATLAB/Simulink'te modellenmiş ve benzetim çalışması yapılmıştır. Benzetim çalışmalarında bozulan şebeke geriliminin asenkron motorun performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Kızıltepe Bölgesindeki transformator merkezlerinden alınan gerilim ölçüm sonuçları benzetimlerde kullanılmıştır. Motor-pompa grubu bozuk şebeke gerilimine doğrudan ve farklı tip değişken hızlı sürücüler (VSD) üzerinden bağlanarak motor çıkış parametreleri incelenmiş olup sonuçlar sunulmuştur. Sonuçlara bağlı olarak şebeke geriliminde dalgalanmayı azaltma yönünde asenkron motor sistemlerinde alınabilecek önlemler tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler :** Asenkron motor, pompa, güç kalitesi, gerilim bozulmaları ac sürücü sistemleri, altı admı gerilim kaynaklı ac sürücü, uzay vektör pwm ac sürücü

## ABSTRACT

THE REDUCTION OF VOLTAGE FLUCTUATION'S EFFECTS WHICH IS BORN IN AGRICULTURAL IRRIGATION IN KIZILTEPE REGION WITH THE USE OF DRIVE SYSTEM IN INDUCTION MOTORS

MsC THESIS

Halil İbrahim AYDINÖZ

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING  
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES  
UNIVERSITY OF DICLE

2014

Irrigation network of GAP's range of application in which high rate of Turkey's agricultural land exists is insufficient. Therefore irrigation process is made in facilities that farmers have established with their own possibilities and , groundwater from deep wells is removed to earth with a big powerful asynchronous motors. Large powerful induction motors are used in these irrigation systems. Induction motors in electric power systems is one of the sources which affects power quality for the transmission and distribution networks, especially mains voltage in a high degree.

Drive systems become widespread in order to reduce the effects of induction motors on the electrical quality. In recent years, many control methods have been developed in the drive system in order to serve this purpose in the best way. It is intended to have more efficient system and better quality of the electrical system by using variable speed drives in variable torque loads such as ventilation and pumps.

In this study Kızıltepe region was selected as the working zone . The region's electricity grid and power quality problems were examined. By handling a irrigation system in region, induction motor - pump group which was used in facilities was modelled in MATLAB / Simulink and simulation studies were backed. In simulation studies, the effects of deterioration network voltage were investigated on the performance of induction motors. Voltage measurement results which were taken from the centres of the transformer in Kızıltepe region were used in simulations. Motor output parameters were examined by connecting with motor - pump group and different types of corrupt directly to the mains voltage variable speed drives (VSD) and the results are presented. . Depending on the results, precautions which can be taken in the asynchronous motor systems to reduce the wave in mains voltage were discussed.

**Key Words:** Induction motors, power quality, submersible pump, voltage distortion, ac driver systems, six step voltage source ac driver, space vector voltage source ac driver

## ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge No</u>		<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1.	ABC sınıflandırılmasında üç fazda ki dengesiz gerilim çökmesinin sınıflandırılması.	27
Çizelge 3.2.	Gerilim dengesizliği şartlarında motor verimi değerleri	29
Çizelge 3.3.	IEC Güç kalitesi parametreleri standardı sınır değerleri	30
Çizelge 3.4.	Afinitie kanunlarının pompa parametrelerine uygulanması	41
Çizelge 3.5.	Pompa kontrolünde yöntemlerin enerji kullanımının birimsel değerleri	60
Çizelge 4.1.	Kızıltepe Bölgesinde Kurulu Transformatör Güçleri	66
Çizelge 4.2.	Kızıltepe Bölgesinin 2011,2012,2013 Yıllarındaki Elektik Enerjisi Tüketimi(kWh)	67
Çizelge 4.3.	Dengeli gerilim altında doğrudan yol verme yönteminde motor parametreleri	81
Çizelge 4.4.	Üç faz ve tek faz dengesiz gerilim altında doğrudan yol verme yönteminde yol alma parametreleri	84
Çizelge 4.5.	Üç faz ve tek faz dengesiz gerilim altında altı adımlı AC sürücü yol verme yönteminde yol alma parametreleri	86
Çizelge 4.6.	Üç faz ve tek faz dengesiz gerilim altında uzay vektör pwm AC sürücü yol verme yönteminde yol alma parametreleri	88
Çizelge 4.7.	Üç faz ve tek faz dengesiz gerilim altında üç farklı senaryoya da yol verme yönteminde yol alma parametreleri	88
Çizelge 4.8.	Gerilimin %20 ve %30 oranlarında düşmesi durumunda stator akımları	90
Çizelge 4.9.	Gerilimin %20 ve %30 oranlarında düşmesi durumunda elektromanyetik moment	91
Çizelge 4.10.	Gerilimin %20 ve %30 oranlarında düşmesi durumunda aktif güçler	92
Çizelge 4.11.	Gerilimin %20 ve %30 oranlarında düşmesi durumunda reaktif güçler	93
Çizelge 4.12.	Gerilimin %20 ve %30 oranlarında düşmesi durumunda rotor hızı(wm)	94
Çizelge 4.13.	Altı adımlı AC sürücü ve uzay vektör pwm AC sürücünün belirlenen DC bara kapasitör değerlerinde stator akımlarında ve elektromanyetik momentteki salınım aralıkları	99
Çizelge 4.14.	DC bara kapasitör değerinin artırılmasında sürücü sistemlerindeki salınımları azaltmadaki yüzdesel değişim değerleri	99

## ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil No</u>		<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1	Güç kalitesi problemlerinin sınıflandırılması gösterimi	12
Şekil 3.2.	Nonliner bir yükün sebep olduğu harmonik bozulma devresi	14
Şekil 3.3.	Temel bileşen, 3. ve 5. harmonik grafiği	15
Şekil 3.4.	Belli başlı harmonik kaynaklı yüklerin karakteristikleri	16
Şekil 3.5.	Sinüs biçimli kırpışma içeren dalga	17
Şekil 3.6.	Dikdörtgen biçimli kırpışma içeren dalga	17
Şekil 3.7.	Gerilimin yükselme grafiği	18
Şekil 3.8.	Gerilimin düşme grafiği	19
Şekil 3.9.	Gerilim düşmesi,kesilmesi ve yükselmesinin bir durum üzerinde gösterilmesi	20
Şekil 3.10.	Dağılım sistemlerinde gerilim düşmelerinin yol açan arızaların oluşma yerlerine göre dağılımı	22
Şekil 3.11.	İstatistiksel verilerden elde edilmiş düşüm genliği oranları	22
Şekil 3.12.	Gerilim çökme ve oluşan çökmenin 8 ve 24 periyot içinde tekrar eski haline gelmesi.	23
Şekil 3.13.	Asenkron motorunun direkt başlama anında ki akımı. ( $V=1$ pu)	24
Şekil 3.14.	Başlama süresince gerilim fonksiyonunun uygulanması ( $V=0,7-1,2$ aralığında)	24
Şekil 3.15.	Gerilim Dengesizliği ile Sıcaklık Yükselmesi Arasındaki İlişki	29
Şekil 3.16.	Asenkron motorun temel yapısının görünümü	31
Şekil 3.17.	Asenkron Makinenin Dört Bölgesi Çalışması	32
Şekil 3.18.	Moment ve Stator Akımının Hıza Bağlı Değişimi	33
Şekil 3.19.	Pozitif Dizi Devresi	33
Şekil 3.20.	Negatif Dizi Devresi	33
Şekil 3.21.	Tek kademeli bir santrifüj pompanın kesit resmi ve elemanlarının gösterimi	36
Şekil 3.22.	Dalgıç pompalar genel görünümü	37
Şekil 3.23.	Dalgıç pompaların iç yapısı	38
Şekil 3.24.	Dalgıç pompa çark sistemi	38
Şekil 3.25.	Bir pompanın karakteristik eğrileri	41

<b>Şekil 3.26.</b>	Skaler (V/f) kontrol bloğu	44
<b>Şekil 3.27.</b>	Vektör kontrole dayalı bir hız kontrol sisteminin blok diyagramı	45
<b>Şekil 3.28.</b>	Akım Kaynaklı ve Gerilim Kaynaklı Frekans Çeviricilerin Güç Şeması	47
<b>Şekil 3.29.</b>	Akım Kaynaklı PWM Frekans Çevirici	47
<b>Şekil 3.30.</b>	Kare Dalga Evirici Bloğu	48
<b>Şekil 3.31.</b>	Kare Dalga Evirici Gerilim Dalga Şekilleri	49
<b>Şekil 3.32.</b>	Sinüs – Üçgen Karşılaştırma PWM grafiği	51
<b>Şekil 3.33.</b>	Faz Arası geriliminin elde edilen PWM dalga şekli	52
<b>Şekil 3.34.</b>	Komşu vektörlerin birleşimi olarak referans vektör	53
<b>Şekil 3.35.</b>	Üçüncü bölgede SVM dağılımı	55
<b>Şekil 3.36.</b>	SVM'nin altıgen modeli	54
<b>Şekil 3.37.</b>	Uzay vektör –Sinüzoidal PWM yer karşılaştırması	55
<b>Şekil 3.38.</b>	Hız Kontrol Cihazlarının Genel Yapısı	56
<b>Şekil 3.39.</b>	Diyot modülü güç şeması	57
<b>Şekil 3.40.</b>	DC Güç Kondansatörleri ve Frenleme Transistorü	57
<b>Şekil 3.41.</b>	PWM Evirici	58
<b>Şekil 3.42.</b>	VSD hız ayarı sayesinde enerji tasarrufu prensibi	58
<b>Şekil 3.43.</b>	Klasik pompa sistemi ile VSD'li pompa sisteminin enerji tüketiminin karşılaştırılması	59
<b>Şekil 3.44.</b>	Farklı kontrol yöntemlerinin enerji tasarruflarının karşılaştırılması	60
<b>Şekil 3.45.</b>	Pompa kontrol yönteminin H ve Q üzerinde etkilerinin gösterimi	60
<b>Şekil 3.46.</b>	Farklı kapasitör değerleri için VSD lerin gerilim tolerasyonu	63
<b>Şekil 4.1.</b>	Asenkron motor momenti ve yük momentinin gösterimi	68
<b>Şekil 4.2.</b>	Seçilen tesiste bir pompanın görünümü	71
<b>Şekil 4.3.</b>	Pilot olarak seçilen sulama tesisin elektrik tek hat şeması	72
<b>Şekil 4.4.</b>	Tesiste bulunan gerilim regülatörünün görünümü	72
<b>Şekil 4.5.</b>	07.08.2013 tarihine ait Dikmen TM TR-A değerleri	73
<b>Şekil 4.6.</b>	Kızıltepe Dikmen Trafo Merkezinde 07.08.2012 tarihinde ölçülen gerilim ve aktif -reaktif güç değerlerinin değişim grafiği	74
<b>Şekil 4.7.</b>	Üç faz dengesiz giriş gerilimi grafiği	76

<b>Şekil 4.8.</b>	Tek faz (A fazı) dengesiz giriş gerilimi grafiği	76
<b>Şekil 4.9.</b>	Matlab/Simulink te dalgıç pompa bloğu	77
<b>Şekil 4.10.</b>	Matlab/Simulink te dalgıç pompa modeli	78
<b>Şekil 4.11.</b>	Pompa yük momenti çıkış grafiği	79
<b>Şekil 4.12.</b>	Altı adımlı gerilim kaynaklı evirici şeması	80
<b>Şekil 4.13.</b>	Uzay vektör pwm gerilim kaynaklı evirici şeması	80
<b>Şekil 4.14.</b>	Dengeli gerilim altında doğrudan yol vermede elde edilen sonuçlar	81
<b>Şekil 4.15.</b>	Doğrudan yol vermenin matlab/simulink benzetim modeli	82
<b>Şekil 4.16.</b>	Üç faz dengesiz gerilim altında doğrudan yol vermede elde edilen sonuçlar	83
<b>Şekil 4.17.</b>	Tek faz (A fazı) gerilim dengesizliği altında doğrudan yol vermede elde edilen sonuçlar	83
<b>Şekil 4.18.</b>	Altı-adımlı AC sürücüyle yol verme Matlab/Simulink benzetim modeli	84
<b>Şekil 4.19.</b>	Üç faz dengesiz gerilim altı adımlı AC sürücünde elde edilen sonuçlar	85
<b>Şekil 4.20.</b>	Tek faz(A fazı) dengesiz gerilim altında altı-adımlı a.c sürücünde elde edilen sonuçlar	85
<b>Şekil 4.21.</b>	Uzay-vektör pwm AC sürücüyle yol verme Matlab/Simulink benzetim modeli	86
<b>Şekil 4.22.</b>	Üç faz dengesiz gerilim altında uzay-vektör pwm AC sürücünde elde edilen sonuçlar	87
<b>Şekil 4.23.</b>	Tek faz(A fazı) dengesiz gerilim uzay-vektör pwm AC sürücünde elde edilen sonuçlar	87
<b>Şekil 4.24.</b>	Üç faz gerilim bozukluğunda ani gerilim düşme durumunda stator akımları grafiği	90
<b>Şekil 4.25.</b>	Tek faz gerilim bozukluğunda ani gerilim düşme durumunda stator akımları grafiği	90
<b>Şekil 4.26.</b>	Üç faz gerilim bozukluğunda ani gerilim düşme durumunda elektromanyetik moment grafiği	91
<b>Şekil 4.27.</b>	Üç faz gerilim bozukluğunda ani gerilim düşme durumunda elektromanyetik moment grafiği	91
<b>Şekil 4.28.</b>	Üç faz gerilim bozukluğunda ani gerilim düşme durumunda aktif-reaktif güçler grafiği	92
<b>Şekil 4.29.</b>	Tek faz gerilim bozukluğunda ani gerilim düşme durumunda aktif-reaktif güçler grafiği	92
<b>Şekil 4.30.</b>	Üç faz gerilim bozukluğunda ani gerilim düşme durumunda rotor hızı grafiği	93

<b>Şekil 4.31.</b>	Tek faz gerilim bozukluğunda ani gerilim düşme durumunda rotor hızı grafiği	93
<b>Şekil 4.32</b>	Altı adımlı AC sürücüde DC bara kapasitör 6000 $\mu$ F değerinde elde edilen stator akımları ve elektromanyetik moment grafikleri	96
<b>Şekil 4.33.</b>	Altı adımlı AC sürücüde DC bara kapasitör 8000 $\mu$ F değerinde elde edilen stator akımları ve elektromanyetik moment grafikleri	97
<b>Şekil 4.34.</b>	Uzay vektör pwm AC sürücüde DC bara kapasitör 3000 $\mu$ F değerinde elde edilen stator akımları ve elektromanyetik moment grafikleri	97
<b>Şekil 4.35.</b>	Uzay vektör pwm AC sürücüde DC bara kapasitör 4000 $\mu$ F değerinde elde edilen stator akımları ve elektromanyetik moment grafikleri	98

## EK LİSTESİ

<u>Ek No</u>		<u>Sayfa</u>
<b>EK 1</b>	Kızıltepe Bölgesi'nin elektrik tek hat şeması	113
<b>EK 2</b>	110 kW (150 hp) asenkron motorun parametreleri	114
<b>EK 3</b>	Altı adımlı ac sürücü ve uzay vektör ac sürücülerin konvertör, dc bara ve kontrol birimlerinin parametreleri	115
<b>EK 4</b>	Üç faz dengesiz ve tek faz dengesiz giriş gerilimi rms değeri	117



## KISALTMA VE SİMGELER

AB	:Avrupa Birliği
EPDK	:Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
NEMA	:National Electrical Manufacturers Associations
IEC	:International Electrotechnical Commission
IEEE	:Institute of Electrical and Electronics Engineers
GAP	:Güney Doğu Anadolu Projesi
PWM	:Darbe genlik modülasyonu
rms	:gerilimin etkin değeri
DC	:doğru akım
kW	:kilo Watt
OVU	:düşük gerilim
UVU	:yüksek gerilim
VUF	:gerilim dengesizlik faktörü
CUF	:akım dengesizlik faktörü
$\Delta f$	:frekans sapma miktarı
Hz	:Hertz
$[THD]_V$	:Toplam Harmonik Bozulma ( Gerilim için)
$[THD]_I$	:Toplam Harmonik Bozulma ( Akım için)
$U_{ref}$	:gerilimin normal yük durumundaki etkin değeri
ANSI	:American National Standarts Institute
CBEMA	:Computer and Business Equipment Manufacturer's Association
PCC	:ortak bağlantı noktası
$V_i$	: faz gerilimi
$U_{1i}$	: temel gerilimin negatif bileşeni
$U_{10}$	: temel gerilimin sıfır bileşeni
$U_{1d}$	: temel gerilimin pozitif bileşeni
$\%VUP$	: hat gerilimleri arasındaki dengesizlik
$\%PVUR$	: faz gerilimleri arasındaki dengesizlik
$V_1$	: pozitif dizi gerilimi
$V_2$	: negatif dizi gerilimi
Hp	:Horse power
AG	:Alçak gerilim
YG	:Yüksek gerilim

AC	: Alternatif akım
DSP	: dijital sinyal işleyeciler
$n_s$	: döner alan senkron hızı
$n_r$	: rotor hızı
$f_s$	: senkron hız frekansı
p	: kutup çifti sayısı
s	: kayma
$I_{1s}$	: pozitif dizi devresinden geçen stator akımı,
$I_{2s}$	: negatif dizi devresinden geçen stator akımıdır.
$I_n$	: nötr akımı
$P_1$	: Pozitif dizi devresinde güç
$P_2$	: Negatif dizi devresinde güç
psi	: per square inch
Q	: Debi
H	: Toplam dinamik yükseklik
h	: statik yükseklik farkıdır.
TDP	: Toplam basınç kaybı
PA	: akma basıncı
ENPY	: Emmedeki net pozitif yük
$P_m$	: Pompa mil gücü
D	: Çark çapı
V/f	: Skaler kontrol yöntemi
VCVF	: Değişken Akım Değişken Frekans
VVVF	: Değişken Gerilim Değişken Frekans
UPS	: Kesintisiz güç kaynakları
$\cos \Phi$	: güç faktörü
$V_{ph}$	: temel faz gerilimi
$m_a$	: modülasyon genliği
$m_f$	: frekans modülasyonu
SVPWM	: Uzak vektör PWM
HVAC	: Isıtma-havalandırma-hava koşullandırma
VFD	: Değişken Frekanslı Sürücü
VSD	: Değişken Hızlı Sürücü
ASD	: Ayarlanabilir Hızlı Sürücü
SCR	: silikon kontrollü doğrultucu

$V_{\text{kaynak}}$	:giriş gerilimi
$V_{\text{dc}}$	:dc bara gerilimi,
$V_{\text{kin}}$	:rotordan depolan gerilim,
$V_{\text{l}}$	:yük tarafındaki gerilimi
kVA	:kilo volt amper
kVAr	: kilo volt amper reaktif
MVA	:mega volt amper
TM	:Transformatör Merkezi
TEİAŞ	:Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
MGKP	:Milli Güç Kalitesi Projesi
$I_{\text{sa}}$	:kalkış anındaki stator akımları
$T_{\text{a}}$	:kalkış anındaki elektromanyetik moment,
$P_{\text{a}}-Q_{\text{a}}$	:kalkış anındaki aktif ve reaktif güçler
$w_{\text{a}}(\text{sn})$	:uygun devire gelme süresi
Nm	:Newton metre
p.u	:per unit
3 $\Phi$	:Üç faz
1 $\Phi$	:Tek faz
OECD	:Organisation for Economic Co-operation and Development

## 1. GİRİŞ

Elektrik enerjisi, her ürün gibi kaliteli olarak temin edilmesi gereken tüm ticari faaliyetler yanında insan yaşamını ilgilendiren hemen hemen her alanda kullanılmakta olan son derece önemli bir enerji kaynağıdır. Elektrik enerjisini üreten, ileten ve dağıtan kuruluşların asli görevi kesintisiz, ucuz ve kaliteli bir hizmeti tüketicilerine sunmaktır. ( David Chapman,2001)

Avrupa Birliği (AB) ülkelerinde, elektrik enerjisi kalite problemlerinin endüstride ve ticari alanlarda yarattığı maliyetin yılda 10 milyar Euro olduğu tahmin edilmektedir ve problemlerin ortadan kaldırılması için yapılan harcamalar bu rakamın %5'i civarındadır. Dolayısıyla, “problem riskini en aza indirmek ve kontrol altında tutmak için yapılması gereken harcama ne kadar olmalıdır?” sorusunun cevabı yapılan işin özelliklerine bağlı olarak değişecektir. İlk adım; problemlerin özelliklerini anlamak, her bir problemin yapılan iş ile ilgisini ve ne gibi kayıplara yol açabileceğini belirlemektir. Elektrik enerjisinde kalite problemleri ciddi risk kaynaklarıdır, düşük teknolojilerle çalışan sanayilerde bile önemli finansal kayıplara neden olmaktadır. Buna karşın önlenmeleri nispeten ucuzdur; kolay uygulanan tasarım tekniklerinden, temin edilmesi kolay destekleyici cihazların tesis edilmesine kadar çeşitli alternatifler seçilerek çözüm getirilebilir. ( David Chapman,2001)

Besleme gerilimindeki kısa veya uzun süreli değişimler sonucunda oluşan kesintiler, üretimlerini sürekli olarak arttırmak isteyen sanayicilerin büyük maddi kayıplara uğramasına neden olmaktadır. Bu tür olayların sık sık tekrarlanması sonucunda elektrik enerjisi kullanıcıları elektrik idaresinden şebekedeki güç kalitesinin iyileştirilmesini talep etmeye başlamışlardır. Şebekelerde akım yükün değerine bağlı olarak değiştiği için kontrol edilemez ancak gerilim kontrol edilebilir. Bu nedenle besleme geriliminin sağlanması gereken standartlar mevcuttur. Ayrıca 2004 yılında Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK)'nın çıkardığı Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenirliği ve Kalitesi Yönetmeliği'ne göre elektrik dağıtım şirketlerinin ve müşterilerinin güç kalitesi ve güç faktörleri kriterlerine uyma yükümlülüğü getirilmiştir .

Elektrik enerjisi gerek üreticilerin ve gerekse tüketicilerin güç kalitesine olan ilgilerinin giderek artması bu kavramın çeşitli güç sistemi bozukluklarını bir çatı altında toplayan anahtar bir kavram olmasına neden olmuştur. Gerçekte bu kavramı oluşturan öğeler yeni değildir. Yeni olan bu kavramlara ayrı konular olarak değil bir sistem mantığı ile bakılmasıdır.

Endüstriyel sistemlerde kullanılan motorların %90'ından fazlasını asenkron motorlar oluşturmakta ve sanayileşmiş toplumların toplam kurulu enerji gücünün %40 ila %50'si asenkron motorlar tarafından tüketilmektedir. Kısa devre rotorlu asenkron motorlar düşük fiyatları ve sağlam yapıları ile endüstrinin yükünü çeken motorlardır. Asenkron motorlar ucuz olması, bakım gereksiniminin az ve yüksek moment değerlerinde çalışması sebebiyle endüstride

## 1. GİRİŞ

---

en yaygın kullanılan elektrik motorlarıdır. Endüstriyel sistemlerin bir kolu olan sulama sistemlerinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Asenkron motorların verimli çalışması için motora uygulanan üç fazlı gerilimin dengeli olması gerekir. Yani üç fazın gerilim genlikleri birbirine eşit ve faz açıları arasında  $120^0$  açı farkı olmalıdır. Ancak pratikte birçok sebepten ötürü gerilimde dengesizlik meydana gelebilir. (Merz H.,2002)

Gerilim dengesizliğinde uluslararası standartlar Nema, IEC ve IEEE olmak üzere üç farklı dengesizlik tanımı literatürde yaygın olarak bulunmaktadır. IEC tanımında, gerilim dengesizliği değeri simetrik bileşenler metodu ile hesaplanırken, Nema tanımında faz-faz gerilimlerin, IEEE tanımında ise faz-nötr gerilimlerin ortalama değerine bağlı olarak hesaplanır. Temel olarak IEC tanımı esas alınmaktadır.

Dengeli olmayan gerilim altında çalışan asenkron motor çabuk ısınır, verimi düşer, ömrü azalır ve ekstra enerji maliyeti getirir. Bu dengesizliği azaltmak için kullanılan yere göre devir sayısını değiştirerek yapılabilir. Asenkron motorlar genelde doğrudan şebeke geriliminden, yani sabit gerilimli ve sabit frekanslı alternatif akım kaynağından beslenirler ve bu sebepten dolayı yaklaşık olarak sabit hızda çalışırlar, hızları değişen yük altında çok fazla değişmez. Buna karşılık güç elektroniği çeviricileri ile asenkron motorların hızlarını değiştirmek mümkündür. Devir sayısı ayarından, devir sayısının istenilen teknolojik işleme bağlı olarak, kademeli veya sürekli bir şekilde değişmesi anlaşılır. (Beaty, H.W. ve Kirtley, H.W.,1998)

Türkiye'nin tarımsal arazilerin çok yüksek bir oranının mevcut olduğu GAP uygulama bölgesinin sulama ağı çok yetersizdir. Bu nedenle sulama işlemi, çiftçilerin kendi olanaklarıyla kurdukları, derin kuyulardan yer altı suyunun büyük güçlü asenkron motorlar ile yeryüzüne çıkarıldığı tesislerle yapılmaktadır. Bu sulama sistemlerinde büyük güçlü asenkron motorlar kullanılmaktadır. Asenkron motorlar elektrik güç sistemlerinde iletim ve dağıtım şebekeleri için güç kalitesine, özellikle şebeke gerilimine, yüksek derecede etki eden kaynaklardan biridir

Asenkron motorlar için bir çok hız kontrol yöntemi geliştirilmiştir. Bazı metotlarla kademeli hız kontrolü sağlanırken, bazıları ile iki veya üç değişik devir elde edilmektedir. Yarı iletken güç elemanlarının ve entegre teknolojisinin gelişmesiyle beraber, hız kontrolü daha profesyonel ve daha rahat yapılmaktadır. Tezin inceleme konusu olan sistemlerde yer alan pompalar gibi akış üreten makineler genellikle hız ayarı olmadan kullanılmaktadırlar. Hız kontrolü yerine akış, geleneksel metot ile regülatörler, valflar veya supaplar yardımı ile kontrol altına alınmaktadır. Akış değişken motor hızıyla kontrol edilmediğinde, motor sürekli tam hızda çalışır. Akışkanlar kanunu olan afinite kanunlarına göre, pompaların hizmet verdikleri sistemlerin azami debiye nadiren ihtiyaç duymaları yüzünden, hız ayarsız bir sistem çoğu zaman önemli miktarda enerjiyi boşa kullanmaktadır. Motor hızının ayarlanması sisteme göre değişmekle beraber %30'a varan bir enerji tasarrufu imkânı sunmaktadır. Değişken hızlı sürücü

sistemlerinde enerji tasarrufu sağladığı ortadır fakat bunun derecesi kullanıldığı sisteme bağlı olmaktadır. Bu konuyu hidrolik olarak açıklarsak değişken hız kontrolü ile vana kontrolü arasında ki ana fark; değişken hız kontrolü sadece pompa eğrisini(Hm-Q) değiştirirken çıkış vanası kontrolü sistem eğrisini de değiştirir.Bir pompa eğrisini (Hm-Q) eğrisi ile sistem eğrisinin kesiştiği noktada çalışır ve her iki eğride meydana gelen değişiklikler bu kesişim noktasını değiştirir.( Zehra Yumurtacı,2011)

Asenkron motorlarda mil hızı, frekans, kayma ve kutup sayısı ile orantılıdır.Bu nedenle hızın, yüksek verimle kademesiz olarak ayarlanabilmesi için frekansın değiştirilmesi zorunludur. Frekansla birlikte motora uygulanan gerilim de V/f oranı sabit kalacak şekilde değiştirilirse motordaki hava aralığı akışı,dolayısı ile moment sabit kalmaktadır.Skaler kontrol olarak bilinen V/f kontrolü çalışmada incelenmiştir. Kare dalga evirici, darbe genlik modülasyonu (pwm) evirici ve uzay vektör pwm evirici ile skaler kontrol yapılabilir. Bu kontrol sistemlerinden pwm hız kontrolün yük momentinden bağımsız olarak kolayca yapılabilmektedir. Bu kontrol işlemleri için motora istenilen frekansta sinüs dalgası formunda akım uygulayabilmek kullanılır.Asenkron motorların değişken hızlı sürücüler de kullanılan PWM'de amaç darbelerin genişliğini değiştirmek suretiyle çıkış ana dalgasının temel bileşenini değiştirmektedir. Her yarım dalgada, çok sayıda boşluk elde edilerek,başlıca anahtarlama harmoniklerinin frekansını yükseltmek suretiyle, motor indüktansının harmonik akımlarını sınırlandırması sağlanır. Buna karşın anahtarlama frekansının artması bu kez anahtarlama kayıplarının yükselmesine neden olur.Buna göre en uygun PWM yöntemi seçerken; hem düşük dereceli harmonik akımları engellenmeli hem de anahtarlama kayıpları en aza indirilmelidir. PWM eviricilerde, anahtarlama hızları yüksek olan güç tranzistörleri,güç MOSFET'leri, IGBT gibi anahtarlama elemanları kullanılmaktadır.(Ali Kırçay,2001)

Çalışmada çözüme kavuşturmak istediğimiz sorun olan gerilim düşmesi kısa bir zaman aralığında gerilimin etkin (rms) değerinin düşmesidir.Gerilim düşmelerinin uluslar arası tanımları ve hesaplamaları tezde yer almaktadır.Gerilim düşmesinin iki ana sebebi kısa devre arızaları ve büyük güçteki motorların devreye girmesidir. Çalışmamızda kullanacağımız değişken hızlı sürücü ekipmanı gerilim düşmelerine karşı hassastırlar.Yalnızca hassas olmanın yanında belli oranlarda gerilim düşmelerini tolere etmektedir.

Yapılan çalışmada asenkron motorda bir pompa yükü bağlı iken değişken hızlı sürücünün gerilim düşmesi boyunca davranışlarını analiz edilmiştir. Motora ait parametreler (moment,stator akımları,rotor hızı,aktif,reaktif güç) davranışları incelenmiş ve çalışmamızda yapılan işlemlerin sistem üzerindeki etkileri belirlenmiştir.

# 1. GİRİŞ

---

## 1.1. Tezin Amacı

Pilot bölge olarak seçilen Kızıltepe Ovasında, bölge çiftçisinin elektrik mühendisliği prensiplerine göre etütleri yapılmadan sulama tesisleri kurmuştur. Büyük güçlü asenkron motorların bulunduğu bu tesisler işletmeye geçtiğinde dağıtım hatlarında standartların çok üstünde gerilim düşmeleri yaşanmaktadır. Gerilim düşmeleri etkileri enterkonnekte sistemi(ulusal elektrik sistemi) bile etkilemektedir. Bölgede gerilim düşmelerin sonucu olarak da ortalama her yıl 4000 kadar elektrik kesintisi yaşanmaktadır. Anlaşıldığı üzere bölgede elektrik sistemi kısır bir döngünün içine girmiştir büyük güçlü motorlar gerilimi düşmesine sebep olmakta bunun sonucunda kesintiler olmakta ve bu tesislerde sulama yapılamamaktadır.

Tez çalışmasında öncelikle Kızıltepe Ovasında seçilen araştırma alanında mevcut sisteme ait etüt çalışmaları yapılmıştır. Yapılan etüt ile tesislerde kullanılan teçhizat ile ilgili bilgiler tespit edilmiştir. Bu çalışmanın ardından yapılan simülasyon çalışmaları ile gerilim değişimlerinde asenkron motorların davranışları incelenmiştir. Daha sonra motorların sürücü sistemleri ile simülasyonları karşılaştırılmıştır.

Güneydoğu Anadolu'nun yüksek verimli arazilerinin sulanmasının ne kadar önemli olduğu bir gerçektir. Öte yandan derin kuyularla yapılan sulama sistemlerinin enterkonnekte sistem(ulusal elektrik sistemi) üzerinde bozucu etkiler meydana getirmemesi gerekmektedir. Tez bu konuda genel sistem üzerinde lokal bir çalışma olsa da, bölgede gerek devlet kurumlarının yapacağı çalışmalarda gerekse bölgedeki çiftçilerin kuracağı tesislerde yol gösterici olacaktır.

## 1.2. Tezin Sınırları

Tez içerisinde incelen konular ve bu konularla ilgili analiz ve araştırmalar aşağıda belirtilen şekilde incelenmiştir.

- Dağıtım şebekesine bağlı pompa motor ve trafo tesislerinin teknolojilerinin mevcut durumunu incelenmesi.
- Kuyularda kullanılan asenkron motorların elektrik dağıtım şebekesinde oluşturduğu gerilim dengesizliğinin belirlenmesi.
- Dağıtım Şebekesinde güç dengesinin ve kalitesinin incelenmesi.
- Dağıtım sistemindeki kirlenmenin iletim sistemine yansımalarının incelenmesi.
- Sisteme yönelik uygun sürücü düzeneklerinin belirlenmesi
- Sürücü düzenekleri ile donatılmış sistemin enerji kalitesinde bozulma anlarındaki davranışının incelenmesi

### 1.3. Tezin İçeriği

Çalışmanın ilk bölümünde genel olarak çalışmanın amacı, literatür çalışmaları ve tezin yapısı anlatılmıştır.

İkinci bölümde elektrik enerjisi kalitesi parametreleri genel olarak anlatılmıştır. Çalışmanın ana konusu olan gerilim parametresi özel olarak ayrıntılı açıklanmış, oluşum durumları, sıklıkları ve etkileri incelenmiştir. Son bölümde IEC 61000-4-30 standardı tablo halinde gösterilmiştir.

Üçüncü bölümde bir asenkron motorun temel yapısı, moment- hız davranışları ve motorların matematiksel modelleri incelenmiştir. Bu bölümde incelen sistemin yükü olan pompalar genel olarak incelenmiş özellikle pilot olarak seçilen bölgedeki dalgıç pompaların denklemleri ve karakteristik eğrileri gösterilmiştir. Aynı zamanda bu bölümde çözüm önerisi olarak sunulan sürücü sistemleri genel olarak anlatılmış. Özel olarak gerilim kaynaklı değişken hızlı kare evirici, pwm ve uzay vektör pwm sürücü sistemleri anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde teorik olarak anlatılan sorunların gerçek verilere dayandırılmak istendiğinden gerilim düşmesinin yoğun yaşandığı Kızıltepe Bölgesi pilot bölge seçilmiştir. Bölgenin elektrik şebeke yapısı, elektrik sorunları ve lokal olarak inceleme amaçlı seçilen bir sulama tesisi bu bölümde, anlatılmıştır.

Beşinci bölümde Matlab/Simulink programıyla örnek olarak seçilen sulama tesisine ait bir asenkron motor pompa grubunun sayısal benzetimi yapılmıştır. Modellenen pompa sistemi 3 faz dengesiz gerilim altında ve tek faz dengesiz gerilim altında doğrudan, altı adımlı kare dalga evirici, uzay vektör pwm evirici ile sürülmüş ve asenkron motorun çıkış parametreleri analizi yapılmıştır. Ayrıca gerilimin %20 ve %30 düştüğü aralıklar bu bölümde detaylıca incelenmiştir. Sürücü sistemlerinde DC bara kapasitör değerinin %50 ve %100 artırıldığında stator akımlarında ve elektromanyetik momentteki salınım değerlerine olan etkileri incelenmiştir.

Altıncı bölümde benzetim çalışmalarından alınan sonuçlar genel olarak yorumlanmıştır. Enerji kalite sorunu yaşanan Kızıltepe bölgesi için uzun ve kısa vadeli çözüm önerileri bu bölümde anlatılmıştır.





## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bu bölümde gerilim dengesizliği ve asenkron motorlara üzerine yapılmış çalışmalar incelenmiştir. Yapılan çalışmalar enerji kalitesi, enerji verimliliği ve maliyet analizi üzerine yoğunlaşmıştır. Yapılan çalışmaların başlangıcının AC asenkron motor sistemlerinin yoğun olarak kullanıldığı sanayi hareketlenmesinden sonra başladığı görülmektedir.

Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında asenkron motorların dengesiz gerilim altında çalışmasının sorunlara yol açtığı 1930`lu yıllarda fark edilmiştir. 1936 yılında H. R. Reed ve R. J. Koopman %10 gerilim dengesizliği altında çalışan bir asenkron motorun momentinin ve veriminin dengeli duruma göre azalma gösterdiğini belirtmiştir .

1954 yılında Williams, asenkron motorların gerilim dengesizliği altında çalıştığında kayıpların arttığı için ve motorun daha fazla ısındığını ve deratasyon yapılmasının gerekliliğini vurgulamıştır. Gaffor, 1959 yılında gerilim dengesizliği altında çalışan asenkron motorun daha fazla ısındığını bu sebepten dolayı da ömrünün azaldığını vurgulamıştır. Berndt, 1963 senesinde yapmış olduğu çalışmada dengesiz gerilim altında çalışan asenkron motorlara deratasyon yapılmasının gerektiğini belirtmiştir. Ching- Yin Lee; çalışmasında IEC, IEEE ve Nema dengesizlik tanımlarını kullanıp dengesizlik hesabı yaparak % 4 dengesizlik için maliyet hesabı yapmıştır. Tayvan`da 3 HP`lik bir asenkron motorun %4 gerilim dengesizliğinde ekstra ne kadar güç çektiği ve ekstra ne kadar enerji maliyeti ortaya çıkardığı hesaplanmıştır.

J. Faiz ve H. Ebrahimpour ve P. Pillay hazırlamış oldukları çalışmada; Nema ve IEC dengesizlik tanımlarının moment ve verime etkisi kıyaslanmıştır. %6 gerilim dengesizliğinde UVU(yüksek gerilim) için verim ve moment değerlerinin Nema tanımında daha fazla azalma gösterdiği belirtilmektedir. Ayrıca bir fabrikanın soğutma sisteminde çalışan 15 kW gücündeki asenkron motorun bir haftalık çalışması boyunca gerilimleri ölçülerek Nema tanımı için bir haftada otuz nokta için gerilim dengesizliği grafiği oluşturulmuştur. %3 gerilim dengesizliği için dört farklı durumda moment ve verim değerleri azalma gösterdiği belirtilmiştir.

Davar Mirabbasi`nin çalışmasında 15 kW gücünde asenkron motorun dengeli durumda, açılar sabit, genlik dengesizliğinde; genlikler sabit, açı dengesizliğinde ve hem genlik hem de açı dengesizliğinde momentinin değişimi incelenmiştir. Her 3 durumda da moment azalma gösterdiği ifade edilmiştir . Kanwarjit Singh Sandhu ve Vineet Chaudhary`nin makalesinde ise farklı VUF(gerilim dengesizlik faktörü) değerlerinde ve sabit momentte düşük gerilim (OVU) ve yüksek gerilim (UVU) dengesizliklerinde akım, güç verim ve kayıplar statik ve dinamik olarak hesaplanmıştır. Her iki durum için de verimin azaldığı vurgulanmıştır. Ansari ve Deshpande çalışmasında gerilim dengesizliğinin moment, verim, güç faktörü, kayıplar ve hıza etkisini analiz etmiştir. Gerilim dengesizliği sabit tutularak moment artırıldığında güç faktörü,

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

---

akım, bakır kayıpları artarken, hız ve verim azalmıştır. Moment sabit tutularak gerilim dengesizliği değeri artırıldığında ise güç faktörü, verim, bakır kayıpları ve hız azalma gösterirken, akımın artış gösterdiği belirtilmiştir.

A. Jalilian ve R. Roshanfekar yapmış oldukları çalışmada aynı gerilim dengesizliği değerinde pozitif dizi geriliminin güç faktörü ile doğru orantılı olduğunu, negatif dizi geriliminin güç faktörünün değişiminde rol oynamadığı belirtilmiştir. Sabit yüklenmede ve sabit pozitif dizi geriliminde, gerilim dengesizliği artınca negatif dizi akımı artış gösterdiğinden ötürü akım dengesizlik faktörü ve kayıplar artarken verimin azalma gösterdiği ifade edilmiştir.

Reza Kianizedi'nin çalışmasında IEC, IEEE ve Nema dengesizlik tanımlarından bahsedilerek 15 kW gücündeki bir asenkron motor için deneysel ve dinamik olarak (Simulink) dengesizlik analizi yapılmıştır. Sonuç olarak VUF faktörünün artmasıyla bakır kayıpları artarken, momentin, OVU için arttığı UVU durumunda ise azaldığı vurgulanmıştır.

Ayang Hiendro makalesinde IEC standardında %6'lık sabit gerilim dengesizliğinde sabit momentte OVU ve UVU durumları için dengeli duruma göre akım ve kayıplar mukayese edilmiştir. OVU durumunda kayıplar ve stator akımları UVU'ya göre artış göstermiştir. Ayrıca ister OVU ister UVU durumu olsun akım ve kayıpların dengeli hale göre her zaman daha yüksek değerde olduğu belirtilmiştir.

Bu literatür özeti gösterir ki; asenkron motorlarda gerilim dengesizliği seksen seneye yakındır incelenmekte olan ve güncelliğini yitirmeyen bir konudur. Bunun başlıca nedeni asenkron motorların veriminin azalmasının ciddi bir ekonomik problem olmasıdır.

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Giriş

Elektrik enerjisi bugünkü sosyal ve ekonomik yaşamın en başta gelen temel gereksinimlerinden biridir. Gelişen teknoloji, yükselen yaşam düzeyi ve artan nüfusla birlikte bu enerjiye olan gereksinim her geçen gün büyük ölçüde artmaktadır. Ancak üretim, iletim ve dağıtım tesislerinin kurulması, işletilmesi, kumandası, izlenmesi ve kontrol edilmesindeki kolaylıkların yanında temiz oluşu ve istenen enerji şekline istenen yerde, istenilen miktarda dönüştürülebilme imkânlarından dolayı her zaman tercih edilir olmuştur ve rahatlıkla söylenebilir ki gelecekte de tercih edilir olacaktır.( Sevgi, L.,2005)

Yaşamın önemli bir parçası haline gelen elektrik enerjisine olan talep sürekli artmış ve kişi başına tüketilen enerji miktarı ülkelerin gelişmişlik düzeyinin bir göstergesi olmuştur. Talepteki bu artış daha güvenilir ve daha kaliteli bir enerji kavramını ortaya çıkarmıştır. Bu konu elektrik mühendisliğinde “*Güç Kalitesi*” olarak yerini almış ve üzerinde yapılan çalışmalarla öneminden söz ettirmiştir. Kaliteli bir elektrik enerjisi sağlayabilmek için; enerjinin sürekliliği, gerilim ve frekansın sabitliği, güç faktörünün bire yakınlığı, faz gerilimlerinin dengeli olması ve gerilimdeki harmonik miktarının belirli değerde kalması gibi bir takım kriterlerin göz önüne alınması gereklidir. Ayrıca kaliteli enerji denildiğinde “enerjinin her zaman kullanıma hazır, gerilim ve frekans değerleri standartların öngördüğü limitler dahilinde ve sinüs eğrisi şeklindeki dalga formuna sahip kaynak” düşünülmelidir.( Karadayı Ş.,2007)

Bu bölümde öncelikle elektrik enerjisi ve güç kalitesi kavramı hakkında genel bir giriş yapılacak ve güç kalitesi problemleri anlatılacaktır. Daha sonra temel güç kalitesi parametrelerinin neler olduğu ve bu güç kalitesi parametrelerinin özellikleri detaylı bir şekilde anlatılacaktır. Teorik olarak güç kalitesi parametrelerinin nasıl hesaplanacağı verilecektir. En son olarak da uluslararası güç kalitesi standardı olan IEC 61000-4-30 ve IEC 61000-4-15 standartlarının belirlediği güç kalitesi parametrelerinin sınır değerleri tablo halinde özetlenmiştir. Ayrıca güç kalitesi problemlerinden gerilim çökmeleri ve dengesizliği daha detaylı bir şekilde anlatılacaktır. Çökmenin ve dengesizliğin uluslar arası standartları ve tanımları, oluşum sebepleri ve oluşum sıklıkları incelenecektir. Tezin ana konusu olan gerilim dengesizlikleri asenkron motorlar üzerindeki etkileri incelenecektir.

İkinci olarak asenkron motorlar,dalgıç pompalar ve alternatif akım (AC) sürücü sistemleri incelenmiştir. Asenkron motorların genel yapıları ve negatif ve pozitif eşdeğer devreleri anlatılmıştır. Pompalar kısmında santfritüj pompaların temel kavramları ve bu pompaların bir türü olan çalışmamızda modellenmesi de yapılan dalgıç pompalar detaylı bir şekilde incelenmiştir. AC sürücü kısmında sürücülerin tanımları akım ve gerilim kaynaklı

### 3. MATERYAL VE METOT

---

çeşitleri; skaler ve vektörel olmak üzere kontrol sistemleri incelenmiştir. Tezde modellenmesi yapılan gerilim kaynaklı AC sürücülerde skaler kontrol yöntemi ile yapılan altı adımlı kare dalga sürücü dalga genişlik modülasyonu ve uzay vektör dalga genişlik modülasyonu incelenmiş ve karşılaştırmaları yapılmıştır. Daha sonraki bölümlerde hız kontrol cihazlarının temel yapıları ve asenkron motor üzerindeki pozitif etkileri gösterilmiştir.

#### 3.2. Elektrik Enerjinde Güç Kalitesi

Endüstriyel ve ticari faaliyetlerin gerçekleştirilebilmesi için gerekli önemli girdilerin başında elektrik enerjisi gelmektedir. Elektrik enerjisi insanoğlu tarafından sürekli olarak kullanılan, istenildiği gibi stoklanamayan, kullanım öncesinde kalitesi güvence altına alınamayan bir uygarlık aracıdır. Elektrik kaynağının güvenilirliğinin bilinmesi ve enerji kalitesinde meydana gelebilecek değişikliklerin uygulanmakta olan süreç veya süreçler üzerindeki etkilerinin tam olarak anlaşılması son derece önemlidir. Elektrik enerjisini üreten, ileten ve dağıtan kuruluşların görevi; kesintisiz, ucuz ve kaliteli bir hizmet; tüketicilerine sunmaktır Bu bakımdan; elektrik kalitesinin kullanım noktasında güvence altına alınması ve standart dışı elektriğin besleme sisteminden uzaklaştırılması veya tüketiciye kaliteli bir elektriğin sağlanması gerekir.( Chapman, D.,2001)

Buradaki en önemli kısıtlama ise teknik amaçlara ekonomik olarak makul maliyetler ile ulaşmaktır. Üretimden dağıtıma elektrik enerji şebekesi, jeneratör, transformatör, iletim ve dağıtım hatları ve yüklerden oluşmaktadır. Elektrik enerji kalitesi, bu şebeke üzerinde herhangi bir noktada tanımlanabilmesine karşın, genelde kullanıcı ucunda önem kazanmaktadır. Bu nedenle enerji kalitesi kullanıcı için besleme noktasında tanımlanmaktadır. Enerji kalitesini genelde doğrusal olmayan yükler bozmakta, fakat şebeke transformatörün doymaya girmesi, anahtarlamalı güç kaynaklarının şebekeye bağlanması ya da yıldırım düşmesi diğer bazı bozucu etkenlerde enerji kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir.

Güç kalitesi tanımı, yapılan incelemenin türüne veya kim tarafından yapıldığına göre değişebilir. Örneğin elektrik üreticisi için güç kalitesi enerjinin güvenilir biçimde iletilmesi olarak tanımlanabileceği gibi elektrikli aletler üreticisi için güç kalitesi üretilen aletin öngörülen şekilde çalışması için gerekli olan elektrik biçimidir. Ancak elektrik üretimi kullanıcılar için yapıldığından kullanıcının bakış açısı temel alınmalıdır. Bu sebeple güç kalitesi sorunu tüketim araçlarının yanlış veya hiç çalışmamasına neden olacak gerilim, akım ve frekanstaki değişimler" olarak tanımlanabilir. Enerji üretim sistemleri ancak üretilen enerjinin gerilimine etkide bulunabileceği düşünüldüğünde güç kalitesi kavramı üzerinde yapılan belirlemelerin büyük çoğunlukla sistem gerilimi hakkında olduğu görülür. Her ne kadar kısa devre olayında olduğu gibi büyük akım değişiklikleri gerilimde de önemli farklılaşmalara neden olsa da temel

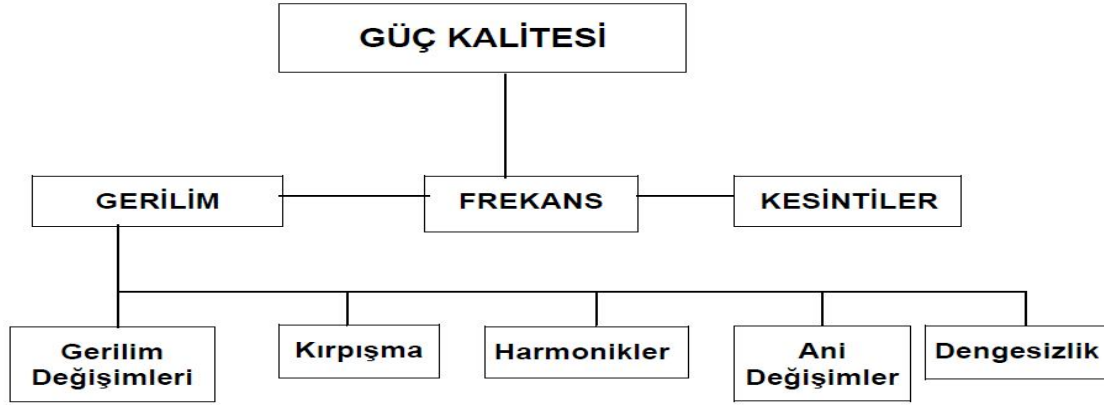
ölçüt gerilim olmalıdır. Güç kalitesi kavramında maksat, sabit şebeke frekansında; sabit ve sinüzoidal biçimli uç gerilimi sağlamaktır. (Mustafa Kemal Avşaroğlu, 2004.)

Bu açıklamalar ışığında “Güç kalitesi ile ne ifade edilmek istenmektedir?” sorusuna verilecek yanıt, “mükemmel bir elektrik enerjisi kaynağı her zaman kullanıma hazır, gerilim ve frekans değerleri toleranslar dâhilinde, harmonikler içermeyen ve sinüs eğrisi şeklinde dalga formuna sahip elektrik üreten enerji kaynağıdır” şeklinde olacaktır. Mükemmellikten sapmanın hangi ölçüde tolere edilebileceği ise kullanıcı uygulamalarına, tesis edilen cihazların tipine ve kullanıcının kendi ihtiyaçlarına olan bakış açısına bağlı olarak değişebilir. Ancak genel olarak uluslararası güç kalitesi standardı Uluslararası Elektroteknik Komisyonu tarafından hazırlanan IEC 61000-4-30 standartlarında değerlere bağlı olarak değerlendirilir.

Güç kalitesi kavramına olan ilginin artmasına dört temel neden gösterilebilir. (IEC 61000-4-7, 2000)

1. Yükler eskiye oranla güç kalitesine daha duyarlıdır. Birçok yeni yük birimi mikroişlemci kontrollü güç elektroniği elemanları içermektedir. Dolayısıyla bu elemanlar besleme enerjisinde olabilecek güç kalitesi parametrelerinin bozulmasından etkilenebilirler. Aynı zamanda bu tür güç elektroniği çevirgeçlerinin bazıları da güç kalitesini bozabilmektedir.
2. Güç sistemlerinin daha verimli kullanılmasına verilen önem hız ayarlamalı motorlar gibi uygulamaların artmasını hızlandırmıştır. Bu da güç sistemlerindeki bir bozulma türü olan harmonik seviyesinin artmasına neden olmuştur.
3. Kullanıcıların güç kalitesi hakkında bilgi düzeylerinin artması üreticilerden daha kaliteli güç istemelerine neden olmuştur.
4. Elektrik şebekesine bağlı olan kullanıcıların sayısı ve çeşidi zamanla artmaktadır. Bundan dolayı bir bileşendeki bozulma diğer bileşenlere olan etkilerinden ötürü önemlidir. Bu sebeplerin arkasında yatan temel neden olarak kullanıcıların daha hızlı ve daha verimli üretim yapmayı istemeleri ve üreticilerinde buna destek vermelerinin kendi yararlarına olduğunu bilmeleri gösterilebilir.

Elektrik enerjisinde kalite bozuklukları diğer bir ifade ile mükemmellikten sapma beş ana kategori altında incelenmektedir. Şekil 3.1 de kalite bozuklukları şematik halde gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Güç kalitesi problemlerinin sınıflandırılması gösterimi

Bu nedenle hızlı bir şekilde gelişen sanayi tesisleri ile elektrikli cihazların düzenli olarak çalışabilmesi için gerek tüketiciler gerekse şebeke açısından enerji kalitesi konusunda bazı düzenlemeler ve sınırlandırmaların yapılması gerekmektedir. Elektrostatik boşalma olayları, elektromanyetik dalgalar ve işletme sırasında meydana gelen hatalar sonucu oluşan bozucu etkiler büyük çoğunlukla tüketici tarafından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, aşırı sıcaklık yükselmesi, istenmeyen titreşimler ve iletken bağlantılarındaki gevşeklikler gibi mekanik veya elektriksel hatalar sonucu da bozucu etkiler oluşmaktadır. (Reid, E. W.,1996)

Kullanıcılar ihtiyaç duydukları kalitede elektrik elde etmek için yapılması gereken yatırıma karar verebilmelidirler. Yerleşim bölgelerinde karşılaşılabilecekleri enerji kalitesi ile ilgili problemlerin nitelik ve nicelikleri hakkında yeterli bilgiye sahip olmaları son derece önemlidir. Maalesef bu konuda yayımlanmış çok az istatistiksel bilgi mevcuttur ve ortaya çıkabilecek problemlerin ve alınacak önlemlerin maliyetleri hakkında bilgi toplamakta çeşitli sorunlarla karşılaşmaktadır. ( Reid, E. W.,1996)

#### 3.3. Elektrik Enerjisindeki Güç Kalitesi Bozuklukları ve Standartları

Bu bölümde temel güç kalitesi parametreleri detaylı bir şekilde anlatılacaktır. Gerilimin frekans değeri, gerilimin etkin değeri, harmonikler, gerilim kırpışması ve gerilim dengesizliği gibi gerilimle ilgili güç kalitesi parametreleri beş ana kategori altında anlatılacak ve bu parametrelerin hesaplanması teorik olarak açıklanacaktır.

Elektrik enerji kalitesi değişkenleri, ayrıntılı bir biçimde IEC 61000-4-30 standardında tanımlanmıştır. Elektrik enerji kalitesine etki eden bu bileşenler aşağıda sıralanmaktadır

- Frekans
- Kaynak Geriliminin Büyüklüğü

- Kırpışma - Flicker
- Kaynak gerilimindeki çukur ve tepeler
- Gerilim kesilmeleri
- Geçici rejim gerilim bileşenleri
- Kaynak gerilimindeki dengesizlikler
- Gerilim harmonikleri
- Gerilim ara harmonikleri
- Kaynak gerilimindeki ana sinyal gerilimi
- Hızlı gerilim değişiklikleri

### 3.3.1. Gerilimin Frekans Değeri

Gerilimin frekans değeri değişimleri, sistemin temel frekansının nominal frekansından(50 Hz) sapması olarak tanımlanır. Güç sisteminin frekansı besleme sistemindeki senkron generatörlerin dönme hızları ile orantılıdır. Yük ve üretim arasındaki dinamik dengeden dolayı frekansta değişimler olur.

Frekans değişimlerinin miktarı, ve süresi yük karakterine ve generatör kontrol sistemlerinin yük değişimine verdiği cevaba göre değişir. İzin verilen sınırların dışına taşan frekans değişimlerine; şebeke grubundaki hatalar, büyük, güçlü yük bloklarının devre dışı kalmaları veya önemli miktarda güç üreten generatörlerin devre dışı kalmalarına neden olabilir. İdeal durumda Türkiye’de bir şebeke hattının güç frekansının 50 Hz olması beklenir ama yukarıda bahsedilen sebeplerden dolayı aktif olarak kullanılan şebeke geriliminin frekansı değişebilmektedir. Fakat bu değişimlerin belirlenen standartlara uygun olması gerekir, aksi takdirde o şebeke gerilimi için güç kalitesinin iyi olduğu söylenemez.

IEC 61000-4-30 standardında belirtilen değerlere göre şebeke geriliminin frekansı maksimum her 10 saniyede bir ölçülmesi gerekir ve şebeke frekansında olabilecek maksimum sapma miktarı  $\Delta f = \pm 500$  mHz ile sınırlandırılmıştır.( IEC 61000-4-30, 2001)

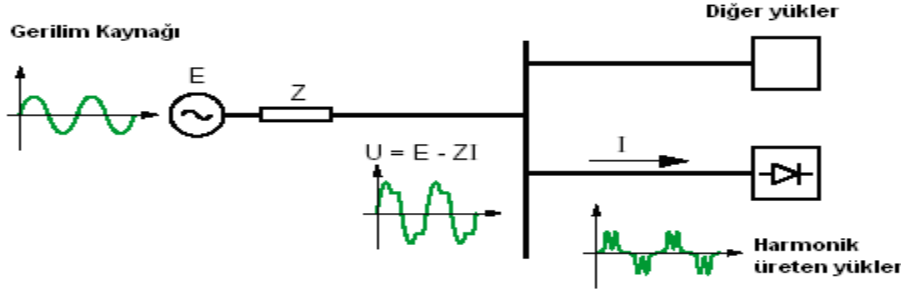
### 3.3.2. Harmonikler

Yarı iletken elemanların tabiatı gereği ve sanayide kullanılan bazı nonlineer yüklerin (transformatör,ark fırınları, v.b.) etkisiyle; akım ve gerilim dalga biçimleri, periyodik olmakla birlikte temel sinüzoidal dalga ile frekans ve genliği farklı diğer sinüzoidal dalgaların



### 3. MATERYAL VE METOT

toplamından meydana gelmektedir. Temel dalga dışındaki sinüzoidal dalgalara ‘harmonik denir. Şekil 3.2.’de nonliner bir yükün sebep olduğu bozulma devresi gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Nonliner bir yükün sebep olduğu harmonik bozulma devresi

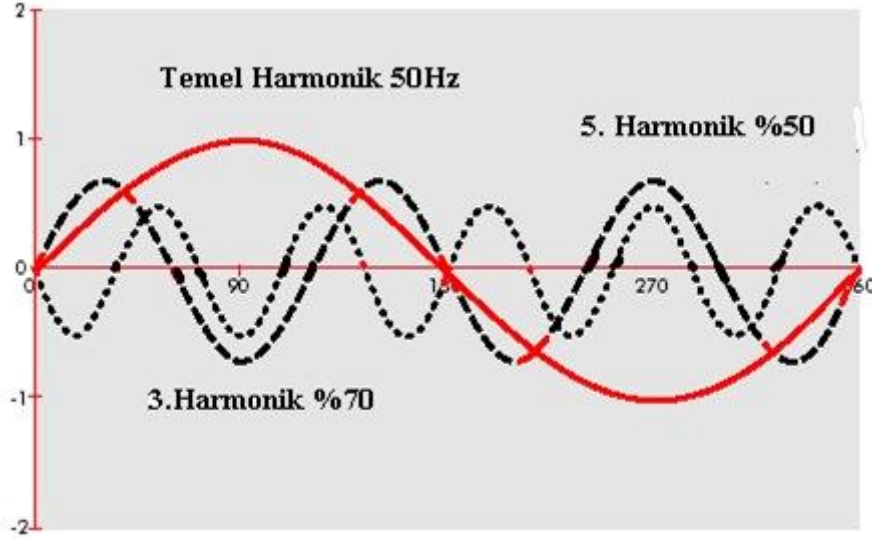
Harmonikli akım ve gerilimin güç sistemlerinde bulunması, sinüs biçimli dalganın bozulması anlamına gelir. Bozulan dalgalar saf sinüs içermeyen dalgalar olarak adlandırılır. Bu dalgalar, Fourier analizi yardımıyla temel frekans ve diğer frekanslardaki bileşenler cinsinden ifade edilebilir. Bu analiz ile harmonik içeren dalgalar, frekansları farklı sinüs biçimli dalgaların toplamı şeklinde matematiksel olarak yazılabilir. Bu sayede harmoniklerin analizi kolaylıkla yapılabilir. (David Bradley,2001)

Normalde elektrik enerjisinin üretilmesi ve dağıtımı sırasında, akım ve gerilimin 50 Hz frekansta salınan ve sinüs eğrisine çok benzer bir biçimde olması istenmektedir. Yukarıda anlatılan nedenlerle oluşan harmonik frekanslı akımların sistemde dolaşması, harmonik frekanslı gerilimlerin meydana gelmesine sebep olur. Böylece gerilimin dalga biçimi de saf sinüs biçimli olmaktan çıkar.

Günümüzde endüstriyel alanda kullanılan doğrultucular ve evirgeçler frekans dönüştürücüleri ve bunların kullanıldığı motor sürücüleri başlıca harmonik üreten kaynaklardır. Ayrıca sanayide kullanılan yumuşak yol vericiler, ark ocakları, enerji tasarrufu sağlamak amacıyla kullanılan aygıt ve yöntemler, akü şarj devreleri de akım ve gerilim harmonikleri üreten diğer kaynaklardır.

Harmoniklerin sistemlere birçok zararları vardır. Harmonikler elektromekanik cihazlarda ve kablolarda aşırı ısınmaya yol açabilirler. Etrafta kuvvetli elektromanyetik alan oluşturarak makinelerde mekanik titreşimlere, ateşleme devrelerinin anormal çalışmasına, elektronik kart arızalarına yol açabilirler. Ayrıca koruma sistemlerinde hatalı çalışmalar, kesici ve şalterlerde atmalar, röle sinyallerinin bozulması ve enerji kayıpları gibi zararlara da yol açabilirler. Bu bakımdan bir şebekede gerilim ve akım sinyallerinin harmoniklerinin iyi izlenmesi gerekmektedir. Sürekli takip altına alınan elektrik sinyalinin harmoniklerin de oluşabilecek herhangi bir sapmada sistem önceden kapatılarak yukarıda bahsedilen zararlar önlenabilir.

Harmonik frekanslar, şebeke frekansının tam sayı katları seklindedir. örneğin, 50 Hz temel harmonik , üçüncü harmonik (150 Hz) ve beşinci harmonik (250 Hz) grafiği ve şebekede görülme oranları Şekil 3.3. de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Temel bileşen, 3. ve 5. harmonik grafiği

Gerçek uygulamalarda karşılaşılan bozulmuş akım dalga şekilleri bu gösterilenden çok daha karmaşıktır ve daha çok sayıda harmonikler ile daha karmaşık faz ilişkileri içerirler. Şekil 2.3'te toplam dalga şeklinde görüldüğü gibi bu dalga şekli bir sinüs eğrisi değildir ve dolayısıyla etkin değer-kalibreli multimetreler gibi normal ölçü aletleri ile yapılan ve ortalama değeri gösteren ölçümler yanlış olmaktadır. Dalga şekli, şebeke frekansından farklı frekanslar içermektedir ve değerlendirmelerin de buna göre yapılması gerekir.

Uluslar arası IEC 519-1992 'ye göre standartlar içinde kabul edilen harmonik bozulma değerleri, **Gerilim için % 3, Akım için % 5** olarak belirlenmiştir. Bu limit değerlerinin üzerinde bulunan harmonik oranlarında, elektrik sistemleri için tehlikeli ve büyük maddi zararlar oluşturabilecek problemler meydana gelmektedir. Elektrik enerji kalitesinin bozulma oranının tespiti için standartlarla belirlenmiş olan, aşağıdaki bağıntılar kullanılabilir;

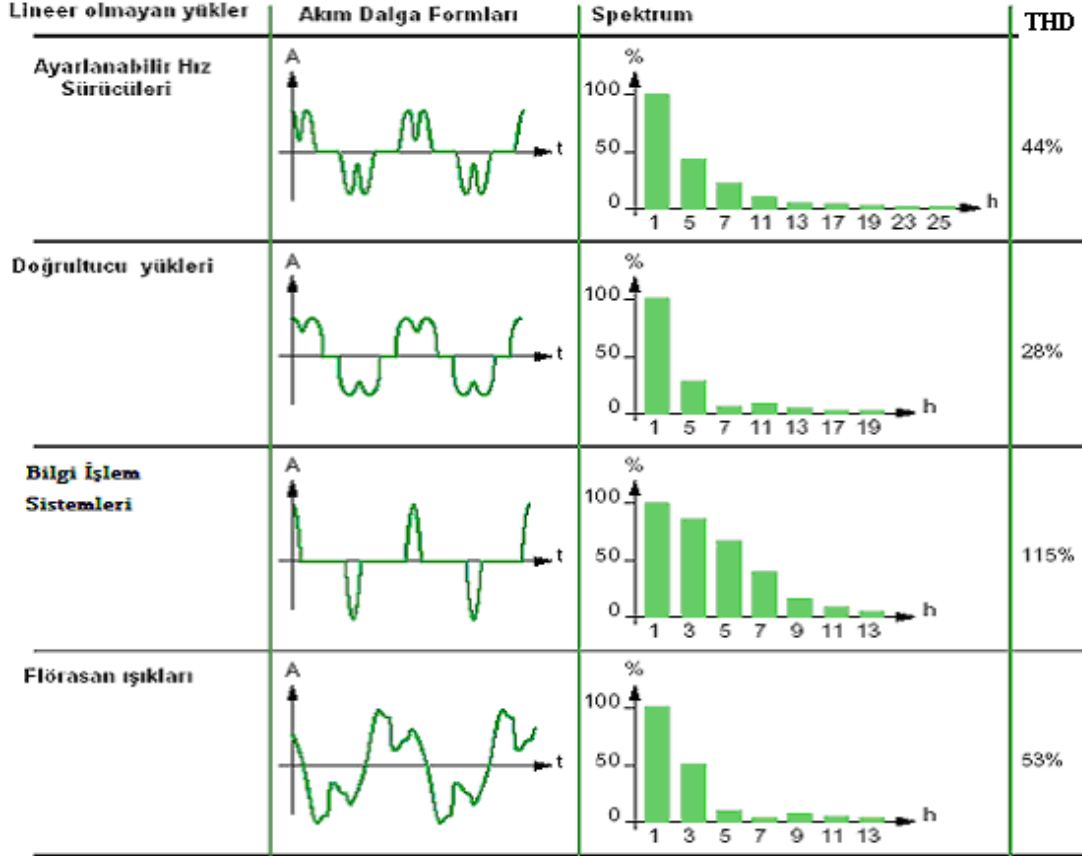
- Toplam Harmonik Bozulma ( Gerilim için )  $[THD]_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1}$  (3.1)

- Toplam Harmonik Bozulma ( Akım için )  $[THD]_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1}$  (3.2)

### 3. MATERYAL VE METOT

ile ifade edilir.

Şekil 3.4’de gerçek sistemlerde oluşabilecek harmonik sinyaller ve spektrumları ve gerilim sinyalinin harmonikler açısından ne kadar bozulduğunun bir ölçütü olan Eşitlik (3.1) ve (3.2)’ de tanımlanan Toplam Harmonik Bozulma (THD) değerleri gösterilmektedir .



Şekil 3.4. Belli başlı harmonik kaynaklı yüklerin karakteristikleri

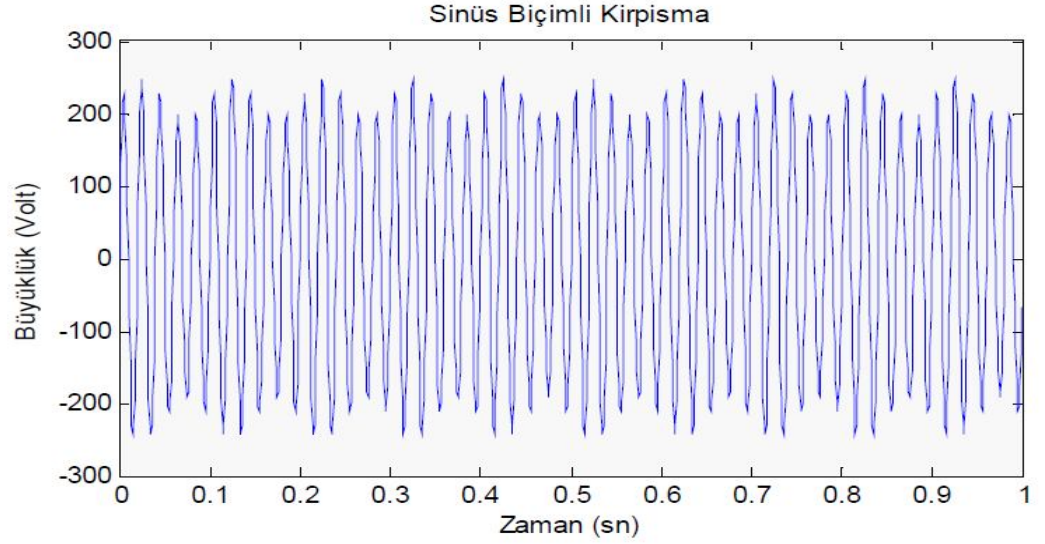
#### 3.3.3. Gerilim Kırışması

Bir güç kalitesi sorunu olan kırışma, diğer güç kalitesi sorunlarından frekans, genlik gibi özellikleri ile ayrılabilir. Ancak kırışmayı ilginç kılan insan ile ilişkisidir. Bir enerji sisteminde kırışmanın var olması durumunda o enerji sistemine bağlı aydınlatma aygıtlarının kullanıldığı ortamlarda bulunan insanlar etkilenir. Bu etkilenme kırışmanın dozuna göre yalnız hissetme düzeyinde olabileceği gibi rahatsız olma düzeyine de çıkabilir. (Muğdeşem Tanrıöven,2007)

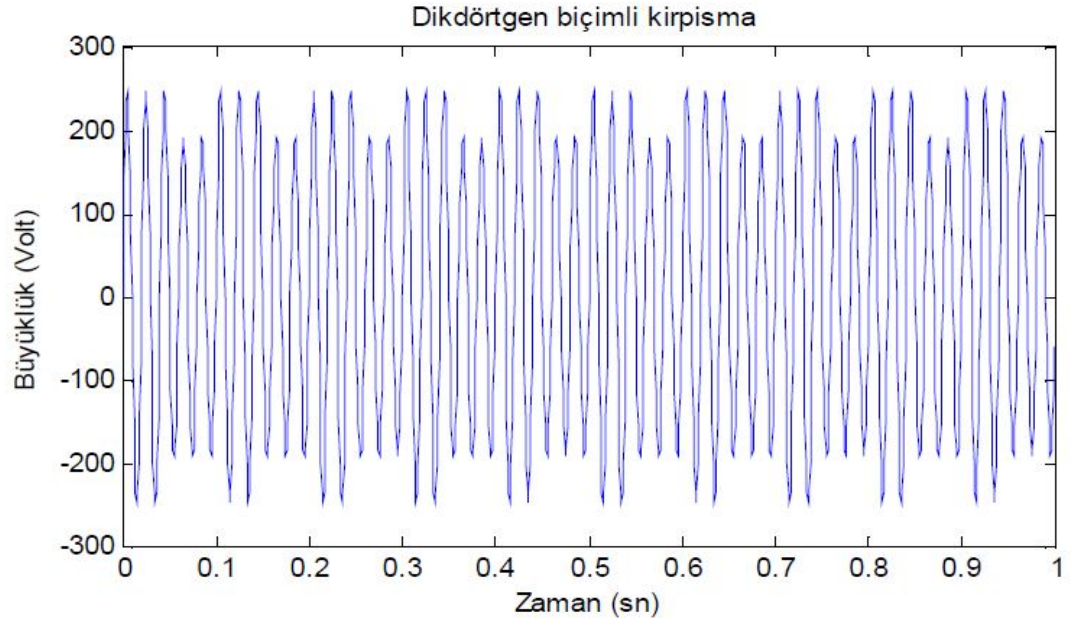
Kırışmanın insan üzerindeki etkisi birçok parametreye bağlıdır. Kırışmanın insan üzerindeki etkisi kırışmadan etkilenen insanlara, bu insanların buldukları ortama veya yaptıkları işlere göre değişir.

Örneğin sürekli gözle kontrole dayana bir işi yapan insanın kırışımadan etkilenme miktarı beden gücüne dayanan bir işi yapan insanın etkilenme miktarından fazladır.

Şekil 3.5. ve Şekil 3.6.'da 50 Hz'lik şebeke geriliminde meydana gelebilecek sinüs biçimli ve dikdörtgen formunda kırışımalara örnek gösterilebilir.



Şekil 3.5. Sinüs biçimli kırışma içeren dalga



Şekil 3.6. Dikdörtgen biçimli kırışma içeren dalga

### 3.3.4. Gerilim Etkin Değeri Değişimleri

Gerilimin genlik değerinin değışimleri iki kısma ayrılarak incelenebilir. Bunlar kısa süreli gerilim değışimleri ve uzun süreli gerilim değışimleridir. Kısa süreli gerilim değışimleri güç sistemlerindeki hatalar, yol verme akımları yüksek olan yüklerin devreye alınması ve

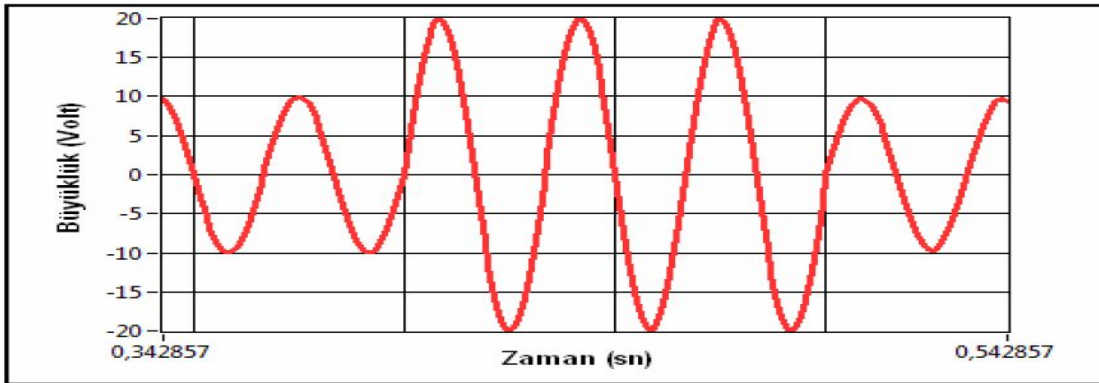
### 3. MATERYAL VE METOT

dağıtım sistemindeki bağlantı kopuklukları gibi sebeplerden dolayı olabilir. Sistem durumuna ve hatanın yerine göre bu tür durumlar sadece gerilim düşmesine değil gerilim yükselmesine ve gerilim kesilmesine de neden olabilirler. Gerilim düşmesi, bir elektrik güç sisteminde meydana gelen anlık düşüş olup, IEC 61000-4-30 standardına göre birkaç çevrim ile birkaç saniye arasında kısa bir süre sonra gerilimin düzelmesiyle sonuçlanır. Gerilim düşmesi her yarım çevrimde bir çevrim üzerinden etkin değeri hesaplanarak karakterize edilir ve her bir periyot bir öncekini yarım çevrim aşar. Alçak Gerilim ve Yüksek Gerilim seviyelerinde gerilimin normal yük durumundaki etkin değeri  $U_{ref}$  olmak üzere, IEC standardına göre gerilimin etkin değerinin,  $1/3 U_{ref}$  seviyesinin altına düşmesi durumuna gerilim düşmesi denir.

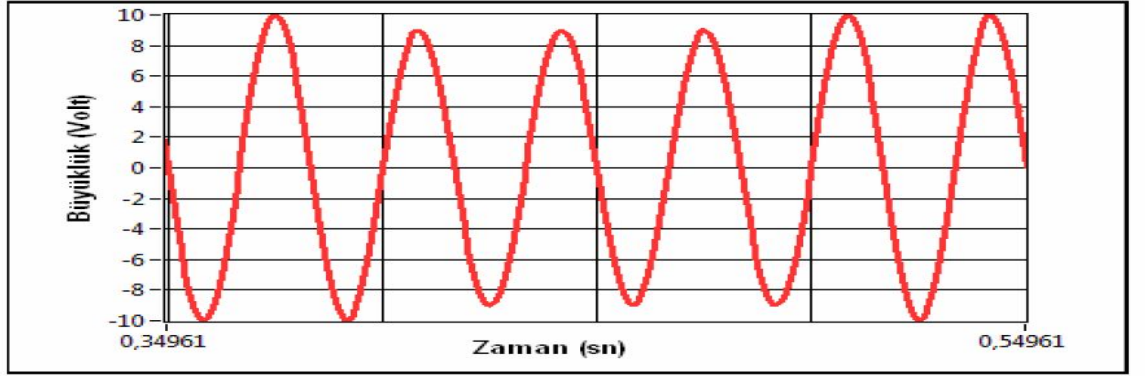
Gerilim Yükselmesi, gerilimin birkaç çevrim içerisindeki bir sürede gerilimin referans etkin değerinden %10'dan daha büyük bir artış olması durumudur. Gerilim yükselmesi gerilim düşmesinde olduğu gibi sistem hatası ile ilişkilidir. Gerilim yükselmesine tek faz - toprak kısa devresi sırasında hatasız olan fazda rastlanır. Gerilim yükselmesi büyük yüklerin anahtarlanmasında veya büyük kapasitörlerin devreye alınmasında oluşabilir.

Uzun süreli gerilim değişimleri 1 dakikadan uzun süren etkin değer değişimlerini ifade eder. Uzun süreli gerilim değişikliklerinde aşırı gerilim, düşük gerilim ve kalıcı gerilim kesintisi olabilir. Aşırı gerilim ve düşük gerilime sistem hataları değil sistemdeki yük değişiklikleri ile anahtarlamalar neden olur. Bu tür değişiklikler genelde etkin değer - zaman grafiklerinde gösterilir.

Gerilim yükselme ve düşmeleri Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de örnek grafikler ile gösterilmiştir .



Şekil 3.7. Gerilimin yükselme grafiği



Şekil 3.8 Gerilim düşme grafiği

Gerilim düşmesi, yükselmesi ve kesilmesini hesaplamak için iki tip standart vardır. Bunlar IEC 61000-4-30 and IEEE Std. 1159-1995 . Bunlardan IEC 61000-4- 30 standardını belirtirken;

- Bir elektrik sistemindeki gerilim düşmesi geçici olarak gerilimin belirli bir eşik değerinden aşağı doğru azalmasıyla meydana gelir.
- Gerilim kesilmesi ise bir elektrik sisteminde gerilimin belli bir eşik değerinden azalmasıyla oluşur.
- Gerilim yükselmesi ise bir elektrik sisteminde gerilimin geçici olarak belli bir eşik seviyesinden artmasıyla meydana gelir.

IEEE Std. 1159-1995 standardına göre:

- Gerilim düşmesi bir dakika içinde yarım periyotluk güç frekansında gerilimin etkin değerinin 0.1 ve 0.9 pu arasında azalmasıdır.
- Gerilim kesilmesi 3 sn. ve yarım periyot arasındaki bir zaman diliminde bir veya daha fazla ki fazda kısa süreli olan gerilim kaybıdır.
- Gerilim yükselmesi bir dakika içindeki yarım periyotluk güç frekansında gerilimin artmasıdır.

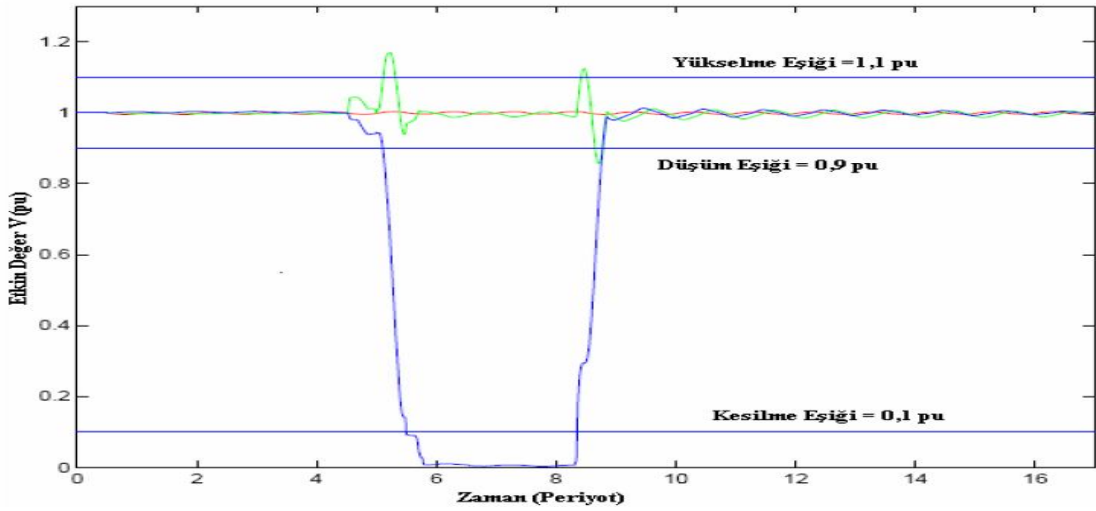
Gerilim yükselmesi, düşmesi ve kesilmesi özetlenmek istenirse aşağıdaki gibidir.

- Gerilim düşmesi üç fazın eşik değerinin üzerinde bulunduğu zaman ve fazlardan birinin eşik değerinin altına indiği zaman gerilim çökmesi başlar . Gerilim çökmesindeki eşik değeri referans geriliminin %90 seçilir.

### 3. MATERYAL VE METOT

- Gerilimde ki kesilmeler bir fazın eşik değerinin üzerinde olduğu ve üç fazın eşik değerinin altında olduğu durumlarda gerilim kesilmesi başlar . Gerilim kesilmesindeki eşik değeri referans geriliminin %10 seçilir.
- Gerilim yükselmesi üç fazın eşik değerinin altında olduğu bir fazın eşik değerinin üzerinde olduğu en az bir fazın eşik değerinin üzerinde olduğu zaman gerilim yükselmesi başlar. Gerilim yükselmesindeki eşik değeri referans geriliminin %110 seçilir.

Şekil 3.9 da aşağıdaki şekilde gerilim çökmesi, gerilim kesilmesi ve gerilim yükselmesi gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Gerilim düşmesi, kesilmesi ve yükselmesinin bir durum üzerinde gösterilmesi

#### 3.3.4.1. Gerilim Etkin Değerinin Düşmesi

Gerilim düşmesi 10 ms. ile 1 dakikalık süre boyunca anma geriliminin efektif değerinin % 10'u ile % 90'ı arasındaki bir değere düşmesi olarak tanımlanır. % 10'luk bir gerilim düşmesi gerilimin etkin değerindeki % 10'luk bir azalma ile 0,9 birim değerlik değere düşmesi anlamına gelmektedir. Gerilim düşmesi endüstriyel ve ticari tüketicilerin en çok karşılaştığı ve etkilendiği olaylardan birisidir.(Karadayı.Ş.,2007)

Gerilim düşmeleri enerji dağıtım sisteminde arızalar, sisteme bağlı yüklerin aniden artması, atmosferik olaylar veya asenkron motor gibi büyük bir yükün devreye girmesi sonucunda oluşabilir. Enerji sisteminde arızaları önlemek mümkün değildir. Yıldırım ve benzeri bir olay sonucu gerilim çökmesi meydana geldiğinde, gerilim anma değerinin % 50'sine kadar olan değere 4 veya 7 periyot kadar süre için düşebilir. Bu gerilim seviyesinde bir çok yük devre dışı kalır. Gerilim düşmesinin sonucunda oluşabilecek durumlardan birisi yüklerin özellikle motorların devreden çıkması veya verimlerinin düşmesidir.Gerilim çökmelerine cihazların duyarlılığı rastgele oluşabilir. Gerilimle ilgili bozulmaların % 87 'si gerilim düşmeleri ile



ilgilidir. Enerji iletim ve dağıtım sisteminde meydana gelen arızaların büyük bir çoğunluğu tek faz nötr arızalarıdır.

Gücün kaynağının performansını ölçmekte gerilim çökmesi göstergelerinden biridir. Göstergeler bir sistemi ve sonuçları tanımlamakta kullanılır. Gerilim çökmesi göstergelerinde kullanılan temel doküman IEEE P1564 'dir. Gerilim çökmesi göstergelerinde ki bu doküman ifade etmek de iyi bir araçtır. Gerilim çökmesi bir çok elektriksel alet sayesinde ve bunların uygulamaları ile azaltılabilir. Gerilim düşmesi elektrik sistemlerinde istenmeyen bir durumdur ve bu durum engellenebilir. Bu yüzden sonuçları iyi bir şekilde anlamak ve analizini yapmak gerekir.

#### 3.3.4.2. Gerilim Düşmesinin Oluşum Sebepleri ve Sıklıkları

Gerilim düşümlerinin oluşumunda genellikle üç ana sebep gösterilmektedir. Bunların en çok rastlanılanı kısa devreler yada kabaca sistemde meydana gelen arızalar, diğeri ise büyük güçlü motorların yol alması ve transformatörlerin enerjilendirilmesi sırasında çekilen yüksek akımdan dolayı oluşan gerilim düşmeleridir.

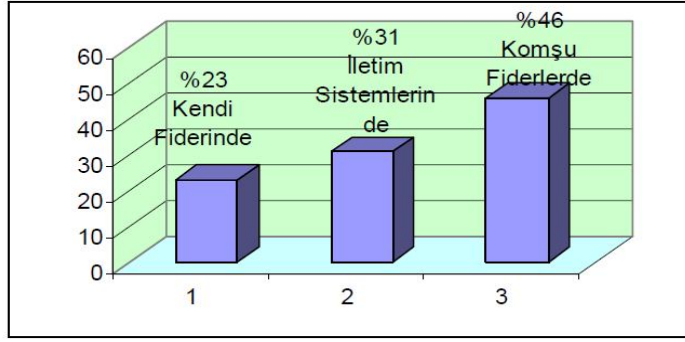
Dağıtım şebekelerinde herhangi bir noktada meydana gelen arıza sonucu bu noktaya komşu tüm noktalarda gerilim düşmesi yaşanır ve bu düşme arıza yerine olan uzaklığa bağlıdır. Motor yol verme olayında ise kısa devredeki kadar olmasa da ilk anda çekilen büyük akım sonucu bir süre motor barasında ve ona komşu noktalarda düşme yaşanır. Arıza durumlarında arıza oluştuğu yani kısa devre akımı aktığı sürece gerilim azalması yaşanır. Devre kesicilerin arıza akımının akmasını engellemek için devreyi açması ile son bulur. Arızalar, meydana geldiği noktadan kilometrelerce uzaklıktaki sistemlerde bile gerilim düşümüne yol açabilmektedir.( Das. J.C.,1990)

Gerilim düşmelerinin ne sıklıkta olduğunun saptanması için, çalışma alanına ait eşdeğer bir empedans diyagramı ve komşu tesislerde bulunan cihazlar hakkında bilgi sahibi olunması gerekir. Bunun yanı sıra gerilim seviyesi de gerilim düşümlerinin oluşmasında önemli bir etkidir. Şekil 3.10 de ve Şekil 3.11 çeşitli endüstriyel tesislerde rapor edilen verilerden yola çıkılarak oluşturulmuş, bazı gerilim düşümü istatistikleri görülmektedir.

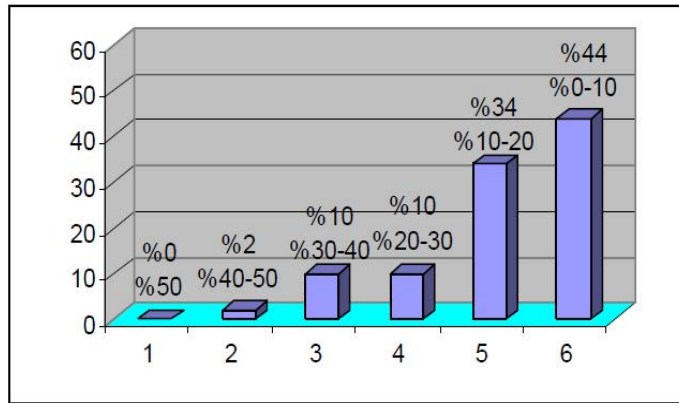
Bir diğeri konu ise gerilim düşmelerin genliğinin arıza noktasının konumuna bağlı olmasıdır. Asıl önemli noktalardan biri ise bütün olası arızaların ve arıza empedanslarının bulunması gerekliliğidir. Arıza temizleme işlemi şebekedeki gerilim düşmelerinin değerinin belirlenmesinde önem kazanmaktadır. Arıza olduktan sonra devre kesicilerinin devreyi kesme deki hızı cihazların daha az etkilenmesine ve gerilim düşmelerinin daha kısa sürede sonuçlanmasına yol açacaktır.



### 3. MATERYAL VE METOT



Şekil 3.10. Dağılım sistemlerinde gerilim düşmelerinin yol açan arızaların oluşma yerlerine göre dağılımı



Şekil 3.11. İstatistiksel verilerden elde edilmiş düşüm genliği oranları

Yüklerin türüne göre düşümlerden etkilenmeleri farklıdır. Bunun için bir takım standartlar geliştirilmiştir. ANSI, CBEMA, NEMA gibi standart geliştiren kuruluşlarca yapılan araştırmalar sonucu cihazların dayanma noktaları belirlenmiştir. Örneğin ANSI Standart C84-Te göre 600 Volt'a kadar olan şebeke gerilimleri için bu değişim nominalin  $\pm$  %5'i kadar olmalıdır. Kısa süreli değişimlerde ise en fazla %5.8'e kadar gerilim artmasına ve %8.3'e kadar gerilim azalmasına izin verilebilir.

#### 3.3.4.3. Gerilim Düşmelerinin Etkileri

Gerilim düşüş ve kesintileri, tesisata bağlı birçok cihazda problem oluşturmaktadır. Bunlar, çok sık olarak güç kalitesi problemlerine neden olmaktadır. Birkaç yüz milisaniyelik bir gerilim düşüklüğü veya kesintisi, birkaç saat süren zararlı sonuçlar yaratabilir. Gerilim düşmelerine karşı en hassas uygulamalar şunlardır;

- Prosesin, zincirdeki herhangi bir ögenin geçici bir süre için kapanmasını tolere edemediği eksiksiz ve kesintisiz üretim hattı (baskı, çelik işleri, kağıt fabrikaları, petrokimyasallar, vb.)

- Aydınlatma ve güvenlik sistemleri (hastaneler, havaalanı aydınlatma sistemleri, kamu binaları ve yüksek binalar, vb.)
- Bilgisayarlar (bilgi işlem merkezleri, bankalar, telekomünikasyon, vb.)
- Elektrik santralleri için gerekli olan yardımcı tesisler.
- Sulamada kullanılan asenkron motorlar

#### 3.3.4.4. Gerilim Düşmelerinin Asenkron Motorlara Etkileri

Asenkron motorlarının güç sistemlerindeki uygulamaları çoğunlukla tipik yüklerdir.. Asenkron motorlarındaki hata sebepleri çoktur. Gerilim düşmeleri asenkron motorlarının durmalarına ve üretimde mali kayıplara sebep olur.

Çökme tipine bakmaksızın, gerilim çökmelerinin asenkron motorları üzerindeki temel etkileri;

- Hız kaybı
- Akım yükselmesi ve moment zayıflamaları

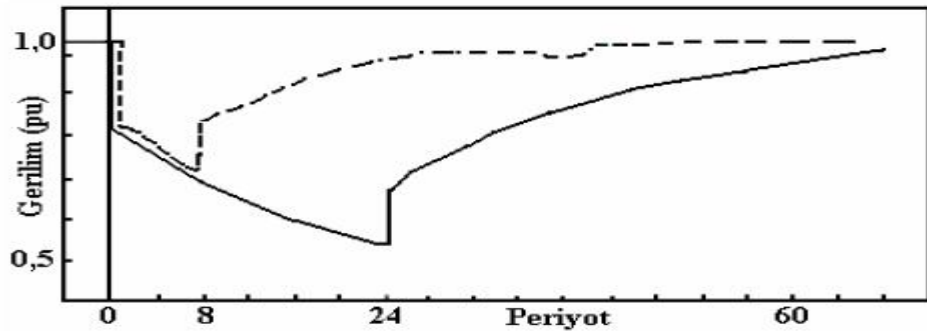
olarak görülür.

Farklı gerilim çökmelerinin asenkron motorlarındaki karşılığı gerilim çökme tipine bağlıdır.

Asenkron motorlarını belirleyen ve farklı gerilim çökmelerini oluşmasına neden olan faktörler aşağıdaki gibidir;

- Çökmenin büyüklüğü
- Çökmenin süresi
- Motorda ki elektriksel parametreler
- Yük ve atalet

Bir asenkron motorda 10 periyottan daha kısa zaman zarfında gerilimin %20-30 arasında azalması gerilim düşmesi olarak tanımlanabilir.

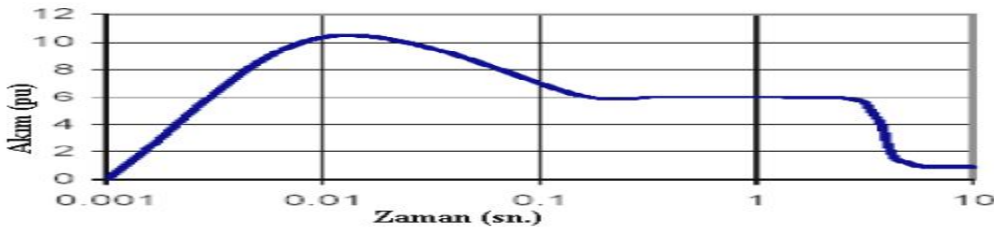


Şekil 3.12. Gerilim düşmesi ve oluşan düşmenin 8 ve 24 periyot içinde tekrar eski haline gelmesi.

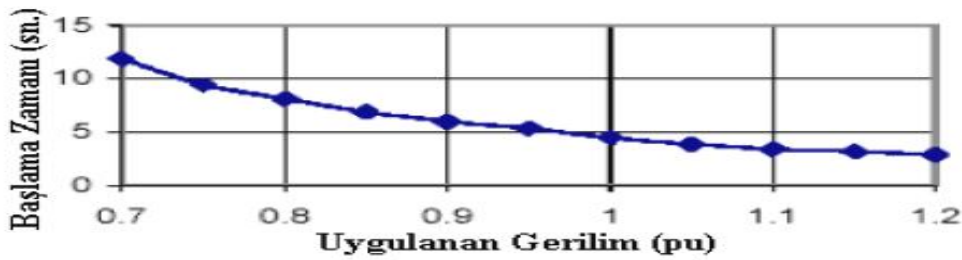
### 3. MATERYAL VE METOT

Gerilim çökmeleri, düşümleri başladığında, moment gerilimin karesi ile orantılı olduğundan aynı zamanda hız düşer. Rotorda ki manyetik alan gerilim çökme süresince azalacak ve motorun hızının azalmasına neden olacaktır. Bu statordaki gerilimin dengesiz olarak akı meydana getirecek, böylece momentin azalmasına neden olacaktır. Bir asenkron motorunda ki en ilgi çekici problemlerden birisi gerilim çökmesinin başındaki ve sonundaki ilk moment hareketidir. Bu motorda zarara veya üretimin durmasına sebep olabilir.

İlk gerilim çökmesi sırasında oluşan yüksek miktardaki akım gerilim çökmesinin kritik sınırın altına düşmemesi için yeterli olmaktadır. Özellikle bu durumda ki bir çok makinede bu tip problemlerle karşılaşmaktadır. Normalde bu gibi durumlarda cihazı korumak için motor sürücüler kullanılır ve bunlar gerilimin tekrar eski haline gelmesini sağlarlar. Motorların bir kısmı birlikte bağlanması çökme anında tüm sistemi az etkiler. Aynı zamanda motorların bir kısmının da ağ şeklinde bağlanması ile motorlardan enerji sağlanmasıyla gerilim çökmesi dengede tutabilirler. Bu yüzden, eğer motor bir çökme süresi boyunca çalışıyorsa, planlı bir sistem önemli bir destek sağlayacaktır. (Peter W Sauer, 1998) Asenkron motorunun başlama akımı, çoğunlukla nominal akımın 6 ile 8 katıdır ve cihazın hassasiyetini bozan nedenlerden biridir. Gerilim çökmesini azaltmanın bir yolu da motora yol verme sistemlerinin uygulamasıdır.



Şekil 3.13. Asenkron motorunun direkt başlama anında ki akımı. (V=1 pu)



Şekil 3.14 Başlama süresince gerilim fonksiyonunun uygulanması (V=0,7-1,2 aralığında)

Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'de Transformatörde ki başlangıç akımının zamana göre karakteristiği v/s ile gerilim çökme derinliğinin zamana karşı karakteristiği verilmiştir.

### 3.3.5. Gerilim Dengesizliği

Faz gerilimlerinin etkin değeri veya ardışık fazlar arasındaki faz açılarının eşit olmaması durumunda 3 fazlı bir sistem dengesiz demektir.

Gerilim ve akım genlikleri aynı, fazlar arası 120° olan üç-fazlı bir sistem, dengeli veya simetrik bir sistem olarak adlandırılır. Bu özelliklerden biri veya her ikisi de söz konusu olmadığı takdirde sistem, dengesiz veya asimetrik olarak tanımlanır.

Sistemi isletenler ve dağıtım şirketleri ile müşteri tesisatının ortak bağlantı noktasında (PCC) dengeli bir sistem gerilimi sağlamaya çalışırlar.

Büyük merkezi enerji santrallerinde kullanılan senkron generatörlerin yapısı ve çalışma özellikleri nedeniyle üretilen gerilimlerin simetrisi genel olarak yüksek olmaktadır. Bu nedenle, merkezi üretimin dengesizliğe katkısı genellikle söz konusu olmaz. Ancak, sayıları artarak gittikçe önem kazanan küçük ölçekli dağıtım veya ada tip üretimde durum farklıdır. Görece küçük bu ünitelerin çoğu Alçak Gerilim hattına tek fazlı elektronik güç eviricileri vasıtasıyla bağlıdır. Bağlantı noktasının empedansı oldukça yüksektir (kısa-devre gücü oldukça düşük) ve gerilimin yüksek olduğu bağlantılara kıyasla gerilim dengesizliğinin yükselmesine yol açabilir.

Gerilim dengesizliği saf sinüs faz gerilimleri üstünden hesaplanır. Dolayısıyla dengesizliği hesaplanacak olan gerilim faz sinyallerinin öncelikle harmoniklerinden arındırılması gerekmektedir.

Faz gerilimlerinin etkin(rms) değeri veya ardışık fazlar arasındaki faz açılarının eşit olmaması durumunda 3 fazlı bir sistem dengesiz demektir. Dengesizliğin derecesi, temelin negatif bileşeni ( $U_{1i}$ ) (veya sıfır bileşeni ( $U_{1o}$ ), temelin pozitif bileşeni ile karşılaştırılarak, Fortescue bileşeni kullanılarak tanımlanır.

$$\Delta U_i = \frac{|U_{1i}|}{|U_{1d}|} \quad (3.3)$$

$$\Delta U_o = \frac{|U_{1o}|}{|U_{1d}|}$$

Ayrıca aşağıdaki yaklaşık formül de kullanılabilir:

$$\Delta U_i = \max \frac{V_i - V_{ort}}{|V_{ort}|} \quad (3.4)$$

$V_i$  : faz gerilimi

$$V_{ort} = (V_1 + V_2 + V_3) / 3 \quad (3.5)$$

### 3. MATERYAL VE METOT

---

Dolayısıyla elde edilen pozitif ve negatif dizi gerilimlerinin mutlak değerlerinin bilinmesi gerekir. Böylece üç fazlı bir sistemdeki faz gerilimlerinin etkin değerlerinin bilinmesi halinde fazlar arası gerilim dengesizliği rahatça hesaplanabilir. IEC standardında fazlar arası gerilim dengesizliğinin %2'nin altında olması gerektiği belirtilmiştir. Dolayısıyla bu eşik değer üstünde kalan bir dengesizliğin söz konusu olduğu bir sistem için gerilim dengesizliğinden söz edilebilir.

NEMA ve IEC standardı olmak üzere iki türlü dengesizlik tanımı vardır. Nema tanımı National Electrical Manufacturer Association Motor and Generator Standard (NEMA MGI) tarafından tanımlanmış olup hat gerilimlerinin ortalama değerine bağlı olarak hesaplanır. Faz nötr gerilimlerinin ortalama değerine bağlı olarak hesaplanan dengesizlik tanımına ise IEEE dengesizlik tanımı adı verilir. IEEE dengesizlik tanımı Nema tanımının farklı bir çeşididir. IEC standardı ise simetrik bileşenler metodu kullanılarak negatif dizi geriliminin pozitif dizi gerilimine oranından hesaplanır. IEC standardı Avrupa ülkelerinde yaygın olarak kullanılır. Nema standardı ise daha çok Amerika'da kullanılan standarttır.

**Nema Tanımı:** Hat gerilimleri genliklerinin ortalamasının mutlak değerleri ile en düşük hat geriliminin mutlak değeri arasındaki farkın ortalama hat geriliminin mutlak değerine bölümünün yüzdesi olarak ifadesidir. Bir başka deyişle hat gerilimleri arasındaki dengesizliktir.

$$\%VUP = \frac{|\text{Hat Gerilimlerinin Ortalaması}| - |\text{En Düşük Hat Gerilimi}|}{|\text{Ortalama Hat Gerilimi}|} \times 100 \quad (3.6)$$

**IEEE Tanımı:** Faz gerilimlerinin genliklerinin ortalamasının mutlak değerleri ile en düşük faz gerilimi mutlak değeri arasındaki farkın ortalama faz geriliminin mutlak değerine bölümünün yüzdesi olarak ifadesidir.

$$\%PVUR = \frac{|\text{Faz Gerilimlerinin Ortalaması}| - |\text{En Düşük Faz Gerilimi}|}{|\text{Ortalama Faz Gerilimi}|} \times 100 \quad (3.7)$$

**IEC Tanımı:** Gerilim dengesizliği hesabı yapılırken simetrik bileşenler metodu kullanılır. Negatif dizi geriliminin ( $V_2$ ) pozitif dizi gerilimine ( $V_1$ ) oranı gerilim dengesizlik faktörünü verir. Gerilim dengesizlik faktörü (VUF) Denklemdeki gibi hesaplanır.

$$\%VUF = V_2 / V_1 \times 100 \quad (3.8)$$

Gerilimlerde dengesizlik oluştuğunda akımlarda da dengesizlik meydana gelir. Akım dengesizlik faktörü (CUF) Denklem 2.9. daki gibi hesaplanır.

$$\%CUF = I_2/I_1 \times 100 \quad (3.9)$$

Akım dengesizlik faktörü negatif dizi akımının ( $I_2$ ) pozitif dizi akımına ( $I_1$ ) oranıdır.

### 3.3.6. Gerilim Dengesizliğinin Sınıflandırılması

İki metodu tanımadan önce gerilim dengesizliği sınıflandırmak gerekir. Bunlar ABC sınıflandırılması ve simetrik bileşen sınıflandırılmasıdır. ABC sınıflandırılması en eski ve en çok kullanılan sınıflandırma biçimidir. Bu çoğunlukla basit olduğu için yapılır. Bileşen sınıflandırılması çoğunlukla geneldir ve ölçülen gerilimleri bir hat boyunca verir.

#### 3.3.6.1. ABC sınıflandırılması

ABC sınıflandırılması üç fazda ki dengesiz gerilim çökmesindeki yedi tip arasında ayırt edilebilir. Bu yedi tipte ki kompleks gerilim ifadeleri Çizelge 3.1. verilmiştir. Bir fazdaki önceki hatalı gerilim  $E_1$  ile gösterilmiştir. Hatalı fazlar arasında veya hatalı fazdaki gerilim ifadesi  $V^*$  ile gösterilir. Bu şekilde sınıflandırılma sebeplerinden biri de transformatörler içindeki çökmenin tanımlanmasıdır.

Çizelge 3.1 ABC sınıflandırılmasında üç fazda ki dengesiz gerilim çökmesinin sınıflandırılması.

Tip	Gerilimler	Fazörler	Tip	Gerilimler	Fazörler
<b>A</b>	$\bar{U}_1 = \bar{V}$ $\bar{U}_2 = -\frac{1}{2}\bar{V} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\bar{V}$ $\bar{U}_3 = -\frac{1}{2}\bar{V} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\bar{V}$		<b>E</b>	$\bar{U}_1 = \bar{E}_1$ $\bar{U}_2 = -\frac{1}{2}\bar{V} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\bar{V}$ $\bar{U}_3 = -\frac{1}{2}\bar{V} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\bar{V}$	
<b>B</b>	$\bar{U}_1 = \bar{V}$ $\bar{U}_2 = -\frac{1}{2}\bar{E}_1 - j\frac{\sqrt{3}}{2}\bar{E}_1$ $\bar{U}_3 = -\frac{1}{2}\bar{E}_1 + j\frac{\sqrt{3}}{2}\bar{E}_1$		<b>F</b>	$\bar{U}_1 = \bar{V}$ $\bar{U}_2 = -\frac{1}{2}\bar{V} - j(\frac{\sqrt{3}}{3}\bar{E}_1 + \frac{\sqrt{3}}{6}\bar{V})$ $\bar{U}_3 = -\frac{1}{2}\bar{V} + j(\frac{\sqrt{3}}{3}\bar{E}_1 + \frac{\sqrt{3}}{6}\bar{V})$	
<b>C</b>	$\bar{U}_1 = \bar{E}_1$ $\bar{U}_2 = -\frac{1}{2}\bar{E}_1 - j\frac{\sqrt{3}}{2}\bar{V}$ $\bar{U}_3 = -\frac{1}{2}\bar{E}_1 + j\frac{\sqrt{3}}{2}\bar{V}$		<b>G</b>	$\bar{U}_1 = \frac{2}{3}\bar{E}_1 + \frac{1}{3}\bar{V}$ $\bar{U}_2 = -\frac{1}{3}\bar{E}_1 - \frac{1}{6}\bar{V} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\bar{V}$ $\bar{U}_3 = -\frac{1}{3}\bar{E}_1 - \frac{1}{6}\bar{V} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\bar{V}$	
<b>D</b>	$\bar{U}_1 = \bar{V}$ $\bar{U}_2 = -\frac{1}{2}\bar{V} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\bar{E}_1$ $\bar{U}_3 = -\frac{1}{2}\bar{V} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\bar{E}_1$				

Arıza tipine bağlı olarak olay sırasındaki çukur gerilimi üç fazda eşit veya farklı olabilir. Simetrik bileşen sınıflandırılmasına göre 4 farklı çukur tipinden bahsedilebilir; A, B, C ve D. Üç faz arızası A tipi çukura neden olur. Bu çukur tipi dengeli, her fazda gerilim çukur genliğinin eşit olduğu, çukur şeklindedir. Simetrik olmayan arıza, B, C veya D tipi çukura neden olur. D tipi

### 3. MATERYAL VE METOT

---

çukurda asıl düşme fazlardan sadece birinde görülür. Da, asıl azalmanın a fazında olduğunu ifade eder. C tipi çukurda asıl düşme iki fazda görülür, alt indis arızasız fazı ifade eder. Buna göre Ca, b ve c fazlarında çukur olduğunu gösterir. B tipi çukur D tipi çukurun özel bir halidir. B tipi çukurda sıfır dizi empedansı pozitif dizi empedansına eşit varsayılmıştır. Bu varsayım güç sistemlerinde geçerli olmadığından sadece A, C ve D tipi çukurdan söz edilebilir.

Her bir çukur tipi için arıza öncesi ve arıza sırasındaki gerilim fazörlerini gösterir. 3 faz arızası hem üçgen hem de yıldız bağlı yükte A tipi çukurla sonuçlanırken, tek faz toprak arızası yıldız bağlı yükte D tipi, üçgen bağlı yükte C tipi çukura neden olur. Faz faz ve iki faz toprak arızaları yıldız bağlı yükte C tipi üçgen bağlı yükte ise D tipi çukura yol açar.

Bu metot gerilim çökmesini önceden tahmin etmek için geliştirilmiştir. Hataları istatistiksel olarak değerlendirmek için farklı tipdeki gerilim düşümlerinde meydana gelen frekansı hesaplamak için kullanılır. Bu sınıflandırmayı yapmakla üç fazda da gerilim çökmesi oluşturmak mümkündür.

Bu metodun zayıf noktası simülasyon tabanlı olmasıdır. Ölçülen gerilimin dalga şeklinde ki gerilim çökmesi tipini belirlemek aniden mümkün değildir.( Carson W.Taylor,1994)

#### 3.3.6.2. Simetrik Bileşen Sınıflandırılması

Simetrik bileşen sınıflandırılması ABC sınıflandırması ile aynı tutulamaz. Simetrik bileşen sınıflandırılması bir fazda ki gerilim düşümü ile iki fazda ki gerilim düşümü arasında ayırt edilebilir. Üç fazda ki gerilim düşümü fazlar arasında eşit olarak gerçekleşir. Bu iki fazda ve tek fazda ki gerilim düşümü ile aynı limitedir. Sıfır durumlu gerilim başlangıçtakinden farklı bir özellik olarak ele alınabilir. Diğer iki özellik ise karakteristik gerilim ve PN gerilimidir. (Arifoğlu, U., 2000)

$$U_a = V \quad (3.10)$$

$$U_b = -1/2 V - 1/2 jF\sqrt{3} \quad (3.11)$$

$$U_c = -1/2 V + 1/2 jF\sqrt{3} \quad (3.12)$$

Bir gerilim çökmesinin genel ifadesi b ve c fazları arasında ki temel düşümdür. Bu durumda  $|F| \geq |V|$  olur. Üç fazda oluşan hata dengeli çökmedir ve  $|F| = |V|$  olur. Diğer dört tip çökmede de benzer ifadeler vardır.

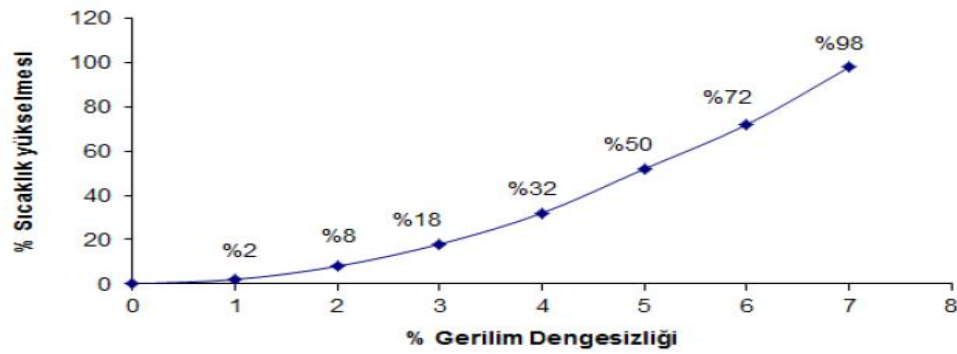
Db (b fazında çökme), Dc (c fazında çökme),Cb (a ve c fazları arasında ki çökme) , Cc ( a ve b fazları arasında ki çökme).

#### 3.3.7. Gerilim Dengesizliğinin Asenkron Motorlara Etkileri

Gerilim dengesizliğinin yukarıda bahsedilen standartlardaki değerlerin üzerine çıkması üç fazlı motorlarda performans düşmesine ve motor ömrünün kılmasına neden olur. Motor

terminallerindeki gerilim dengesizliği ise faz akımlarının dengesizliğine sebep olur. Akım dengesizliği dönme momentini azaltır, titreşimleri arttırır, mekanik vuruntular artar, kayıplar artar ve motor aşırı ısınır, bunlara bağlı olarak da motorun veriminin düşmesine sebep olur.

Ölçüm periyodu boyunca (ölçüm periyodu standartta bir hafta olarak tanımlanmaktadır) ölçülen gerilim negatif bileşeni etkin değerlerinin onar dakikalık ortalamalarının en az %95'inin pozitif bileşenlere oranı en fazla % 2 olmalıdır. Tek fazlı veya iki fazlı yüklerin beslendiği noktalarda bu oran % 3'e kadar çıkabilir. Şekil 3.15'te sıcaklık gerilim dengesizliği ilişkin grafik gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Gerilim Dengesizliği ile Sıcaklık Yükselmesi Arasındaki İlişki

Gerilim dengesizliğinin asenkron motorlarda verimin azalmasına neden olduğu daha önceden belirtilmişti. Verimin azalmasıyla beraber ilave enerji sarfiyatı olduğu için buna bağlı olarak enerji maliyetinde artış meydana gelir. Tablo da 1800 Devir 100 HP bir motorun gerilim dengesizliğinden kaynaklanan verimin değişim tablosu Çizelge 3.2.'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.2. Gerilim dengesizliği şartlarında motor verimi değerleri (Önel, İ. Y.,2011)

Motor Yük Akımı (%)	Motor Verimliliği %		
	Gerilim Dengesizliği %		
	Nominal	1	%2.5
100	94.4	94.4	93.0
75	95.2	95.1	93.9
50	96.1	95.5	94.1

Çizelge 2.2'de görüldüğü gibi 100 HP'lik bir motorun tam yükte ve %2.5 gerilim dengesizliğinde yılda 8640 saat çalıştığı varsayıldığında yıllık ekstra enerji sarfiyatı;

$$100\text{Hp} * 0,746\text{kW/ Hp} * 8640 \text{ saat/yıl} * (100/93 - 100/94,4) = 10278,4 \text{ kWh olacaktır.}$$

2013 Aralık ayı endeksine göre 1 kWh 32 kuruştur. Buna göre verim düştüğü için

$$10287,4 \text{ kWh} * 0,32 \text{ TL/kWh} = 3292 \text{ TL'lik ekstra enerji maliyetine neden olmaktadır.}$$

Sanayi elektrik tüketiminin büyük bir kısmı üç fazlı asenkron motorda olmaktadır. Gerekli önlemler alındığında elde edilecek enerji tasarrufu ve maddi kazanç oldukça önemli olacaktır.



### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.4. IEC 61000-4-30 Güç Kalitesi Parametreleri Standardı

Yukarıdaki bölümlerde anlatılan her bir güç kalitesi parametreleri için olması gereken sınır değerleri ve ölçüm teknikleri açısından uluslararası ve ulusal standartlar belirlenmiştir. Dünyada kabul edilen uluslararası güç kalitesi standartlarından birisi Uluslararası Elektroteknik Komisyonu tarafından hazırlanan IEC 61000-4-7, IEC 61000-4-15 ve IEC 61000-4-30 standartlarıdır. Çizelge 3.3’de IEC standardına göre belirlenen Alçak Gerilim (AG), Yüksek Gerilim (YG) sinyallerinin güç kalitesi açısından olması gereken sınır değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. IEC Güç kalitesi parametreleri standardı sınır değerleri

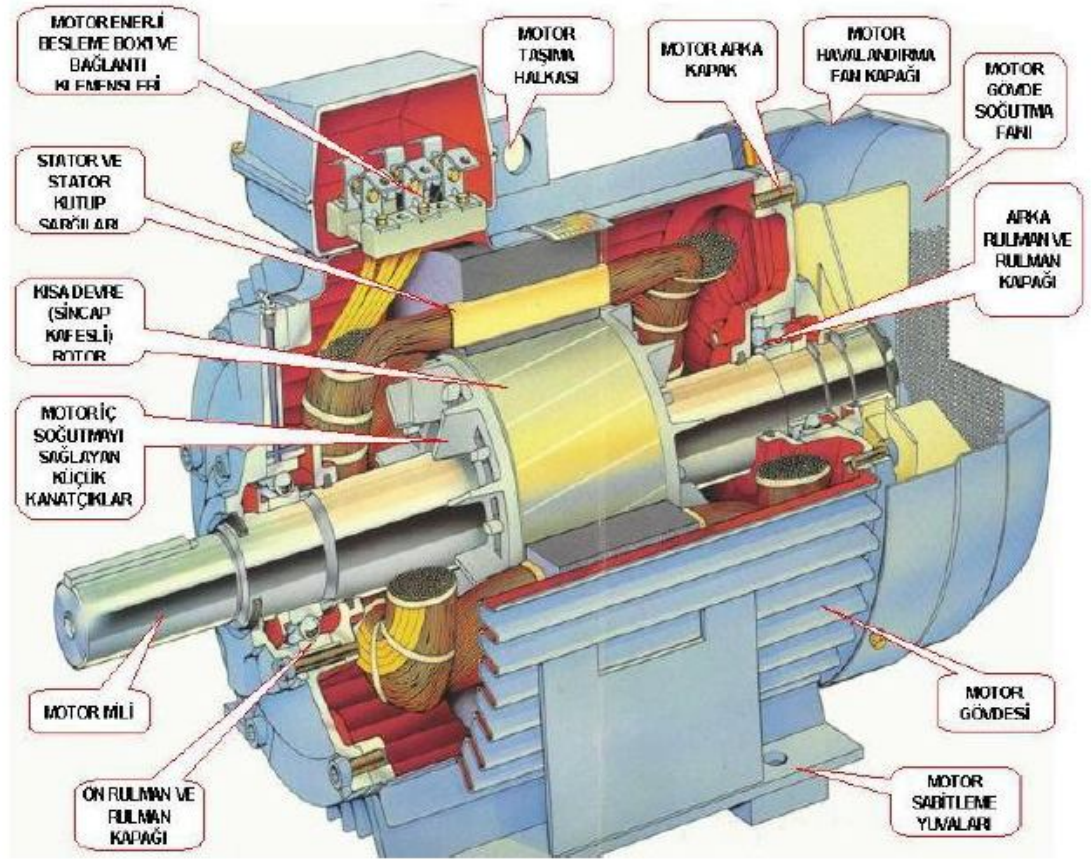
No	Kalite Kavramı	IEC 61000-4-30, IEC 61000-4-7 ve IEC 61000-4-15 standartlarına göre düşük, orta, yüksek gerilim değerleri
1	Güç frekansı	AG, YG: 10 sn süren ölçümlerin ortalama değeri $\pm \%1$ (49,5-50,5 Hz) haftanın 99,95’i için - $\%6$ / + $\%4$ (47-52 Hz) haftanın %100 ‘ü için
2	Gerilim şiddeti değişiklikleri	AG: $\pm \% 10$ haftanın %95’i için (10 dk rms değerlerinin ortalaması) YG: $\pm \% 5$
3	Besleme gerilimi düşümleri	Çoğunluk: süre <1 sn ve derinlik <%60(Yük anahtarlama sonucu lokal sınırlı azalmalar) AG:%10-50 YG:%10-15
4	Besleme gerilimi kısa kesintiler	AG, YG (3 dk’ya kadar) senede %70’inin süresi 1<s
5	Besleme gerilimi uzun kesintiler	AG, YG (3 dk’dan uzun) senede %70’inin süresi 1<s
6	Geçici, güç frekansı aşırı gerilimleri	AG:<1.5 kV rms YG: 1.7 Uc (katı ve toprak empedansı) 2.0 Uc (topraklamasız ve rezont toprak)
7	Gerilim Dengesizliği	< % 2
8	Harmonik gerilim	AG : 3. Harmonik % 5 5.Harmonik % 6 7.Harmonik % 5 9.Harmonik % 1,5 11.Harmonik % 3.5 13.Harmonik % 3 15.Harmonik % 0.3 17.Harmonik % 2 THD< % 8 YG: Her bir harmonik için gerilim bozulması < % 1 THD< % 1.5
9	Harmonik arası gerilim	AG, YG : % 0.2

#### 3.5. Asenkron Motorların Yapısı

Asenkron makineler basit ve az bakım gerektirmeleri nedeniyle sanayide yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle mikro-elektronik teknolojisinin yol açtığı gerek güç elektroniğinde kullanılan elemanların çeşitlilik ve güçleri, gerekse mikroişlemci ve dijital isleyiciler (DSP) alanındaki gelişmeler bu makinelerin hız kontrol sistemlerindeki kullanımını daha da yaygınlaştırmıştır (Sarıoğlu, 2003).

Temelleri Nicola Tesla'nın çalışmalarına dayanan asenkron motorlar, teknolojinin gelişmesi ile birlikte daha küçük hacimli ve daha yüksek güçlü olarak imal edilmeye devam etmiştir. Örnek vermek gerekirse 1897 yılının teknolojisi ile üretilen bir motor 5.5 kW gücünde iken 1976 yılına gelindiğinde 73.6 kW gücünde bir motor aynı hacme sahip olarak üretilebilmiştir.

Asenkron motorlar stator ve rotor denen başlıca iki kısımdan oluşur. Stator motorun statik kısmı rotor ise motorun dinamik kısmıdır. Şekil 3.16. bir asenkron motorun yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3.16. Asenkron motorun temel yapısının görünümü

Asenkron makineler döner alan prensibine göre çalışırlar. Rotoru sabit mıknatıslı olduğu için senkron makinede olduğu gibi uyarma kaynağına gereksinimleri yoktur. Asenkron makinenin stator sargılarına üç faz uygulandığı zaman makinede döner alan oluşur. Oluşan döner alan hızına senkron hız ( $n_s$ ) denir.

$$n_s = 60 \times f_s / p \quad (3.13)$$

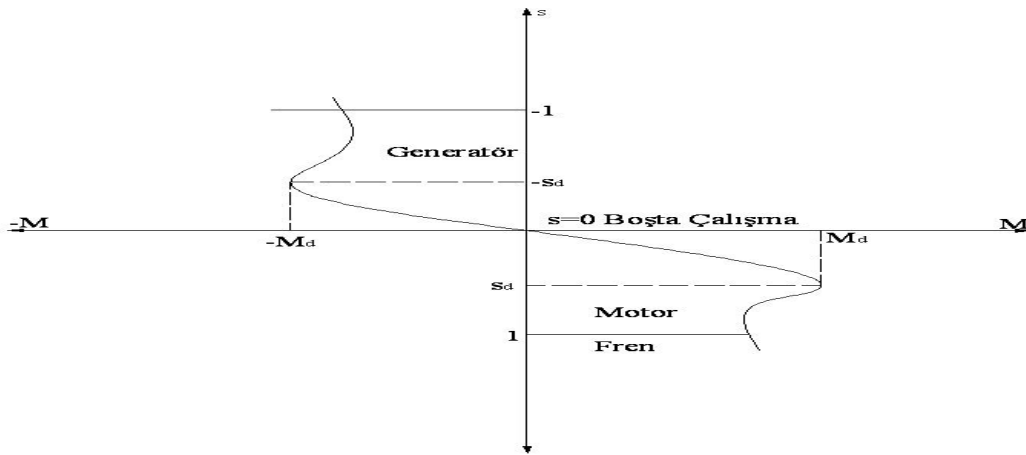
### 3. MATERYAL VE METOT

Eşitlik 3.13'de  $f_s$  motorun senkron hızına özdeş olan frekans,  $p$  ise kutup çifti sayısıdır. Döner alanın rotor iletkenlerini kesmesiyle Faraday yasasına göre gerilim endüklenir. Endüklenen gerilimle birlikte rotorda akım akışı meydana gelir. Biot-Savart yasasına göre manyetik alan içerisinde iletkende akım akması sonucu iletkene bir kuvvet etki eder. İletkene kuvvet etki etmesiyle beraber dönme momenti üretilmiş olur. Rotor hızı ile senkron hız arasındaki farkın senkron hıza oranına kayma( $s$ ) denir.

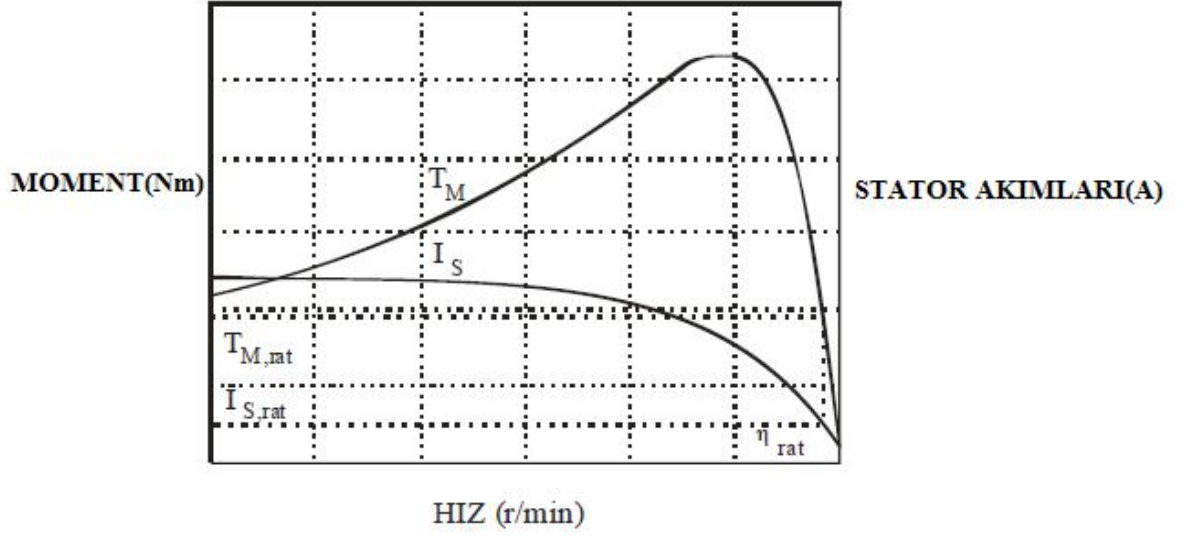
Asenkron makine ilk kalkışa başladığı esnada ( $s=1$ ) sekonderi kısa devre olan bir transformator gibi çalışır. Boşta çalışma modunda makine senkron hıza ulaşmıştır. Dolayısıyla rotor sargısındaki gerilim sıfır olacaktır. Bu durumda makine güç üretmez. Harekete başladıktan sonra, sürekli çalışma noktasına ulaşmaya kadar ve ulaştığında, çalışma şekli motor çalışma olarak nitelendirilir. Asenkron makine ancak dışarıdan bir tahrik makinası ile döndürüldüğünde senkron hızın üzerine çıkar. Makine senkron hızı geçtiği zaman kayma negatif değer olacaktır ve generatör olarak çalışacaktır.

Motor şeklinde çalışan bir makinenin döner alanı saat yönünde ve üç faz akımları  $a, b, c$  sırası ile bağlı olduğu kabul edilsin. Üç faz akımının iki fazının yeri değiştirilecek olursa döner alanın yönü değişir. Dolayısıyla rotor da döner alana uyarak yavaşlamaya başlar. Böylece rotorun devir yönü değişir. Rotor hızı senkron hızın üzerine çıkarsa kayma değeri birin üzerine çıkar ve motor fren çalışma şekline geçer. Asenkron makinenin dört bölgeli çalışması Şekil 3.17. gösterilmektedir.

Asenkron motorun hıza bağlı moment ve stator akımlarının değişimi şekil 3.18. gösterilmiştir.



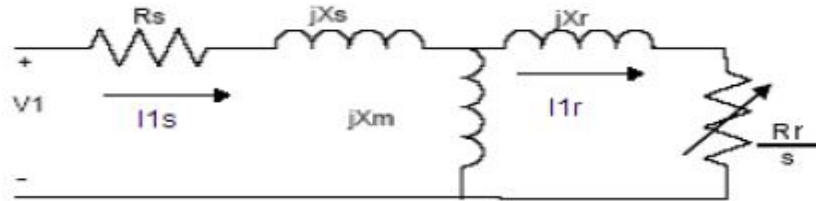
Şekil 3.17. Asenkron Makinenin Dört Bölgeli Çalışması



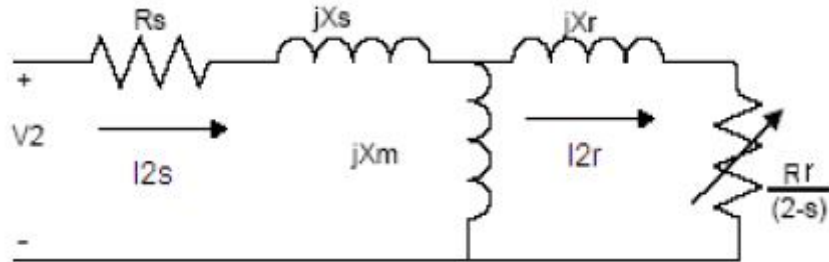
Şekil 3.18. Moment ve Stator Akımının Hıza Bağlı Değişimi

### 3.5.1. Asenkron Motorun Pozitif ve Negatif Eşdeğer Devreleri

Makineye uygulanan gerilim, dengesiz olduğunda makinenin analizi dengeli durumda olduğu kadar basit değildir. Bu durumda analiz yapmak için simetrik bileşenler metodu kullanılabilir. Dolayısıyla simetrik bileşenler eşdeğer devresine ihtiyaç vardır. Dengeli bir sistemde pozitif dizi gerilimi faz gerilimlerine eşittir. Fazlar arasında gerilim dengesizliği olduğunda negatif dizi gerilimi oluşur. Pozitif dizi devresinde rotor direnci  $R_r/s$  olarak gösterilmektedir. Negatif dizi devresinde  $R_r/2-s$  olarak gösterilmesinin sebebi negatif dizi akımı ters manyetik alan oluşturmasıdır. Şekil 3.19. ve Şekil 3.20.'de gösterilen pozitif ve negatif eşdeğer devreleri eşdeğer devreleri kullanılır.



Şekil 3.19. Pozitif Dizi Devresi



Şekil 3.20. Negatif Dizi Devresi

### 3. MATERYAL VE METOT

Pozitif ve negatif dizi gerilimleri simetrik bileşenler matrisi yardımıyla bulunur.

$$V_1 = 1/3 (V_a + aV_b + a^2V_c) \quad (3.14)$$

$$V_2 = 1/3 (V_a + a^2V_b + aV_c) \quad (3.15)$$

Pozitif ve negatif dizi gerilimleri kullanılarak dizi gerilimleri, eşdeğer empedanslar ve akımlar hesaplanabilir.

$$Z_1 = (i \cdot X_m \cdot (i \cdot X_r + R_r/s) / (i \cdot X_m + i \cdot X_r + R_r/s) + (R_s + i \cdot X_s) \quad (3.16)$$

$Z_1$  pozitif dizi devresi eşdeğer empedansıdır. Şekil de bakıldığında rotor direnci ile rotor reaktansı seri olup miknatıslama reaktansına paraleldir. Bu durumda oluşan eşdeğer empedans stator reaktansı ve stator direncine seridir.  $Z_2$  negatif dizi devresi eşdeğer empedansı da aynı şekilde negatif dizi devresi yardımıyla bulunur.

$$Z_2 = (i \cdot X_m \cdot (i \cdot X_r + R_r/2-s) / (i \cdot X_m + i \cdot X_r + R_r/2-s) + (R_s + i \cdot X_s) \quad (3.17)$$

$$I_{1s} = V_1 / Z_1 \quad (3.18)$$

$$I_{2s} = V_2 / Z_2 \quad (3.19)$$

$I_{1s}$  pozitif dizi devresinden geçen stator akımı,  $I_{2s}$  ise negatif dizi devresinden geçen stator akımıdır. Faz akımları hesaplanırken sıfır dizi devresi akımı sıfır kabul edilerek simetrik bileşenler matrisi kullanılır.

$$I_a = I_{1s} + I_{2s} \quad (3.20)$$

$$I_b = a^2 \cdot I_{1s} + a \cdot I_{2s} \quad (3.21)$$

$$I_c = a \cdot I_{1s} + a^2 \cdot I_{2s} \quad (3.22)$$

Dengeli bir sistemde nötrden akım akmaz. Sistem dengesiz çalışmaya başladığında nötr noktasından akım akmaya başlar. Dengesizlik durumunda nötr akımı sıfır dizi devresi akımının üç katına eşittir.

$$I_n = I_a + I_b + I_c = 3I_0 \quad (3.23)$$

$$P_1 = 3 [ |I_{1r}|^2 (1-s/s) \cdot R_r ] \quad (3.24)$$

$$P_2 = 3 [ |I_{2r}|^2 (s-1/2-s) \cdot R_r ] \quad (3.25)$$

Çıkış gücü pozitif dizi devresi gücü ( $P_1$ ) ile negatif dizi devresi gücünün ( $P_2$ ) toplamına eşittir.

$$P_{out} = P_1 + P_2 \quad (3.26)$$

$$P_{in} = Re. [ (V_1 \cdot I_{1s} + V_2 \cdot I_{2s}) ] \quad (3.27)$$

$$n = P_{out} / P_{in} \quad (3.28)$$

Giriş gücü faz akımları cinsinden ya da dizi devresi akımları cinsinden hesaplanabilir. Verim çıkış gücünün giriş gücüne oranıdır.

Gerilimler arasında dengesizlik olduğunda motorun güç, moment ve akım değerleri negatif dizi devresi bileşenlerine bağlı olarak değişir. Motorun akım, güç ve moment hesabı yapılırken negatif dizi bileşenlerinin hesaba katılması gereklidir.

### 3.6. Pompalar

Bir sıvının istenilen bir yere iletimini sağlayan veya başka bir deyişle sıvıyı transfer eden cihaz, düzenek veya sistemlere "*Pompa*" denir. Pompanın yapacağı iş; transfer edeceği sıvıyı taşımak için gerekli olan potansiyel ve kinetik enerjiyi sağlamaktır.

Günümüzde pompalar, genellikle bir elektrik motorundan hareket alarak çalışırlar. Elektrik motoru dışında; dizel motor, basınçlı buhar, basınçlı hava ve basınçlı yağ yardımı ile oluşturulan ekipmanlar da tahrik elemanı olarak kullanılabilirler. Pompalar ile elektrik motorlarının devir sayısı aynı olup motordan hareketi alan pompanın gücü, kayıplardan dolayı hareketi veren motordan bir miktar daha küçüktür. Hem sıvı, hem de gaz olan maddeler akışkan olarak adlandırılırsa da pompaların anlatılmasında akışkan denildiğinde sıvı maddeler anlaşılmalıdır.

Pompalar, sıvı hareketi veya akış üreten cihazlardır. Diğer bir ifadeyle pompa, sistemde normal doğrultudaki kayma gerilmesinin bir fonksiyonu olan basıncın oluşması için gerekli akışı sağlamaktadır. Örneğin sisteme (yüke) bağlanmamış bir pompanın çıkışındaki sıvının basıncı sıfırdır. Oysa sisteme bağlanmış bir pompanın basıncı yükün direncini aşacak kadar yükselecektir.

#### 3.6.1. Santrifüj Pompalar

Tarihçesi incelendiğinde elde edilen bilgiler bu şekildedir; Brezilyalı asker ve aynı zamanda bilim tarihçisi olan Reti' ye göre santrifüj pompa olarak ifade edilebilecek ilk makinenin bahsine 1475 yılının ilk zamanlarında Rönesans Çağı Mühendislerinden İtalyan Francesco ve Giorgio Martini' nin bilimsel bir tezinde rastlanmaktadır. Gerçek santrifüj pompalara 1600' lü yılların sonlarına, Denis Papin düz çarklı bir tane yapana dek rastlanmamıştır. Açılı çark ilk olarak 1851 yılında İngiliz mucit John Appold tarafından bulunmuştur.

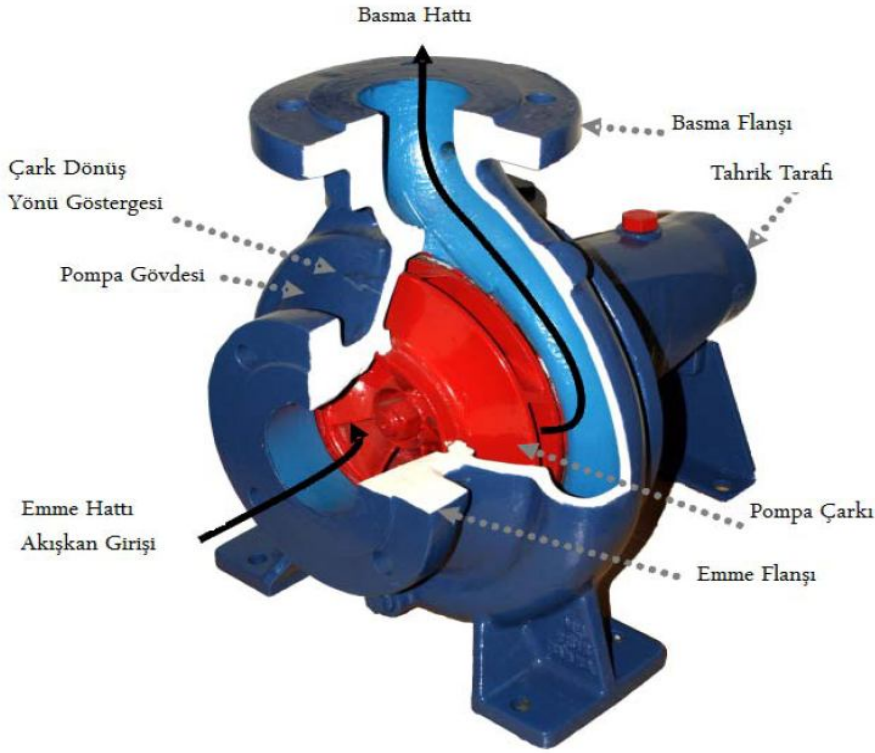
Bir gövde içerisinde yer alan kanatlı bir pervanede (çark) oluşan bu pompalarda sıvı bir girişten çarkın ortasına itilir. Basınç sıvının çarkla döndürülmesiyle oluşur. Santrifüj pompalar içinde, sıvının daha düşük seviyeden yüksek seviyeye kaldırılmasına olanak veren bir dinamik basınç geliştiren pompalar roto dinamik tip pompalar olarak sınıflandırılırlar. Santrifüj pompalar, dönen bir çark ve pompa gövdesi şeklinde iki ana parçadan oluşur. Gövdenin emme ve basma tarafları vardır.

Santrifüj pompalar birçok endüstriyel alanda kullanılmaktadır. Kullanım yerlerinde tek bir pompa, ikili veya çoklu olarak tesis edilebilirler. İkili veya çoklu kullanım durumlarında, seri ya da paralel bağlı olarak kullanılabilirler.

Santrifüj pompalarda da, tüm turbo makinalarda olduğu gibi, sabit eksen etrafında bir açılma hızla dönen ve çark adı verilen bir ana eleman vardır. En basit şekliyle merkezkaç çark,

### 3. MATERYAL VE METOT

birbirine paralel iki diskin arasına merkezciil (radyal) kanatlar konarak elde edilir. Aşağıda Şekil 3.21. santfirij pompanın görünümü gösterilmiştir.



Şekil 3.21. Tek kademeli bir santrifüj pompanın kesit resmi ve elemanlarının gösterimi

#### 3.6.2. Santfirüj Pompa Çeşitleri

Santfirüj pompaların çeşitleri ve farklı konumları vardır. Bunlar kademeli pompalar, yatay milli kademeli pompalar, düşey milli kademeli pompalar diye üçe ayrılır. Çift emişli, Ç.T.P. tip norm pompalar, vorteks tip tıkanmayan pompalar, dalgıç pompalar, derin kuyu pompaları, kendine emişli pompalar, sirkülasyon pompaları, salyangoz tip norm pompaları santfirüj pompa çeşitleridir. Bu pompa çeşitleri de kendi içlerinde bağlantı şekillerine, kullandıkları çark tiplerine, kademelerine, bastıkları sıvı çeşitlerine ve konumlarına göre farklı tiplere ayrılır. Tezin içerisinde daha geniş bilgi, derin kuyu ve dalgıç pompalarla alakalı olacaktır.

##### 3.6.2.1. Sondaj (Kuyu) Pompaları

İki tip sondaj pompası bulunur: Dalgıç motora sahip dalgıç tip sondaj pompası ve pompaya uzun bir mil aracılığıyla bağlanmış kuru motorlu derin kuyu pompası. Bu tip pompalar genellikle su temininde ve sulama işlerinde kullanılırlar. Her iki pompa tipi de, derin ve dar kuyulara monte edilmeye uygun yapılmıştır ve dolayısıyla diğer pompa tiplerine nazaran daha uzun olmalarını sağlayan küçültülmüş çapa sahiptirler. Pompa tek kademeli ve çok kademeli olabilmektedir.



### 3.6.2.2. Yarı Dalgıç Pompalar

Yarı dalgıç pompa, pompa kısmının sıvı içerisine daldırıldığı ve motorun kuru kaldığı tip pompalardır. Yarı dalgıç pompalar genellikle, tank veya konteynerlerin üzerine yerleştirilirler. Bu tip pompalar; öğütme makineleri, talaşlı üretim tezgahları, endüstriyel filtrasyon makineleri gibi endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadırlar.

### 3.6.2.3. Dalgıç Pompalar

Evsel ve endüstriyel ham atık suların basılmasında, atık su arıtma tesislerinde, yağmur sularının basılmasında drenaj , tahliye ve özellikle bu tezde konu edilen tarımsal sulamada kullanılmaktadır. Dalgıç pompaların tamamı monoblok tipi yani tek kademeli dalgıç tip pompalardır. Bu pompalar motorlar ile birlikte tamamen suyu gömülü şekilde çalışırlar. Bu tip pompaları su üzerinde 5 dakikadan fazla çalışması sakıncalıdır çünkü gövde soğutması su altında olacak şekilde tasarlanmıştır. Dalgıç pompalar A ve C tipi diye ikiye ayrılır. A tipi pompaların su gövde içerisinden geçer ve gövdeyi her zaman soğutur. Bu pompaların her zaman su altında olması gerekmez . Her şartta ve her türlü suyu basmakta kullanılırlar. C tipi pompa ise daima su altında olacak şekilde çalışmaktadır. Çünkü bastığı su pompanın gövdesini soğutmaz, suyun çıkışı hemen salyangoz üzerindedir. Bu pompalar su altında çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Aşağıda Şekil 3.22’de çeşitli dalgıç pompaların genel görünümü Şekil 3.23’ de iç yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.22. Dalgıç pompalar genel görünümü





Dalgıç pompaların avantajları

- Yüksek Verimlilik
- Yüksek Kapasite
- Çok az Bakım Gerekliği
- Ekonomik Yapısı

olarak sıralanabilir.

### 3.6.3. Santfirüj Pompaların Temel Kavramları

Temel olarak bir pompalama işleminde enerji tüketim miktarı transfer edilmek istenen debi miktarı, akışkanın transfer edileceği yükseklik, boru hattının sürtünme karakteristiği ile bağlantılıdır.

#### 3.6.3.1. Debi (Q)

Pompanın debisi, birim zamanda pompalanan kütleli veya hacimsel su miktarıdır. Büyüklüğü, pompanın geometrisi ve devir sayısına bağlıdır. Metrik sistemde, m<sup>3</sup>/s, l /s, l /min, t/h birimleri kullanılır. Pratikte, sulama pompaları için en fazla l /s ve t/h , hidrolik pompaları için ise l /min birimleri tercih edilmektedir. Bunun nedeni, rakamsal büyüklüğünün daha basit ve kolay ifade edilebilmesidir.

#### 3.6.3.2. Toplam Dinamik Yükseklik (H)

Toplam dinamik yükseklik (TDY), pompa çarkı vasıtasıyla, suyun birim ağırlığının yaptığı iş (Nm/N). Pompanın giriş ve çıkışı arasındaki suyun taşıdığı enerjideki artış, toplam dinamik yükseklikle belirtilir. SI birim sisteminde basınç birimi ise kPa olarak kullanılmaktadır. Basıncın su sütunu yüksekliğine çevrilmesi ile TDY in birimi mSS yada pratikte kısaca m olarak ifade edilmektedir. Toplam dinamik yükseklik H diye de ifade edilmektedir ve aşağıdaki gibi belirlenir:

$H=h+TDP+ PA$  formülü ile bulunur.

h-basılacak sıvının serbest sıvı yüzeyi ile basıldığı yer arasındaki statik yükseklik farkıdır. TDP-tüm basınç kayıplarının toplamıdır. Bu toplam basınç farkı emiş ve basma hattındaki borulardaki sürtünme kayıpları, tüm vana, armatür ve fittingslerin sürtünme kayıplarından oluşur. PA -akma basıncı, basma hattının sonunda sıvının vana, armatür veya borudan akış basıncıdır.

#### 3.6.3.3. Emmedeki Net Pozitif Yükü (ENPY)

Emmedeki net pozitif yük (ENPY) terimi, pompaların emme koşullarının incelenmesinde kullanılır. Kavitasyonu önlemek için, emme hattındaki herhangi bir noktada mutlak basınç değeri, suyun sıcaklığına bağlı buhar basıncı değerinin altına düşmemelidir. Pompanın emme hattında suyu pompa çarkına taşıyan toplam yararlanabilir enerji olarak

### 3. MATERYAL VE METOT

tanımlanabilen ENPY, mutlak basınç olarak belirtilen genel emme yüksekliği ile buhar basıncının farkıdır. ENPY, yabancı literatürde, NPSH harfleri ile simgelenmiş olup, açılımı “ *Net Positive Suction Head*” dir. Su yüksekliği cinsinden ifade edilmekte ve m birimi ile kullanılmaktadır.

#### 3.6.3.4. Pompa Mil Gücü (Pm)

Pompalarda mil gücü, pompalanan suyun debisi, toplam dinamik yükseklik ve pompa veriminin bir fonksiyonudur. Pompanın verdiği güç, su gücü yada hidrolik gücün belirlenebilmesi için, pompalanan suyun debisi ve toplam dinamik yüksekliği bilinmelidir.

Hidrolik güç (PH), şu eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$PH (kW) = Q(l/s) * TDY(m) * p(kg/l) / 102 \quad (3.29)$$

$$PH (BG) = Q(l/s) * TDY(m) * p(kg/l) / 75 \quad (3.30)$$

Herhangi bir mekanik sistemde hesaba katılması gereken, önlenemeyen kayıplar her zaman vardır. Bunun sonucunda belirlenen hidrolik gücü sağlamak için, her zaman daha fazla miktarda güç, pompa miline aktarılması gerekmektedir. Pompa miline aktarılması gereken güç yani mekanik güç (PM), hidrolik güç (PH) ve pompa verimi ( $\eta_p$ ) belirler. Şu eşitlik ile hesaplanır.

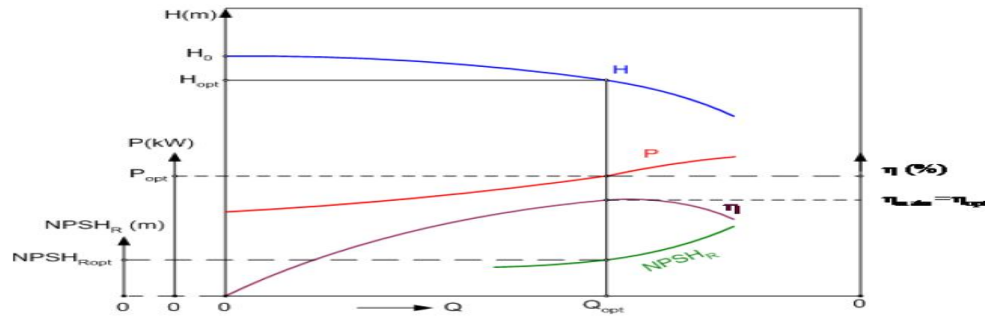
$$PM (kW) = PH (kW) / \eta_p (\%) \quad (3.31)$$

Pompanın işletim noktasındaki debisi  $Q[l/sn]$ , basma yüksekliği  $TDY[metre]$ , akışkanın yoğunluğu  $p[kg/dm^3]$  birimleriyle ve pompa verimi  $n$  ise ilgili pompa eğrisinden alınarak formülde yerine konulduğunda , gerekli olan asgari motor gücü  $P_H[kW]$  olarak bulunur. Kullanılan akışkan su olduğunda  $p=1[kg/dm^3]$  kabul edilerek dikkate alınmaz.

Pompa tarafından sağlanacak olan basma yüksekliği ( $H$ ) statik yükseklik ile sürtünmeden ve vana, dirsek vb. bağlantı elemanlarından kaynaklanacak kayıpların toplamından oluşmaktadır. Güç çoğunlukla kW ( $10^3 W$ ) veya beygirgücü HP (  $kW \times 0,746$  ) ile ifade edilir. Pompa verimi için  $\eta$  değeri sadece pompa için olabildiği gibi pompa + motor sistemi için de olabilmektedir. Sonuç olarak enerji tüketimi güç ihtiyacının pompanın çalışma süresi ile çarpımı sonucunda bulunabilmektedir.

#### 3.6.4. Santrifüj Pompaların Karakteristik Eğrileri

Bir pompanın sabit devirde ve 15-20 °C’ de su basması halinde basma yüksekliği  $H$ , pompa mil gücü ( $P$ ), pompa verimi ( $\eta$ ) ve gerekli emme net pozitif yükü (NPSHR) değerlerinin debiye ( $Q$ ) bağlı olarak değişimini gösteren eğrilere "*pompa karakteristik eğrileri*" adı verilmektedir. Bu değerlerden verim dışında kalanların hepsi deneysel olarak ölçülür, daha sonra verim de diğerlerine bağlı olarak hesaplanır. Bir pompanın karakteristik eğrilerine örnek Şekil 3.25’ de görülmektedir.



Şekil 3.25. Bir pompanın karakteristik eğrileri

Herhangi bir sistemin debi ve basınç ihtiyaçları sistem eğrisi denen bir grafik yardımıyla açıklanabilir. Pompa üreticileri kullanıcıyla beraber bu ihtiyaçları en iyi karşılayacak şekilde sistem eğrileri ve pompa eğrilerini eşleştirmeye çalışır. Pompa sistemleri, pompa eğrileri ile sistem direnç eğrilerinin kesiştiği yerlerde çalışırlar. Bu iki eğrinin kesiştiği nokta hem pompanın, hem de sürecin operasyon noktasıdır. Buna rağmen bir operasyon noktası için istenen bütün operasyon şartlarını karşılamak mümkün değildir. (Karassik vd. 2003)

Genellikle pompa devir sayısının, fan çapının veya sistemin karakteristiğinin değiştirilmesiyle çalışma noktası değişebilir. Sistemin karakteristik eğrisinin değiştirilmesi şu yöntemlerle yapılır. Eğer basılan sıvı viskozitesi su veya benzeri değerde ise sistemin karakteristiğini değiştirmenin pratik yolu boru hattının basınç kayıplarını artırmak veya azaltmaktır. Bu boru çapını değiştirerek veya vanayı açıp kapatma şeklinde olur. Diğer bir yolu ise statik kısmının değiştirilmesidir. Bu basma hattının basıncı veya su seviyesinin artırılması veya azaltılması şeklinde olur.

### 3.6.5. Benzeşim Kanunları

Santrifuj pompa, fan ve kompresörlerde hızın akış, basınç ve güç sarfiyatını nasıl etkilediğini benzeşim (afinite) kanunları tanımlar.

Debi (Q); çark çapı (D) veya devir sayısı (n) oranına göre doğru orantılı olarak değişir. Basma yüksekliği (H); çark çapı (D) veya devir sayısı (n) oranının karesine göre doğru orantılı olarak değişir. Güç (P); çark çap (D) veya devir sayısı (n) oranının küpüne göre doğru orantılı olarak değişir.

Çizelge 3.4. Afinite kanunlarının pompa parametrelerine uygulanması

<b>Akış (Debi)</b>	<b>Debi<sub>2</sub>=Debi<sub>1</sub>*(n<sub>2</sub>/n<sub>1</sub>)</b>
<b>Basınç</b>	<b>Basınç<sub>2</sub>=Basınç<sub>1</sub>*(n<sub>2</sub>/n<sub>1</sub>)<sup>2</sup></b>
<b>Güç</b>	<b>Güç<sub>2</sub>=Güç<sub>1</sub>*(n<sub>2</sub>/n<sub>1</sub>)<sup>3</sup></b>

$$n_2 / n_1 = Q_2 / Q_1 \quad [n_2 / n_1]^2 = H_2 / H_1 \quad [n_2 / n_1]^3 = P_2 / P_1 \quad (3.32)$$

Hız kapasiteyi azaltmak için kullanıldığında aynı zamanda basınç ve akış da azaltılır, böylece maksimum enerji tasarrufu sağlanır.

#### 3.7. Asenkron Motor Sürücü Sistemleri

Asenkron motor doğrudan şebeke geriliminden beslendiğinde yaklaşık olarak sabit hızda çalışır. Buna karşılık güç elektroniği çeviricileriyle asenkron motorun hızını değiştirmek mümkün olur. Asenkron motor kontrol uygulamalarında değişken hızlı sürüş sistemlerinin önemli bir uygulaması fanların, kompresörlerin, pompaların, hava üfleyicilerinin ve benzerlerinin yer aldığı süreç kontrol uygulamalarıdır.

Bu bölümde, çabuk ve hassas hız kontrol dinamiği gerektirmeyen yerlerde asenkron motor ile hız kontrolünün nasıl yapılacağı ele alınacaktır. Asenkron motor sürücüleri çoğunlukla bu şekilde kullanılmaktadır.

Merkezkaç pompayı süren basit bir asenkron motor örneğini göz önüne alalım. Burada motor ve pompa yaklaşık sabit hızda çalışmaktadır. Akış hızını azaltmak için akış kontrolü yapan valf oransal olarak kapatılır. Bu durum, akış kontrolü yapan valfta enerji kaybına neden olur.

Akış hızını düşürmek için motor hızı düşürüldüğünde, giriş gücü önemli ölçüde azalır. Güç ihtiyacındaki bu azaltma, merkezkaç pompadaki tanımlar kullanılarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\text{Moment} \approx k_1 (\text{hız})^2 \quad (3.33)$$

ve böylece pompanın motordan beklediği güç ihtiyacı

$$\text{Güç} \approx k_2 (\text{hız})^3 \quad (3.34)$$

dır. Burada  $k_1$  ve  $k_2$  sabit sayılardır.

Motor ve pompa enerji sabitleri, hız ve yük değişimlerinde sabit varsayılırsa asenkron makinanın giriş gücü ihtiyacı hızın üçüncü kuvveti ile değişir. Böylece akış kontrolünü sağlamak için valf ile değişken hızla sürülen pompa karşılaştırıldığında, akışkan hızının uzun süreler için düşük olduğu durumlarda enerji ihtiyacı önemli ölçüde azaltılabilir.

##### 3.7.1. Asenkron Motorlarda Hız Kontrol Yöntemleri

Alternatif akım motorlarının hız ifadesinin elde edilmesinde kayma ifadesinden faydalanır. Daha önce de ifade edilen kayma ifadesi  $s = (n_s - n_r) / n_s$  'dir. Bu ifadeden anlaşılacağı gibi alternatif akım makinesinin rotor hızı  $n_r = n_s(1-s)$  şeklinde yazılabilir. Öte yandan  $n_s$  döner alan hızının (senkron hız);  $n_s = 60f_s/p$  olduğu göz önüne alınacak olursa, alternatif akım motorları için şu ifade yazılabilir.

$$n_r = 60 f_s (1-s) / p \quad (3.35)$$

Yukarıda yazılan hız ifadesine göre alternatif akım motorlarının hızı; alternatif akım motorunun çift kutup sayısına ( $p$ ), alternatif motorunun kaymasına ( $s$ ) ve alternatif akım motoruna uygulanan gerilim frekansına ( $f_s$ ) bağlı olarak değişir.

Endüstride asenkron motorlar için  $p, s$  ve  $f_s$ 'nin değişimine göre bir çok hız kontrol yöntemi geliştirilmiştir. Bazı metotlarla kademeli hız kontrolü sağlanırken ,bazıları ile kullanılan tekniğe bağlı olarak sürekli veya kademeli bir hız kontrolü yapılabilir (Fitzgerald,1992).Hız kontrol metotları şu şekilde sınıflandırmak mümkündür.

- Kaymanın,  $s$ , değiştirilmesiyle
- Statora uygulanan gerilimin etkin değerinin değiştirilmesi
- Kutup çifti sayısının,  $p$  , değiştirilmesiyle
- Stator frekansının,  $f_s$ , değiştirilmesiyle

### 3.7.2. Asenkron Motorlarda Yapılan Hız Kontrol Metotları

Güç elektroniği ve dijital işaret işlemedeki gelişmeler, birçok uygulamada asenkron motorların kullanım eğilimlerini arttırmıştır. Asenkron motor, stator olukları içerisinde sargıların uyarılması ile temel olarak AC motorun yapısıdır öyle ki stator akımları tarafından oluşturulan akı yaklaşık olarak sinüzoidaldir. Gerçekleşecek uygulama için özellikle önemli olan, başlıca sorunlara çözüm getiren yöntemlerin geliştirilmesi ile mümkün olmaktadır. Hem hız kontrolü yapmak, hem de akım ve momentin bu kontrol sırasında artmasını engellemek için motora uygulanan gerilimin frekans ve genliğinin birlikte değiştirilmesi gerekmektedir.

Günümüzde stator genlik ve frekansının değiştirilmesine dayalı yöntemler iki ana başlıkta toplanabilir.

- Skaler kontrol yöntemi
- Vektörel kontrol yöntemi

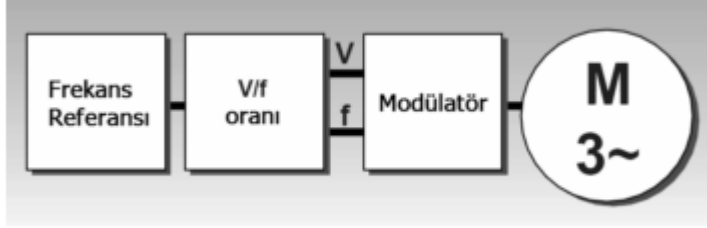
Her iki temel yöntemde de asıl nokta stator genlik ve frekansın oranının ayarlanmasıdır. Skalar kontrol en temel, basit ve geniş kullanım aralığına sahip bir yöntemdir. Bu yöntem, istenilen frekansa karşılık gelen gerilim miktarının önceden belirlenerek sisteme uygulanması esasına dayanır. Vektör kontrol yönteminde stator akımı iki bileşene ayrılır. Birinci bileşen akı üretiminden diğer bileşen moment üretiminden sorumlu olacaktır. Bunun anlamı stator genlik ve frekansının yanında gerilimin fazının da kontrol edilmesidir.

#### 3.7.2.1. Skaler(V/f) Kontrol Yöntemi

Skaler kontrol sürekli durumda akı , akım ve gerilim temel alınır.Akı, akım ve gerilim uzay vektörlerinin sadece genlik ve frekansları kontrol edilir. Bu yüzden skaler kontrol geçici durumlarda uzay vektörlerinin konumu kontrol etmez. Rotorun konumu ihmal edilir, yani hız ve konum bilgisi kullanılmaz. Bu kontrol tekniğinde kullanılan donanım ucuz ve kontrol yöntemi basittir.

### 3. MATERYAL VE METOT

V/f kontrol yöntemi olarak ta bilinen skaler kontrolü daha çok fan ve pompa gibi basit değişken hız uygulamaları kullanılmaktadır. Bu tip bir kontrol düşük maliyet ve basit bir tasarıma sahiptir. Ayrıca yüksek moment-hız aralığı içinde yararlıdır. Bu tip bir kontrol için blok diyagramı Şekil.3.26. de görülmektedir (ABB, 1999).



Şekil 3.26 Skaler (V/f) kontrol bloğu

Asenkron motor sürücülerinde V/f kontrolü ile sürülmesi; pozisyon sensörü kullanılmadan yapılan açık-çevrim kontrolüdür. Bu yöntem; motorda, sabit akıya sahip olmak için, çıkış frekansı ile çıkış gerilimi arasındaki oranı sabit tutar. Diğer kontrol tiplerinden farklı olarak, V/f kontrol metodu yüksek performans sayısal işleme gerektirmez.

Avantajlar:

- Düşük maliyet,
- Geri besleme aygıtı gerektirmemesi,
- Basit yapıda gerçekleştirilebilmesi.

Dezavantajlar:

- Moment kontrollü olmaması,
- Alan yönlendirmesi kullanılmaması,
- Motor konumunun bilinmemesi.

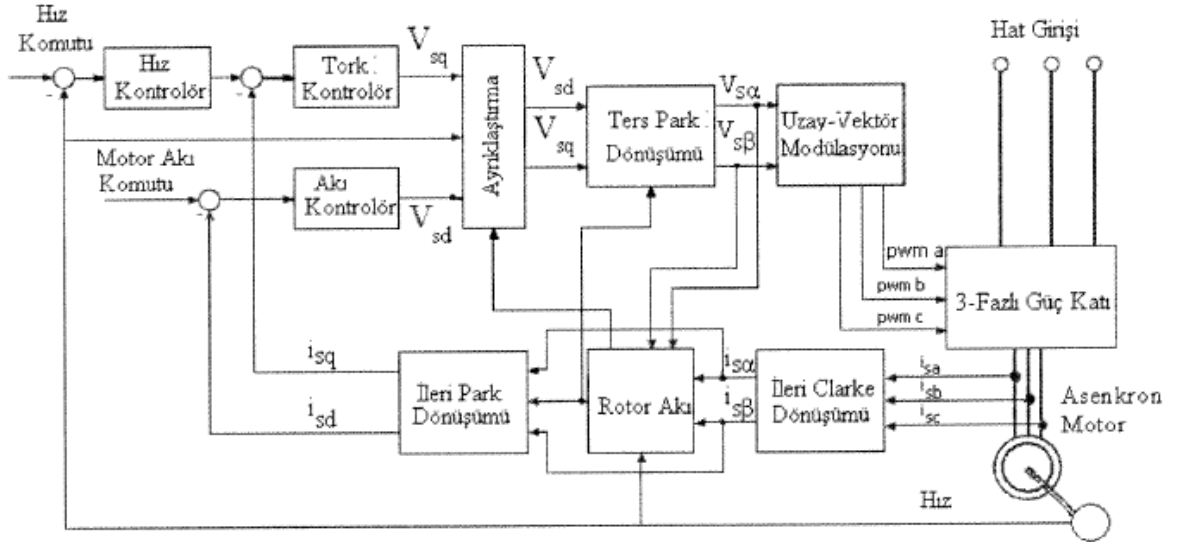
olarak sıralanabilir.

Skaler kontrol sürücüleri biraz düşük performans göstermektedir ancak uygulanması kolay bir yöntemdir. Endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak üstün performansı ile uygulamalarda daha çok talep gören vektör kontrol yöntemleri nedeniyle, önemi son zamanlarda azalmıştır. Asenkron motorların bilinen skaler kontrolünde, gerilim ve frekans temel kontrol değişkenleri olup, moment ve akı bu iki değişkenin fonksiyonlarıdır. Bu kuplaj etkisi asenkron motorun tepkisinin yavaşlamasına neden olur. Örneğin momentini artırmak için frekansı artırdığımızı düşünelim. Bu durumda ilk anda, gerilim sabit iken,  $V=4.44 f N$  y eşitliği gereğince, akıda ve dolayısı ile momentte azalma olacaktır. Uygulamada bu azalmayı telafi etmek amacı ile, V/f kontrolü diye bilinen yöntemle gerilim, uygun miktarda artırılmaktadır. Ancak bu işlem sırasında momentteki geçici azalma, motor tepkisinin gecikmesine neden olacaktır (Bose, 2001).

V/f oranının değiştirilmesi ile oldukça kolay bir şekilde gerçekleştirilen ve çoğu uygulamalarda yeterli olan hız kontrolü, özellikle moment kontrolünün önemli olduğu sarma, hadde vb. süreçlerde yeterli olamamaktadır. Moment değişiminin de kontrol edilmesi gereken hız kontrol sistemlerinde, stator genliği ve frekansın dışında, sinüzoidal bir işaretin tanımlanmasında kullanılan üçüncü büyüklüğün, yani gerilimin dalga şeklinin belli bir işarete göre faz farkının da kontrol edilmesi gerekmektedir (Sarioğlu, 2003).

### 3.7.2.2. Vektörel Kontrol Yöntemi

DA makinaları da uyarma akımı ve endüvi akımı olmak üzere iki akım vardır. Uyarma akımı akıyı oluştururken endüvi akımı da momenti oluşturmaktadır. Ayrıca, bu akımlar birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebilir. Asenkron makinede ise akıyı ve momenti ayrı ayrı kontrol edebilecek iki akım bileşeni mevcut değildir, sadece stator akımı vardır. Stator akımı ise sinüzoidal bir akım olması nedeni ile genlik, frekans ve faz bilgilerini içerir. Asenkron motorda kontrol edilebilmesi gereken büyüklük genliği, fazı ve frekansı ile tanımlanan vektörel büyüklüktür. Bu kontrol tekniğinde vektörel büyüklükler dikkate alındığı için literatürde vektör kontrolü olarak adlandırılır. (Sarioğlu vd., 2003). Diğer bir isimlendirme ile alan yönlendirme kontrol yöntemidir. Şekil 3.27. vektör kontrol blok diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 3.27. Vektör kontrole dayalı bir hız kontrol sisteminin blok diyagramı

Vektör kontrol sisteminde moment, akımla kontrol edildiğinden, bu sistemde sürücü olarak akım kaynaklı inverter kullanmak doğaldır. Ancak, kontrol sisteminin çıkısındaki akım komutu ile, üretilen akım karşılaştırılıp, aradaki hata bir PI kontrolünden geçirilerek gerilim komutu üretilebilir. Böylece gerilim kaynaklı bir inverter kullanımı da mümkün olur (Bayındır ve Narlı, 1992). İnverter sinyali için sinüs-üçgen karşılaştırmalı PWM veya Histerezis akım kontrollü PWM kullanılabilir.



### 3. MATERYAL VE METOT

---

Avantajlar:

- İyi moment cevabı,
- Hassas hız kontrolü,
- Sıfır hızda maksimum moment.

Dezavantajlar:

- Geribesleme gereklidir,
- V/f kontrolünden daha kompleks ve maliyetlidir.

Vektör kontrolü yöntemlerinin gelişmesiyle V/f kontrolündeki düşük alternatif akım (AC) motor performansının AC motorunun kendisinden kaynaklanmadığı ve motora gücün verilme veya kontrol edilme şekliyle kaynaklandığı anlaşılmıştır. (Vithayatil, 1995; Buja,Kazmierkowski, 2004).

#### 3.7.3. Asenkron Motorda Kullanılan Frekans Çeviricileri

Asenkron motorların kullanımının yaygınlaşması bu motorların kontrolünün kolaylaşmasına paralel olarak artmıştır.Günümüzde asenkron motorların kontrolü frekans çevirici cihazlarla yapılmaktadır. Frekans çevirici güç elektroniği devrelerini aşağıdaki başlıklar altında toplayabiliriz.

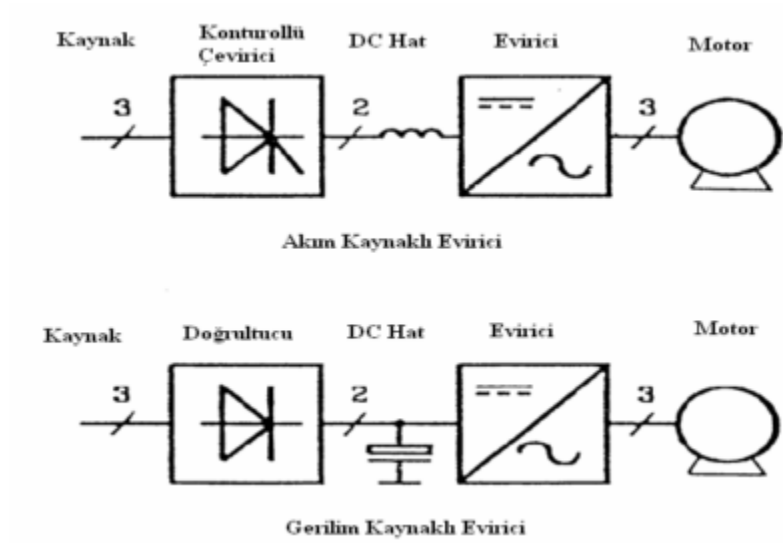
a) Akım Kaynaklı Frekans Çeviriciler

- 1- VCVF –Değişken Akım Değişken Frekans sağlayan frekans çeviriciler
- 2- PWM-Darbe Genişlik Modülasyonu kullanılan frekans çeviriciler

b) Gerilim kaynaklı Frekans çeviriciler

- 1- VVVF- Değişken Gerilim Değişken Frekans sağlayan frekans çeviriciler
- 2- PWM- Darbe Genişlik Modülasyonu kullanılan frekans çeviriciler

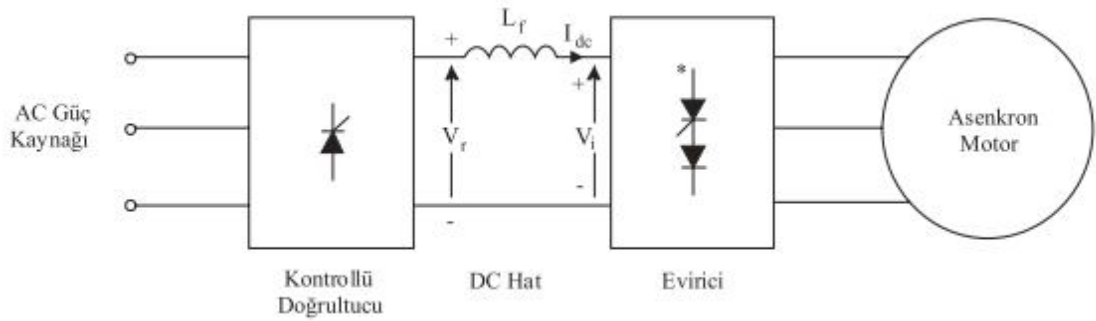
Akım kaynaklı ve gerilim kaynaklı frekans çeviricilerin güç şeması Şekil 3.28’ de verildiği gibidir.



Şekil 3.28. Akım Kaynaklı ve Gerilim Kaynaklı Frekans Çeviricilerin Güç Şeması

### 3.7.3.1. Akım Kaynaklı Frekans Çeviriciler

Akım kaynaklı frekans çevirici sistemde evirici kısmı büyük değerli bir endüktansın üzerinden geçen akımla beslenmektedir. Akımın genlik miktarı giriş kısmındaki kontrollü doğrultucu ile yapılırken evirici kısmı sadece frekansı ayarlamaktadır. Şekil 3.29. 'da verilen sistemde akım kaynaklı sürücü sistemi verilmiştir.



Şekil 3.29. Akım Kaynaklı PWM Frekans Çevirici

Akım kaynaklı sistemler daha çok büyük güçlü motorlar için kullanılmaktadır. Burada kontrol büyüklüğünün akım olması vektör kontrolün daha kolay olmasını sağlamasına rağmen, motorsuz çalışmaması ve şebekeden yüksek harmonikler çekebilmesi gibi durumlar sebebi ile günümüz hız kontrollerinde daha çok gerilim kaynaklı sistemler tercih edilmektedir. ( Sarıoğlu, 2003).

### 3.7.3.2. Gerilim Kaynaklı Frekans Çeviriciler

Gerilim kaynaklı frekans çevirici sistemlerinde evirici kısmını besleyen DC gerilimi sabit tutan büyük değerli kondansatörler vardır. Bu sistemlerde gerilimin genliği doğrultucu

### 3. MATERYAL VE METOT

kısımında kontrollü doğrultucu kullanılarak yapılabildiği gibi, sabit doğrultucu kullanılarak evirici kısmında gerilim ve frekans ayarı aynı anda yapılabilmektedir. Diğer taraftan giriş geriliminin sabit olması halinde, evirici kazancı değiştirilmek suretiyle değişken bir çıkış gerilimi elde edilebilir. Evirici kazancı; çıkıştaki AC gerilimin girişteki AC gerilime oranı olarak tarif edilebilir. Girişindeki DC gerilimin sabit olduğu bu tür eviricilerde gerilim kaynaklı evirici adı verilir (Gülgen, 1999).

Eviriciler; AC makinelerin sürülmesinde, ayarlı gerilim ve frekanslı güç kaynaklarında, kesintisiz güç kaynaklarında (UPS), endüksiyonla ısıtmada, ultrasonik dalga üretiminde, statik var generatörlerinde, aktif güç şebeke filtreleri ve buna benzer uygulama alanlarında yaygın olarak kullanılırlar.

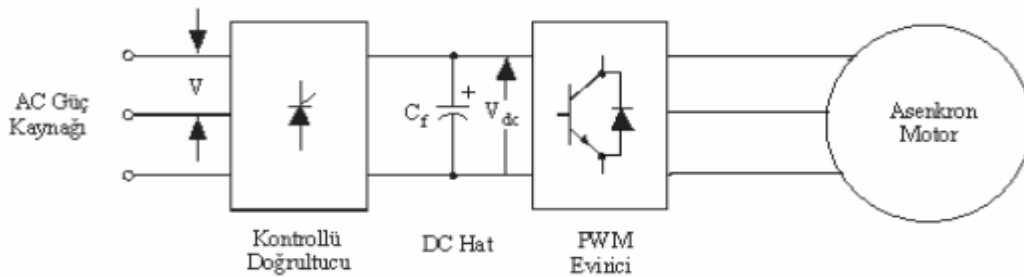
Gerilim kaynaklı frekans çevirici kare dalga ve darbe genişlik modülasyonu(pwm) olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır.

Kontrollü doğrultucu kullanılarak yapılan frekans çevirici işlemine kare dalga frekans çeviriciler de denir. Bu sistemde giriş katında kontrollü doğrultucu kullanıldığında  $\cos \Phi$  değeri büyük olacağından ve düşük devirlerde verim az olduğundan günümüz sürücü sistemlerinde tercih edilmemektedir.

Günümüz sürücü sistemlerinde motora uygulanacak  $120^\circ$  faz farklı gerilimin en kolay ve basit uygulama yöntemi olarak sabit doğrultuculu ve evirici kısmında frekans ve genliği ayarlanabilen PWM yöntemi kullanılmaktadır.

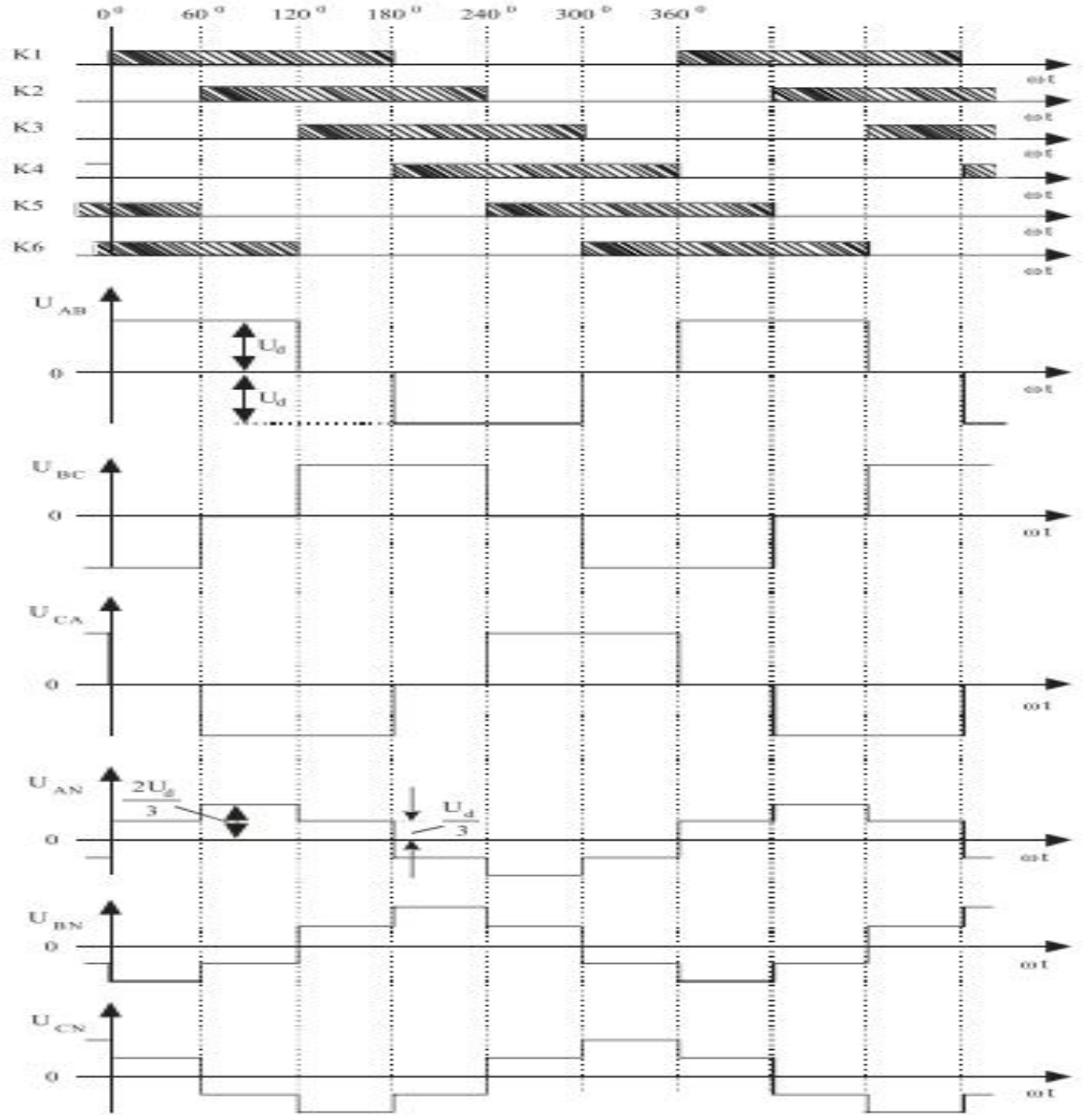
#### 3.7.3.3. Kare Dalga Evirici

Kare dalga evirici sistemlerinde motor sargı uçlarına verilen sinyal; genliği doğrultucu kısmında ayarlanmış DC güçle beslenen tristor veya IGBT'lerden oluşan evirici ile ayarlanır. Şekil 3.30.'da kare dalga evirici anahtar uçları ve buna üçgen sisteminde bağlanmış motor gösterilmektedir.



Şekil 3.30. Kare Dalga Evirici Bloğu

Sistemde anahtarlar ideal ve sıfır geçiş kayıpları ihmal edildiği varsayılmaktadır. Şekil 3.31. 'da motor fazlarına verilen  $120^\circ$  faz farklı sinyaller için anahtarların tetikleme açıları ve elde edilen gerilim şekilleri ifade edilmiştir.



Şekil 3.31. Kare Dalgı Evirici Gerilim Dalgı Şekilleri

Bu dengeli 3 fazlı sistem için fazlar arası gerilimler aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$V_{ab} = V_{as} - V_{bs} \quad (3.36)$$

$$V_{bc} = V_{bs} - V_{cs} \quad (3.37)$$

$$V_{ca} = V_{cs} - V_{as} \quad (3.38)$$

Dengeli 3 fazlı sistemlerde faz gerilimlerinin toplamı sıfırdır.

Bu bilginin ışığında ve eşitlik (3.36), (3.37), (3.38) faz gerilimleri aşağıdaki (3.39), (3.40),

(3.41) eşitlikteki gibi ifade edilebilir.

$$V_{as} = (V_{ab} - V_{ca})/3 \quad (3.39)$$

$$V_{bs} = (V_{bc} - V_{ab})/3 \quad (3.40)$$

### 3. MATERYAL VE METOT

---

$$V_{cs} = (V_{ca} - V_{bc})/3 \quad (3.41)$$

elde edilir. Faz gerilimleri fazlar arası gerilimlerden  $30^\circ$  ötelenmiş ve genliği  $2V_{dc}/\pi$  kadardır. Sadece temel bileşen kullanılabilir moment üreteceğinden temel rms faz gerilimi kare dalga için; (Krishman, 2001)

$$V_{ph} = V_{as}/\sqrt{2} = 2V_{dc}/\pi\sqrt{2} = 0.45 V_{dc} \quad (3.42)$$

olarak elde edilir.

#### 3.7.3.4. Dalga Genlik Modülasyonlu (PWM) Evirici

Temel anlamda gerilim kaynaklı güç devresi olan dalga genlik modülasyonu (PWM) eviricinin 1MW altında geniş anlamda kullanımında performansı iyi seviyelerdedir. PWM evirici temel yapısında DC link ve gerilim,frekans kontrolü kontrolünü içeren kombine bir inverter yapısındadır.

PWM eviriciler genelde sabit DC gerilimden beslenirler. Bu yöntemde eviricinin çıkışındaki hem frekans hem de gerilim ayarlanır. Darbelerin sönüm ve var olma süreleri değişken miktarda uygulanarak istenilen etkin değerde sinyal elde edilir. PWM yöntemiyle sinyal üretilirken sinyali mümkün olduğu kadar sinüs formatına benzetmeli ayrıca moment harmoniklerini de sönümlemesi gerekir.

PWM'de amaç darbelerin genişliğini değiştirmek suretiyle çıkış ana dalgasının temel bileşinini değiştirmektir. Her yarım dalgada çok sayıda boşluk elde edilerek başlıca anahtarlama harmoniklerinin frekansını yükseltmek suretiyle, motor indüktansının harmonik akımlarının sınırlandırılması sağlanır. Motor, aslında alçak geçiren bir filtre gibi davranır. Dolayısıyla yüksek frekanslı harmonik akımları, motor devresinde etkili olmaz. Anahtarlama frekansının artması bu kez anahtarlama kayıplarının yükselmesine neden olur. Buna göre en uygun PWM yönetimi seçerken, hem düşük dereceli harmonik akımları engellenmeli hem de anahtarlama kayıpları en aza indirilmelidir. (Holtz, 1992)

Darbe genişlik modülasyonlu, frekans çeviricilerle yapılan asenkron motor hız kontrol sistemlerinde oldukça sık kullanılır. Darbe genişlik modülasyonlu bir frekans çeviricide ara devre gerilimi sabittir ve çıkış geriliminin efektif değeri, bir periyot içindeki darbelerin genişlikleri değiştirilerek ayarlanabilir. Böylece asenkron motorun hızı çıkış geriliminin frekansını geniş bir aralıkta değiştirerek ayarlanırken modülasyon derinliği ayarlanarak çıkış geriliminin efektif değeri sıfır ile şebeke gerilimine kadar değiştirilebilir.

Üçgen dalganın frekansının büyük seçilmesi evirici çıkışındaki sinyalin sinüse o kadar yakın olmasını sağlayacaktır, fakat bu durumda anahtarlama sayıları artacağından kayıplar artacak ısınma artacak ve sistemin etrafa yaydığı gürültü artacaktır. Bu sebeplerden dolayı üçgen dalganın frekansı optimum seviyelerde seçilir. Günümüz sürücü sistemlerinde üçgen

dalganın frekansı diğer bir tanımıyla anahtarlama frekansı ayarlanabilmekle beraber 8 – 10 kHz seviyelerindedir.

PWM evirici ile yapılmış bir sinüs işareti hiçbir zaman saf bir sinüs gibi olamayacak ve temel frekansla orantılı frekanslarda harmonikler içerecektir.  $m_a$  modülasyon genliği;

$$m_a = V_{kontrol} / V_{üçgen} \quad (3.43)$$

$m_f$  frekans modülasyonu;

$$m_f = f_s / f_l \quad (3.44)$$

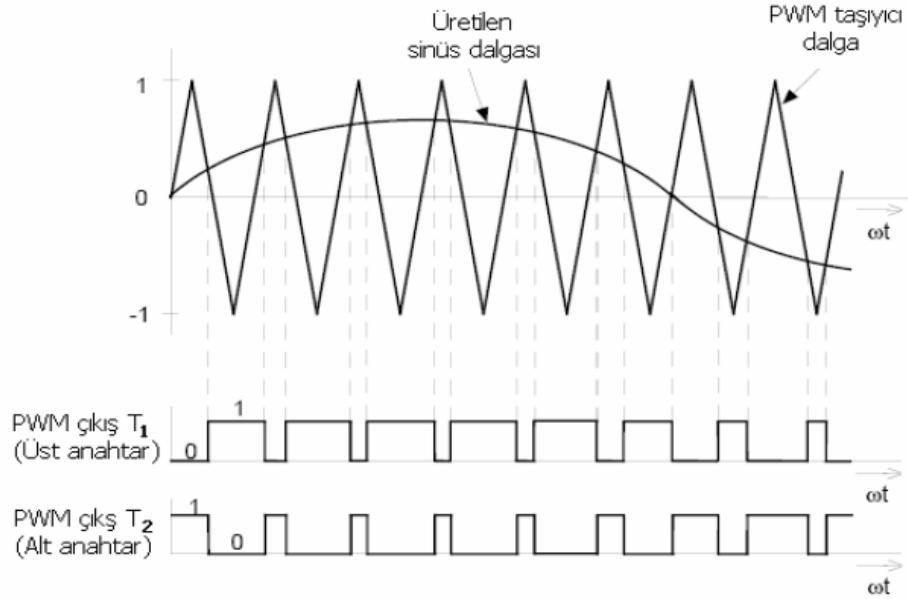
olarak tanımlanır.

Modülasyon frekansın 1.0 dan küçük olduğu lineer çalışma bölgesinde PWM çıkışındaki gerilimin temel bileşeninin değeri

$$V_{an} = m_a \cdot V_{dc} / 2 \quad (3.45)$$

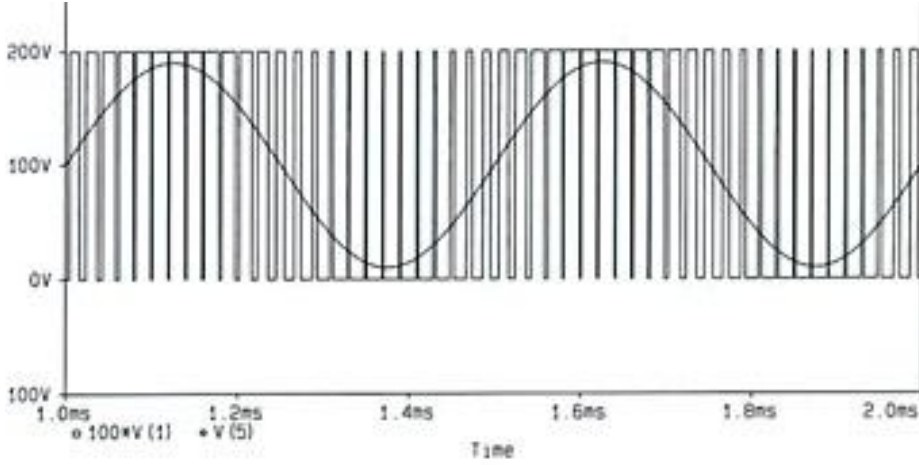
olarak ifade edilir.

Modülasyon işareti iki işaretin eşit olduğu noktalarda seviye değiştirmektedir. Eviricinin çıkış gerilim azaltmak veya yükseltmek için referans sinüsün genliği azaltılır veya yükseltilir. Frekansın değiştirilmesi sinüs işaretinin frekansının değiştirilmesiyle elde edilir. (Hava 1999).



Şekil 3.32. Sinüs – Üçgen Karşılaştırma PWM grafiği

### 3. MATERYAL VE METOT



Şekil 3.33. Faz Arası geriliminin elde edilen PWM dalga şekli

#### 3.7.3.5. Uzay Vektör PWM Evirici

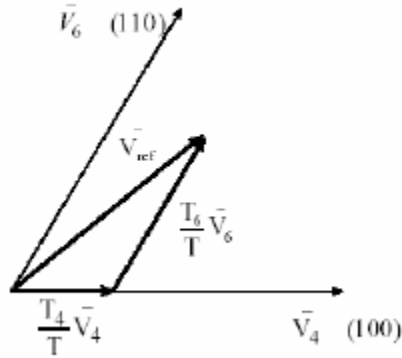
Güç elektroniği devrelerinde kullanılan en genel modülasyon metodu sinüzoidal PWM'dir. Ancak bu metotta, maksimum çıkış gerilimi düşük ve anahtarlama sayısı yüksektir. Bu sakıncaları ortadan kaldırmak için çeşitli metotlar geliştirilmiştir. Bu metotlar hala kullanılmakta ise de özel olarak şekillendirilen referans dalga ve onunla senkronize olan bir taşıyıcı dalga gerektirdiğinden kontrol devresi oldukça karmaşıktır.

Özellikle son yıllarda, sinüzoidal modülasyonun sayısal bir alternatifi olarak PWM dalga şekilleri üretmek amacıyla, uzay vektör fikrine dayanan yeni bir PWM metodu geliştirilmiştir. Uzay vektör PWM (SVPWM) olarak adlandırılan bu metot, sinüzoidal modülasyona göre daha harmonik distorsiyonlu çıkış akımı ile daha yüksek çıkış gerilimi meydana getirmesi sebebiyle endüstriyel uygulamalarda geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Ayrıca evirici anahtarlama kayıpları büyük ölçüde de azaltılırken, aynı zamanda yüksek kaliteli bir alternatif akım çıkış akımı sağlanabilir.

SVPWM metodu açık çevrim çalışma için fazla önemli değildir. Çünkü üçüncü dereceden harmoniklerin ilavesi yaklaşımıyla düzenli örneklemeli sinüzoidal PWM, SVPWM ile aynı anahtarlama örneklerini üretebilir. Ancak kapalı çevrim çalışmalar için, özellikle de motorların vektörel kontrol uygulamalarında SVPWM metodu büyük avantajlar sağlar.

Vektör kontrol yöntemlerinde, sabit eksen takımındaki sekiz farklı gerilim vektörü ile üç fazlı sinüzoidal akımların iletilmesi için modülasyon teknikleri kullanılır. Bu teknikler arasında en uygun olanı uzay vektör modülasyonu (SVPWM) tekniğidir. SVPWM tekniği ile gerilim vektörünün genliğini ve fazını istenilen yörüngede kontrol etmek mümkündür.

Vektörler bu düzlemi simetrik altıgen oluşturacak şekilde altı bölgeye ayırır. Bu bölge dağılımına bağlı kalınarak gerilim referansının içinde olduğu iki komşu vektör seçilir. Şekil 3.34.'de vektörlerin durumu verilmiştir.



Şekil 3.34. Komşu vektörlerin birleşimi olarak referans vektör

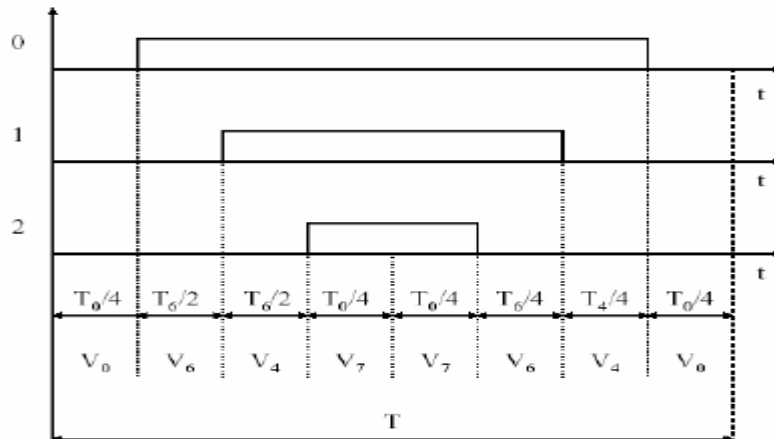
$V_4 - V_6$  vektörleri aktif vektörler olarak adlandırılır. Sıfır gerilim vektörleri olarak adlandırılan  $V_0$  ve  $V_7$  gerilim vektörleri, stator sargılarını kısa devre eder ve stator akısında bir değişiklik oluşturmaz.

Şekil 3.35’de  $T_4$  ve  $T_6$ ,  $V_4$  ve  $V_6$  vektörlerinin (iletim bölgelerinin) uygulandığı zamanlar ve  $T_0$  sıfır vektörlerinin (iletim dışı) uygulandığı zamandır (Texas Instruments, 1998). Referans gerilim (ters park dönüşümünü çıkışı) ve örnekleme periyodu bilindiğine, bilinmeyen  $T_4$ ,  $T_6$  ve  $T_0$ ’ ı aşağıdaki denklem sistemi ile ifade etmek mümkündür.

$$T = T_4 + T_6 + T_0 \quad (3.46)$$

$$V_{ref} = (T_4/T.V_4) + (T_6/T.V_6) \quad (3.47)$$

Bu sınırlamalar altında referans vektörün geometrik yeri, yatayları sekiz vektörün uçlarıyla oluşan bir altıgenin içindedir. Üretilen uzay vektör modülasyon dalga şekilleri her bir modülasyon periyodunun ortasına yönelmiş durumda ve birbirleriyle simetriktir. Şekil 3.35’ de bu dalga şeklini verir (Texas Instruments, 1998).

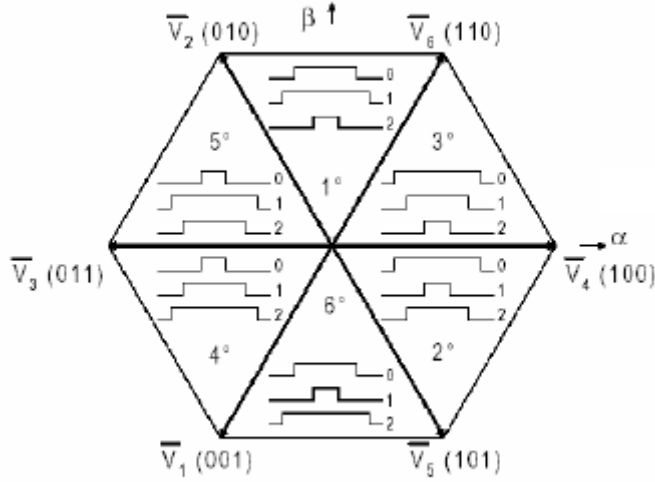


Şekil 3.35. Üçüncü bölgede SVM dağılımı



### 3. MATERYAL VE METOT

Şekil 3.36'da ise her bir bölge için uzay vektör modülasyonunun modelini gösterilmiştir. (Texas Instruments, 1998).



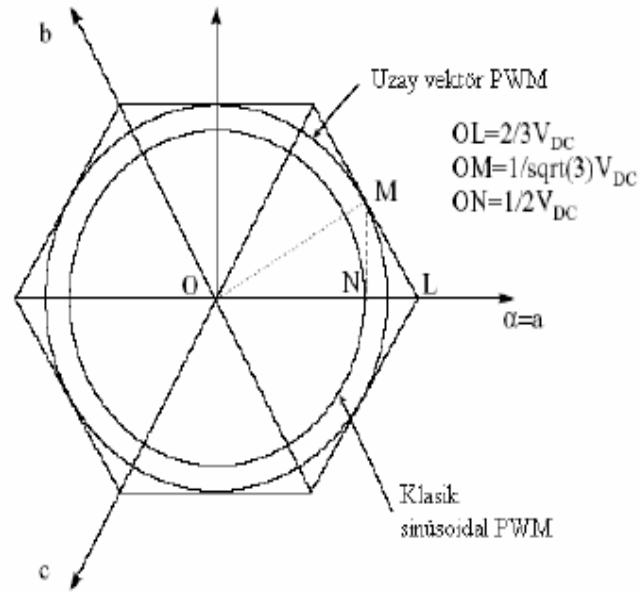
Şekil 3.36. SVM'nin altıgen modeli

SVM birimi, üretilmek istenilen  $V_{ref}$  referans gerilim vektörünün sabit eksen takımındaki bileşenleri  $V_{saref}$  ve  $V_{s\beta ref}$  ile  $V_{dc}$  gerilimini giriş olarak alır.  $V_{saref}$  ve  $V_{s\beta ref}$  kullanılarak  $V_{ref}$  referans gerilim vektörünün bulunduğu bölge tespit edilir.

Anahtarlama frekansı T periyodu ile doğrudan kontrol edilir. SVM ile üretilen referans gerilim vektörünün genliği daha önceki şekilde gösterilen altıgen sınırını geçmez. Bu durumda sıfır gerilim vektörleri kullanılmaz. Sonuçta, uzay vektör modülasyonunun girişleri, referans vektör elemanları ( $V_{sDref}$  ve  $V_{sQref}$ ); çıkışları ise, uygun bölge sınırlama vektörlerinin her birine uygulanacak elemanlardır.

#### 3.7.3.6. Uzay Vektör-Sinüzoidal PWM Karşılaştırılması

SVPWM, üç fazlı ac motor sargısı içindeki akımlarda minimum harmonik distorsiyonu üretir. Ayrıca SVM, sinüzoidal metodu ile kıyaslandığında kaynak geriliminin daha fazla verimli kullanımını sağlar. Gerçekte, sinüzoidal sinyaller bir üçgen taşıyıcı ile karşılaştırıldığında, klasik sinüzoidal modülasyon ile çember içindeki referans vektörünün yerinin  $1/2 V_{dc}$  yarıçapında olduğunu biliyoruz. SVM'nda, 6 vektörün her birinin uzunluğu  $2/3 V_{dc}$  olduğu görülmektedir. Sabit durumda referans vektör genliği sabit olabilir. Aslında, SVM referans vektör yeri, Şekil 3.37.'de tanımlanan altıgenden daha küçük yapılıdır. Bu yer, altıgen içerisinde çizilen çemberin kendisi ile teğettir. Böylece  $1/\sqrt{3} V_{dc}$  yarıçapına sahiptir. Bu referans vektörleri Şekil 3.37'de gösterilmiştir. (Texas Instruments, 1998).



Şekil 3.37. Uzay vektör –Sinüzoidal PWM yer karşılaştırması

Bu yüzden maksimum çıkış gerilimine dayandırılan uzay vektör teorisi, klasik sinüzoidal modüasyona göre  $1/\sqrt{3}$  (OM/ON) zamanı kadar genistir. SVPWM' in, sinüzoidal PWM metoduna göre kaynak geriliminin daha fazla verimli kullanılmasına sebep olması ile açıklanabilir.

### 3.8. Hız Kontrol Cihazları

Frekans çevirici elektronik elemanlarını kullanarak değişken frekans elde etme yöntemlerini bünyesinde bulunduran ve bir asenkron makine için istenen hız ayarını sağlayan ve istenen hızda sabit moment elde edilmesi için akıyı sabit tutmaya yarayan kompakt cihazlara hız kontrol cihazları denilmektedir. Günümüz hız kontrol cihazları istenilen gerilim ve frekans ayarını elde etmek için PWM yöntemini kullanırken kontrol yöntemi olarak hem skalar hem de vektörel kontrol formlarını bünyesinde bulundurur.

1990 lı yılların ortalarından itibaren gelişen mosfet teknolojisi ile birlikte DC motor sürücülerini yerini yavaş yavaş AC motor hız kontrol cihazlarına bırakmıştır. Son dönem IGBT üretim maliyetlerinin de önemli ölçüde düşmüş olması mikroişlemcilerdeki ekonomi hız kontrol cihazlarında önemli ölçüde ucuzlamaya neden olmuş ve bu cihazlar oldukça yaygınlaşmıştır.

Isıtma-havalandırma-hava koşullandırma (HVAC) uygulamalarında ve pompa sistemlerinde hız kontrol cihazları kullanımı artmaktadır. Çalışmamızda hız kontrol cihazlarının pompalar üzerindeki etkileri detaylı incelenmiştir.

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.8.1. Hız Kontrol Cihazlarının Terimleri

Hız kontrol eden donanımları tanımlamak için kullanılan bir çok terim vardır. Bu terimlerin kısaltmaları birbirlerinin yerine kullanılıyor olmakla birlikte farklı anlamları vardır.

Değişken Frekanslı Sürücü (VFD)

Bu donanım, motor giriş gücünün frekansını değiştirmek için (ki böylelikle motor hızının kontrolü sağlanır) güç elektroniğinden yararlanır.

Değişken Hızlı Sürücü (VSD)

Daha genel olan bu tanım, motor ya da bir motor tarafından tahrik edilen bir ekipmanın (fan, pompa, kompresör vb) hızını kontrol eden donanımlar için kullanılır. Bu donanımlar elektronik ya da mekanik olabilir.

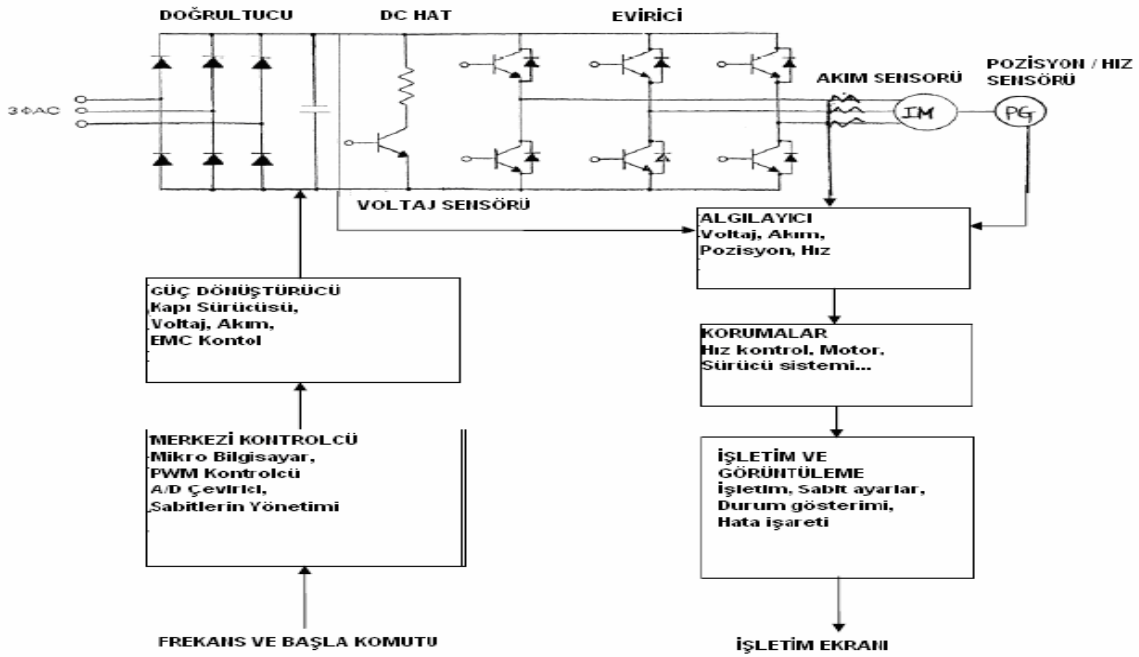
Ayarlanabilir Hızlı sürücü (ASD)

Bu daha da genel bir tanımdır. Mekanik ya da elektronik hız kontrol yöntemleri için kullanılabilir.

Bu tezde yalnızca Değişken Hızlı Sürücü (VSD) ele alınacaktır.

#### 3.8.2. Hız Kontrol Cihazlarının Yapısı

Son on yıl içerisinde hız kontrol cihazları teknolojiye paralel olarak birçok gelişme sağladı. Yeni nesil hız kontrol cihazları çok geniş kontrol ve koruma özelliklerini sunmakta ve günümüzde birçok sistemde kullanılmaktadır. Şekil 3.38' de örnek bir hız kontrol cihazının genel yapısı güç elektroniği devresi ve blok şeması sunulmuştur.



Şekil 3.38. Hız Kontrol Cihazlarının Genel Yapısı

Sürücüyü oluşturan elemanlar doğrultucu, DC hat (kapasitör ve frenleme transistor sistemi) ve eviricidir.

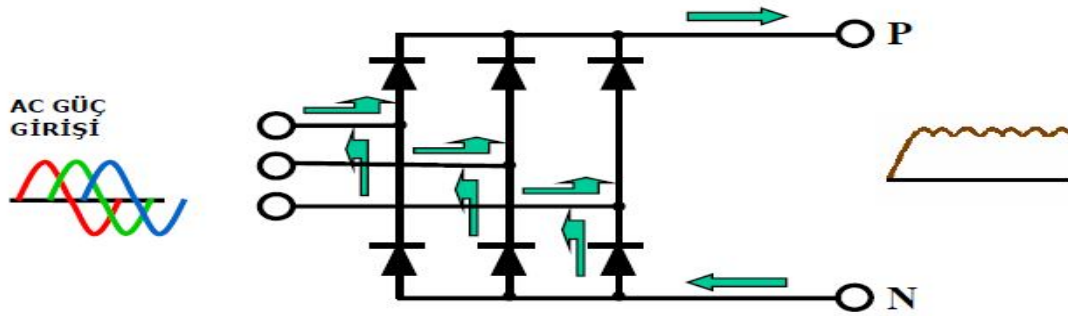
Her bir elemanın fonksiyonu aşağıda gösterildiği gibidir:

Doğrultucu sistemi: AC → DC dönüşümünü gerçekleştirir.

DC hat: Hız kontrol cihazı çıkışı için sabit gerilim kaynağı olan büyük bir kapasitördür.

Evirici sistemi: DC → AC dönüşümünü gerçekleştirir.

Doğrultucu, diyot modülü ile AC gücü DC güce çeviren bir cihazdır. Şekil 3.39' de diyot modülün güç devresi gösterilmiştir.

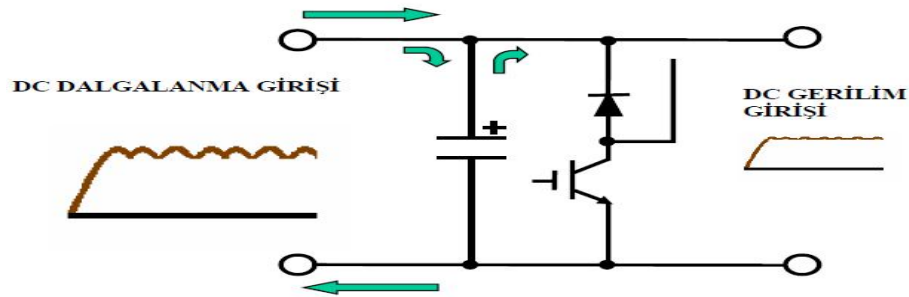


Şekil 3.39. Diyot Modülü Güç Şeması

Kapasitör: Gücü depo eder ve düzgün bir DC gerilim sağlar.

Doğrultma devresinde tam dalga doğrultulan AC sinyal büyük kapasiteli güç kondansatörlerini doldurur, eviriciyi beslemek için daha düzgün bir DC gerilim elde edilmiş olur.

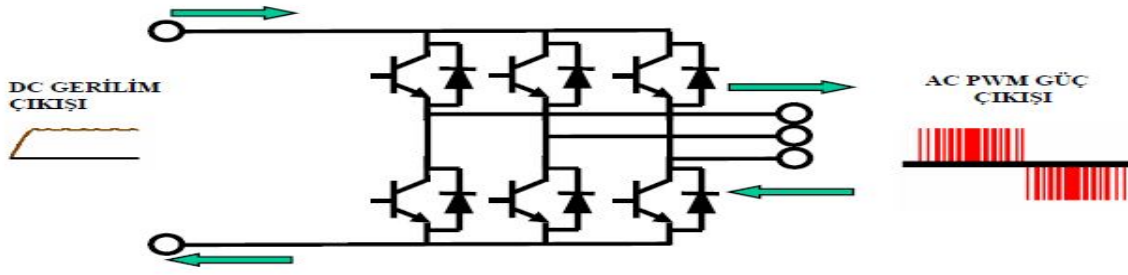
Frenleme transistorü frenleme direnci ya da modülünün devreye girmesini sağlar. Şekil 3.40' da DC güç kondansatörlerinin ve frenleme transistorünün güç devresindeki şeması verilmiştir.



Şekil 3.40. DC Güç Kondansatörleri ve Frenleme Transistorü

Evirici, IGBT ile DC gücü ayarlanabilen AC güce çeviren bir cihazdır. Evirici devresi Şekil 3.41. ' de verilmiştir.

### 3. MATERYAL VE METOT



Şekil 3.41. PWM Evirici

#### 3.8.3. Değişken Hızlı Sürücülerin(VSD) Sağladığı Faydaları

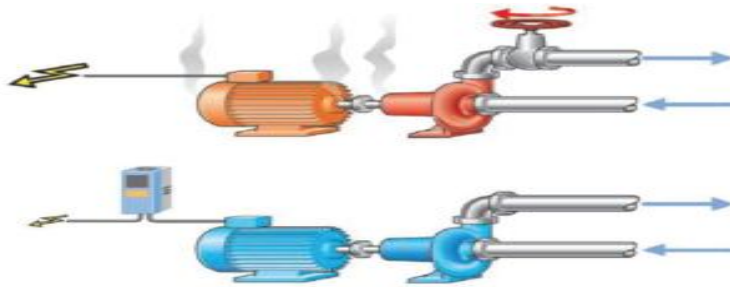
Değişken Hızlı Sürücü (VSD) teknolojisi HVAC uygulamalarında fan, pompa, hava koşullandırıcı ve soğutucularda hız kontrolünü olanaklı kılar. Değişken hızlı tahrik mekanizmaları aşağıda listelenen faydaları belirttiğimiz sistemler üzerindeki faydaları sıralanmıştır.

- Enerji tasarrufu
- Düşük motor kalkış akımı
- Kalkış sırasında motor ve kayışlardaki termal ve mekanik gerilimin azalması
- Kolay montaj
- Yüksek güç faktörü

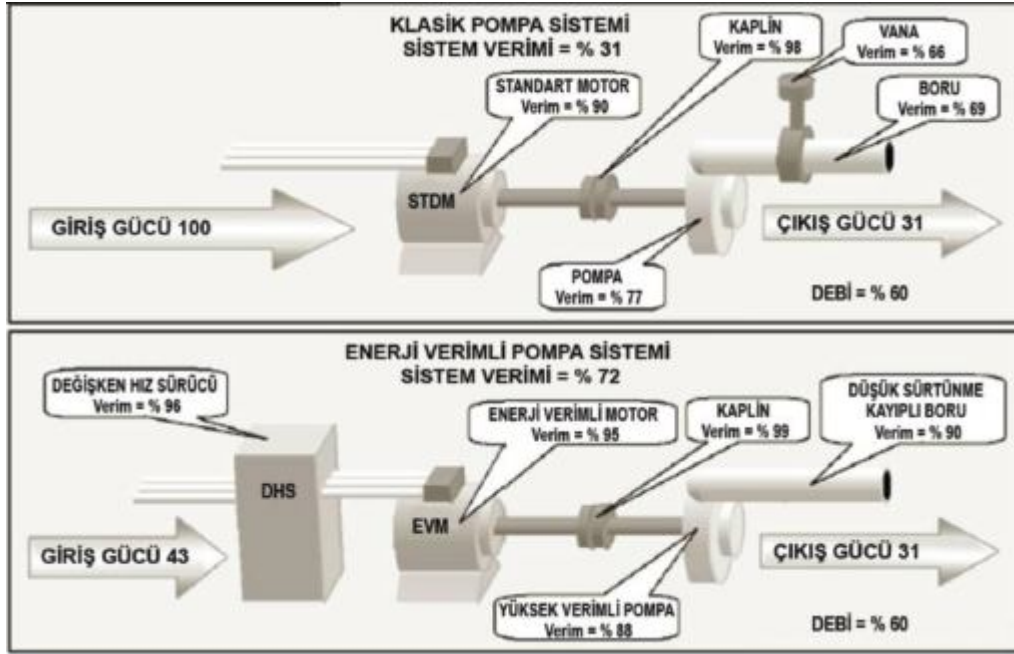
Çalışmamamız pompalar üzerine olduğundan VSD teknolojisinin pompa sistemleri üzerindeki faydaları aşağıda detaylıca açıklanmıştır.

##### 3.8.3.1. Santrifüj Pompalarda VSD İle Enerji Verimliliği

Sürekli artan enerji fiyatları, enerji ve maliyet tasarrufu yapmak isteyen firmaların ilgisini kayda değer ölçüde artırdı. Bu konudaki görüşmeler genellikle alternatif enerji kaynakları ve yeni enerji tasarruf teknolojileri arasında dönerken, yaygın kullanıldığında büyük tasarruflar sağlayabilecek mevcut teknik çözümlere çok az önem verilmesi şaşırtıcıdır. Kanıtlanmış ve düşük yatırım maliyetli bir çözüm ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme uygulamalarında kullanılan VSD'lerdir. Bunun gibi diğer teknolojilerin sadece çok azı yapılan yatırımı bir yıldan daha az bir sürede geri kazandırabilmektedir. Şekil 3.42. VSD ile enerji tasarrufu gösterilmiştir. Şekil 3.43'de ise vana ile kontrol edilerek kullanılan güç miktarları VSD ile karşılaştırılması gösterilmiştir.



Şekil 3.42. VSD hız ayarı sayesinde enerji tasarrufu prensibi

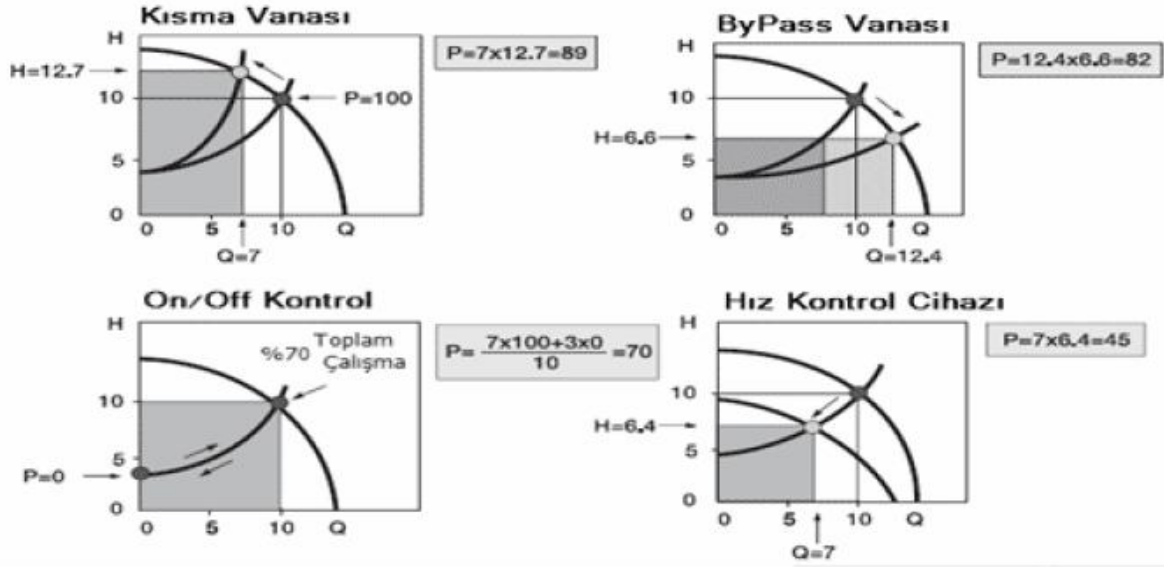


Şekil 3.43. Klasik pompa sistemi ile VSD'li pompa sisteminin enerji tüketiminin karşılaştırılması

Geleneksel kontrol yöntemlerinde pompalar, proses değişkeninin hedef değerini + veya - yönde, geniş bir bant aralığında yakalamaya çalışırlar. Bu yöntemlerde sistemin talebi pompa ünitelerinin kapasitesinin altında ise atıl kapasite ile çalışarak fazladan enerji tüketiminde bulunurlar. VSD ile yapılan uygulamalarda ise sistem değişkeni bir transmitter yardımı ile endüstride kullanılan standart bir analog sinyale (0-10V, 0-20mA, 4-20mA) çevrilerek VSD' ye iletilir, VSD bu sinyale bağlı olarak pompa motorlarının devrini prosesin ihtiyacına göre değiştirerek enerji tasarrufu sağlar.

Bu sistem kazandırdığı enerji tasarrufunun yanısıra, proses değişkenini (basınç, akış, ısı, seviye) dar bir bant aralığında tutulmasına imkan tanımakta ve bu sayede çok iyi bir proses değişkeni kontrolü elde edilmesine olanak sağlamaktadır. VSD' li pompaların bir diğer avantajı sahip olduğu yumuşak kalkış özelliği sayesinde kalkış ve duruşlarda mekanik gerilmeleri ve elektriksel darbeleri azaltmasıdır. Bununla birlikte, eğer değişken hız sürücülerinin sürdüğü pompa motorları limitlerde çalışıyorsa böyle bir çalışma biçimine gerek yoktur. (Ertöz, 2001)

### 3. MATERYAL VE METOT

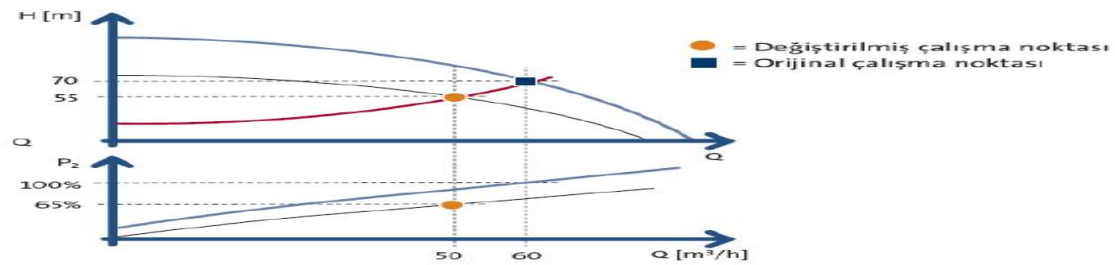


Şekil 3.44. Farklı kontrol yöntemlerinin enerji tasarruflarının karşılaştırılması (Ertöz A.,2001)

Çizelge 3.5 Pompa kontrolünde yöntemlerin enerji kullanımının birimsel değerleri (Ertöz A.,2001)

Kontrol	Enerji (Birim)
Kısmalı	89
Bypass	82
On/Off	70
Hız Kontrolü	45

Hız kontrolü ile kontrolü daha detaylı incelemek istersek pompada hız kontrolü ile hem debi hem de basma yüksekliği düşer, Şekil 3.45’de gösterilmiştir. Dolayısıyla güç tüketimi de orijinal değerinin %65’ i civarına düşmüş olur. Mümkün olan en iyi verimi elde etmek açısından, pompanın çapının ayarlanması yöntemi veya hızının kontrolü yöntemi, tesisattaki debinin düşürülmesi için en uygun yöntemlerdir. Pompanın sabit, değiştirilmiş bir çalışma noktasında çalışma gerekiyorsa çark çapı ayarı yöntemi en iyi yöntemdir. Ancak, debi ihtiyacının değişken olduğu bir tesisatla karşı karşıya isek, o zaman hız kontrollü pompalar en iyi çözüm olacaktır.



Şekil 3.45. Pompa kontrol yönteminin H ve Q üzerindeki etkilerinin gösterimi

### 3.8.3.2. Santrifüj Pompalarda VSD İle Mekanik Faydalar

- Mekanik darbeleri azaltır (Hammering Effect)

Debideki ani değişimleri ani basınç sıçramaları takip eder. Bu ani basınç sıçramaları mekanik aksamlarda sızıntılara sebep olabilecek darbeler yaratır. VSD pompa uygulamalarında hızdaki iniş ve çıkışlar için ayarlanacak güvenli rampa aralıklarıyla bu darbelerin önüne geçilebilir.

- Boşluk oluşumu riskini azaltılır (Kavitasyon)

Statik basıncın, akışkanın buharlaşma basıncının altına düştüğü anlarda akışkanda oluşan kabarcıklar pompanın iç çeperlerine çok güçlü bir kuvvetle çarparlar ve mekanik yıpranmalara sebep olurlar. VSD pompa uygulamalarında pompanın önündeki basınç bilgisi de okunabilir böylece kavitasyon riski gözlenerek tedbirler alınabilir. Bu özellikler göz önüne alındığında sistemin mekanik bakım süresi ve maliyetlerini düşürür.

### 3.8.3.3. Santrifüj Pompalarda VSD Elektriksel Faydalar

- Düşük Kalkış Akımı

Motor üreticileri zor tasarım seçenekleri ile karşı karşıya kalırlar. Düşük kalkış akımı için optimize edilen tasarımlarda, genellikle verim, güç faktörü, kapasite ve maliyet dikkate alınmaz. Alternatif akım (AC) asenkron motorlarının kalkış sırasında 6-8 kere tam yük akımı çekmeleri oldukça normaldir. Yüklü miktarda akımın transformatörden geçmesi gerilim düşmesine neden olur ve bu da aynı elektrik sistemi üzerinde çalışan diğer cihazları olumsuz yönde etkiler. Hatta gerilim hassasiyeti olan bazı sistemlerin enerjisi kesebilir. Bu nedenle, bir çok mühendis alternatif akım (AC) asenkron motorlarının kalkış akımını azaltıcı yöntemler geliştirirler.

Motor kalkışı sırasındaki kalkış akımı azaltmak için yıldız-üçgen, kısmi sargı, oto-trafo ve elektronik kontrollü yol vericiler yaygın olarak kullanılır. Bu yol vericilerin hepsi gücü motora sabit frekansta iletir ve bu nedenle motora uygulanan gerilim kontrol edilerek akım belli bir sınır içinde tutulmalıdır. Yıldız-üçgen, kısmi sargı ve oto-trafo yol vericiler gerilimi düşürmek için özel elektrik bağlantıları kullanırlar. Elektronik yol vericileri ise gerilimi düşürmek için silikon kontrollü doğrultucu (SCR)'ler kullanırlar. Motorun hızlanmak için belli bir momente ulaşması gerekir ve bunun için yeterli gerilime ihtiyaç vardır. Bu nedenle gerilim düşürme ancak belli bir sınıra kadar mümkündür. Mümkün olan en fazla gerilim düşürme ile bile motor kalkış sırasında nominal anma akımının iki ya da dört katı akım çeker. Buna ek olarak yıldız-üçgen yol verme ile ilişkili hızlı ivmelenme kayış ve diğer güç aktarma elemanlarında aşınmaya neden olur.

Yol verici tiplerine göre en düşük kalkış akımı sağladığı için VSD en ideal yumuşak yol vericidir. Diğer bütün yol verici tiplerinin tersine, VSD frekansı motora iletilen güç ve akımı



### 3. MATERYAL VE METOT

---

sınırlamak için kullanılabilir. VFD gücü düşük frekansta göndererek motora yol verir. Bu düşük frekansta motor yüksek seviyede akıma ihtiyaç duymaz. VSD frekansı ve motor hızını istenilen hıza ulaşıncaya kadar aşamalı olarak artırır. Yol verme sırasında motorun akım seviyesi hiçbir zaman tam yük amper değerini geçmez. Düşük kalkış akımının sağladığı yararın yanı sıra artık motor tasarımları yüksek verim için optimize edilebilir. VSD kalkış akımının faydaları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- VSD uygulamalarda motorlar her zaman yumuşak kalkış ve duruş yaptıkları için direkt yol verme, yıldız üçgen veya soft starter uygulamalarındaki gibi şalt ekipmanlarını yıpratıcı ani akım sıçramaları oluşmaz.
- Kalkışta moment sıçramaları oluşmadığı için mekanik aksamları da yıpratmazlar.
- Low Harmonics serisi sürücüler seçilerek şebekeye zararlı harmonikler azaltılabilir.
- Gerilim Dengesizliğinin Tolere Etmesi

Motora direkt olarak yol verilirken, nominal akımdan daha fazla oranında yol alma akımı çekilir. Bu durumda şebeke geriliminde %10-15 gibi düşmeler olur. Eğer bu gerilim düşümü oranı %15'e ulaşırsa yani gerilim nominal değerinin %85'ine düşerse motorların yol alma işlemi gerçekleşemez. Gerilim düşüklüğü meydana geldiğinde, asenkron motorun momenti giriş gerilimin karesi ile orantılı olduğundan aniden düşer ve bu da motoru yavaşlatır. Bu yavaşlama, gerilimdeki düşüşün büyüklüğüne ve süresine, döner kütlenin ataletine ve tahrik yükünün moment-devir özelliklerine bağlıdır.

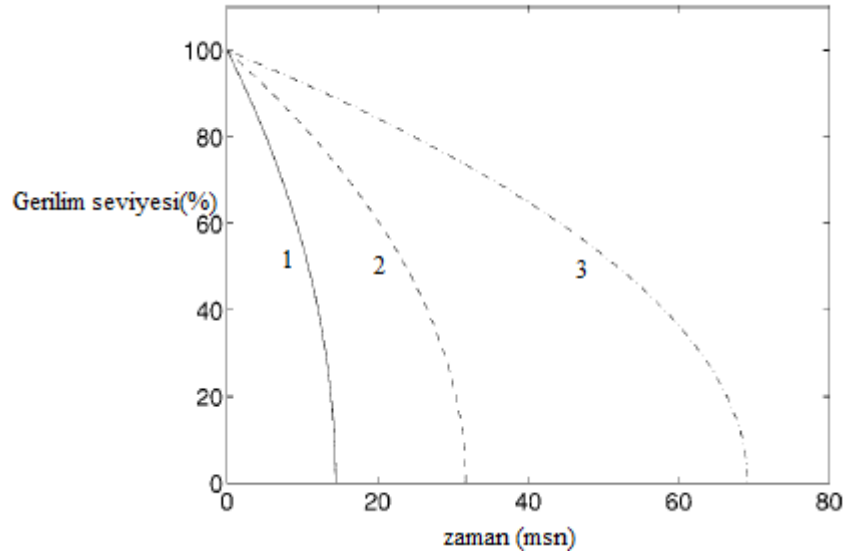
Şebeke sisteminden beslenen asenkron motorun yükleri giriş geriliminde önceki bölümde anlatıldığı gibi çeşitli sebeplerden gerilimde düşme yaşanmaktadır. VSD ler gerilim dengesizliği algılayarak belli orandaki düşmeleri tolere etmektedir. Bu durum yapılan işlemin devamını sürdürdüğünden hem süreklilik hem de ekonomik olarak büyük etkileri olmaktadır.

Raporlanan gerilim düşmelerinin bir çoğunda gerilimin nominal geriliminin %70 seviyelerinde kalmakta ve 300 ms'nin daha fazla sürmemektedir. %30 daha az gerilim düşmelerinde asenkron motor VSD ile kontrol edildiğinde hız ve moment kaybı olmaksızın işletmeye devam edilmektedir.

VSD kontrol edilen bir sistemin gerilim eşitliği (3.48) eşitliğinde verilmiştir.

$$V_{kaynak} + V_c + V_{kin} = V_l \quad (3.48)$$

Burada  $V_{kaynak}$  giriş gerilimi,  $V_c$  DC bara gerilimi,  $V_{kin}$  rotordan depolan gerilim,  $V_l$  yük tarafındaki gerilimi göstermektedir. Gerilim DC baradaki gerilimin altına düştüğünde sistemin beslemesini yapan kaynak gerilimi kesilir ve besleme DC baradaki kapasitörlerle (C) yapılmaktadır. Doğru akım barasındaki gerilim seviyesinin azalması buradaki kapasitörlerin büyüklüğüne ve evirici bağlı yükün tipine göre değişim gösterir. Şekil 3.46.'da 75  $\mu\text{F}/\text{kW}$ , 165  $\mu\text{F}/\text{kW}$ , 360  $\mu\text{F}/\text{kW}$  değerlerinde kapasitörlerin tolere etme süreleri gösterilmiştir.



Şekil 3.46. Farklı kapasitör değerleri için VSD lerin gerilim tolerasyonu **1)**75  $\mu\text{F}/\text{kW}$  **2)**165  $\mu\text{F}/\text{kW}$  **3)** 360  $\mu\text{F}/\text{kW}$

VSD lerde dc bara gerilimi belirlenen koruma geriliminin altına düştüğünde sistem servis harici olur. Bir çok ticari VSD sistemlerinde koruma gerilimi seviyesi nominal geriliminin % 85 ile % 70 arasında değerler seçilmekte fakat Bazı uygulamalarda VSD'ler düşük gerilim koruma seviyesi %50 olması istenmektedir.



## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 4.1. Giriş

Türkiye genelinde ekonomik olarak sulanabilir alanın %20'ni bünyesinde bulunduran GAP yöresinde, bölgesel sulama projelerinin büyük bir bölümü hayata geçirilmemiş olup, mevcut sulamanın önemli bir bölümü, DSİ Tarımsal Sulama Koordinasyonu dışında elektrik enerjisi kullanılarak yer altı kaynak suları vasıtasıyla yapılmaktadır. Kaçak elektrik kullanımının en üst seviyede olduğu yörede, elektrik tüketimi plansız ve kontrolsüzce artmaktadır.

Yüzölçümü 780.000 km<sup>2</sup> olan GAP Bölgesinde 2013 yılı sonu itibarı ile bölgesel sulama projesinin işletmeye giren kısmı % 15 olarak gerçekleşmiştir . Sulama ağının yetersiz olması bölgedeki tarımsal sulamayı bireysel yapılaşmaya götürmüştür. Yeraltı su rezervlerinin bireysel kullanımı, DSİ tarımsal sulama koordinasyonu dışında büyümüş ve beraberinde birçok sorunu gündeme getirmiştir. Bölgede tarımsal sulamanın sadece elektrik enerjisi kullanılarak yapıldığı göz önüne alındığında sulamadaki plansız ve koordinasyonsuz büyümenin olumsuz etkileri elektrik sistemine doğal olarak birebir yansımaktadır.

Elektrik Sisteminde yaşanan sorunlar döngü haline geldiğinden çoğu kez problemi genelleyerek tahmini ve kişisel fikirlerle yorumlamak yerine ileride yapılabilecek çalışmalara örnek oluşturabilmek amacıyla her yıl sulama sezonu süresince bölgede enerji problemlerinin yoğun yaşandığı Kızıltepe Bölgesinde geniş katılımlı bir çalışma yapılmıştır.

Pilot olarak ele alınan Kızıltepe bölgesinde 850.000 dekar sulu arazi üzerinde yaklaşık 5.000 adet sulama kuyusu bulunmaktadır. Her bir kuyuda ortalama 160 kVA'lık dağıtım trafosu, ortalama 150 kVA'lık gerilim regülatörü ve ortalama 100 kW'lık asenkron dalgıç motor bulunmaktadır. Dağıtım şebekesinde yaşanan gerilim problemleri hedef alınarak detaylı ölçümler yapılmış ve problemlerin iletim sistemine yansımaları görüntülenmiştir.

### 4.2. Kızıltepe Ovasının Elektrik Şebeke Yapısı

Pilot bölge olarak seçilen Kızıltepe Ovasının elektrik enerjisi ihtiyacı bölgede kurulu olan transformatör merkezlerinden(TM) sağlanmaktadır. Elektrik enerjisi bu TM'lerden gerilimin 31.5 kV'a indirilmesiyle dağıtım trafoları aracılığıyla dağıtılmaktadır. Bölgede ana merkez olarak Kızıltepe 380 TM kullanılmaktadır. Bu merkezde 2 adet 125 MVA'lık 380/33.5 kV ve 2 adet 100 MVA lık 154/34.5 kV güç transformatörleri bulunmaktadır. Kızıltepe ovasındaki bir çok merkezin ve sulama tesislerinin elektrik beslemesinin büyük çoğunluğunun Kızıltepe 380 TM den sağlanmaktadır. Bunu yanında bu transformatör merkezine 154 kV gerilim seviyesinde 4 adet TM bağlıdır. Bunlar; Çırçıp, Çağçağ, Dikmen ve Mardin TM'leridir. Tek hat şeması ve sistem bileşenleri Ek 1 gösterilmiştir.

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Aşağıdaki Çizelge 4.1’de bölgede kurulu TM’lerin gerilim seviyeleri ve güç değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Kızıltepe Bölgesinde Kurulu Transformatör Güçleri

Trafo Merkezi	Kurulu Güç	Toplam kurulu Güç
380 kV KIZILTEPE II TM	$2*250 + 2 *150 = 900$ MVA $2*125 = 250$ MVA	2360 MVA
154 kV ÇAĞ ÇAĞ TM	$2*50 = 100$ MVA	
154 kV DİKMEN TM	$3*100 + 20 = 320$ MVA	
154 kV G.DİKMEN TM	$1*100 = 100$ MVA	
154 kV ETİ FOSFAT TM	$2*50 = 100$ MVA	
154 kV MARDİN TM	$2*100 + 50 = 250$ MVA	
154 kV KIZILTEPE II TM	$2*100 = 200$ MVA	
154 kV PS4 TM	$100 + 2*20 = 140$ MVA	

#### 4.3. Kızıltepe Ovasındaki Enerji Tüketimi

Bölgede sulama projelerinin hayat geçirilememesi neticesinde yöre halkı kayıtsız, plansız, denetimsiz ve teknolojik olmayan tesisler kurarak ve elektrik bedeline ödemeyerek elektrik enerjisini aşırı ve bilinçsiz bir şekilde kullanmaktadır. Elektrik kullanımına bağlı oluşturulan bu yapıda kayıt dışı ve kontrol edilemeyen büyüme neticesinde teknik prensiplere uygun olamamaktadır. Sulama sezonundaki Mayıs-Eylül aylarındaki 5 aylık dönemde bölgedeki Trafo Merkezleri %120 kapasite ile İletim Hatları ise %150 kapasite ile yüklenirken, Ekim-Nisan aylarını kapsayan 7 aylık dönemde ise iletim sistemi % 40 kapasite ile çalışmaktadır. Bilinçsiz ve bedelsiz elektrik kullanımı neticesinde; Reaktif tüketimin %60 oranlarına ulaşması, AG ve OG de meydana gelen aşırı yüklenme ve arızalar, kayıpları arttırmakta, iletim sistemi

teçhizatında yıpranma, maliyeti büyük, kalıcı arızalar ve enerji kesintileri ile enerjideki kirlenmeye sebep olmaktadır.

Aşağıdaki Çizelge 4.2.'de son üç yılın (2011-2012-2013) mayıs-eylül aylarının tüketimi gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Kızıltepe Bölgesinin 2011,2012,2013 Yıllarındaki Elektrik Enerjisi Tüketimi(kWh)

Yıl	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
2011	237.560.136	258.738.080	456.969.768	474.882.966	444.425.275
2012	256.564.946	282.024.507	488.957.651	517.622.432	471.090.791
2013	282.221.441	313.047.202	528.074.263	559.032.227	508.778.054

#### 4.4. Kızıltepe Ovasında Elektrik Enerjisi Problemleri

Kurulu gücün 2360 MW olduğu bir sistemde kontrol dışı,plansız ve kaçak kullanımın getirdiği büyük sorunlar olmaktadır.Bu sorunların bir kısmı sistem sağlayıcılardan bir kısmı kullanıcılardan kaynaklanmaktadır.Sorunun temelinde sulama ağının eksikliği ve bu eksikliği elektrik enerjisini kullanarak gidermeye çalışan çiftçilerin bilinçsiz ve kaçak kullanımı yatmaktadır. Bölgede var olan sorunlar şöyle sıralanabilir.

1-Enerji Talebinin Karşılanamaması

- Kayıtdışı elektrik kullanımı
- Kompanzasyon eksikliği

2- Orta Gerilim Hatlarındaki Yetersizlikler

3-Asenkron Motorlar Taraflarından Enerjilenen Pompalardan Kaynaklanan Sorunlar

##### 4.4.1. Enerji Talebini Karşılanamaması

Bölgedeki enerji tüketimi her geçen yıl önemli denilecek bir derecede artmaktadır. Fakat bölgede artan enerji talebine karşın ölçülemeyen kullanım oranında ciddi değerlerdedir. Aynı zamanda kompanzasyon sistemlerinin var olmaması çekilen reaktif gücü artırdığından enerji talebi yaz aylarında karşılanamamaktadır.

- Kayıtdışı Kullanım

Dağıtım şirketine göre ölçülemeyen kullanım miktarı 2013 yılında %79 oranında Mardin bölgesindedir. Bu bölge geniş tarımsal sulama yapılan bir alanlardır.Sulamada kullanılan pompaların enerji tüketimleri büyük oranda faturalandırılmamaktadır. Bunun sonucu tüketiciler herhangi tassaruf yönetimi uygulama gereği duymamaktadır.

- Kompanzasyon Eksikliği

Bölgedeki güç dağıtım firmasından alınan bilgilere göre bölgede kurulan tesislerin yaklaşık % 15 inde bir kompanzasyon sistemi bulunmaktadır. Oranın bu kadar az olması, gerilim düşmelerinin ana sebeplerinden biri olan şebekeden yüksek reaktif güç çekilmesine sebebiyet vermektedir.

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

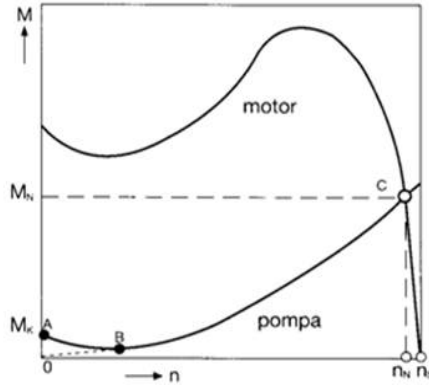
### 4.4.2. Orta Gerilim Enerji Hatlarının Yanlış Yapılandırılması

31,5 kV enerji iletim hatlarında sulama dönemi olan Mayıs ve Ekim aylarında aşırı derecede yüklenmektedir. Örnek olarak Dikmen trafo merkezinde raporlara göre, merkezde yüklenme %100 ve kapasitenin de üstünde olmaktadır.

Dikmen trafo merkezinden beslenen fiderler yaklaşık 45 km uzunluğundadır. Bu mesafede sorunların olması beklenen bir durumdur. Bu problemler hattın kapasitesinin fazla yük taşıdığına oluşan negatif etki ve aynı zamanda %10'un üstünde gerilim düşümleridir. Tarımsal sulamanın yoğunlaştığı Kızıltepe ve Derik bölgesinde bulunan iletim hatlarında yüklenme oranı dikkate alındığında bu bölgelerde bu sorunların oluşma olasılığı çok yüksektir.

### 4.4.3. Asenkron Motorlar Tarafından Tahrik Edilen Pompalardan Kaynaklanan Sorunlar

Sulamada kullanılan dalgıç pompalar ve derin kuyu pompaları asenkron motor kullanırlar. Her ne kadar asenkron motorlar birbirinden farklı olsa da, genel olarak moment-hız grafiği aşağıda Şekil 4.1. gösterildiği gibidir



Şekil 4.1. Asenkron motor momenti ve yük momentinin gösterimi

Motor çalışmaya başladığında ve işletmeye durumuna geçene kadar bağlı olduğu yükten daha fazla moment ihtiyacı olacaktır. Belli bir süreden sonra yük momentini ve motor momentini eşilenir. Asenkron motorların momentini gerilimin karesi ile orantılıdır. Gerilim nominal değerinin yarısına düştüğü zaman moment orantılı olarak 4 kat düşer. Gerilim düşmesinde motor momentini daha fazla düştüğünden bağlı olduğu yükü kaldıramadığından duracaktır fakat motorun gerilim bağlantısı mevcut olduğundan motor tekrar yol almak için sistemden akım çekecektir. Gerilim hala düşük olduğundan motor yol alamayacaktır ve kısa devre akımı büyüklüğünde akım çekecektir. Bu akım nominal gerilim değerinden ki akım değerinden 5-6 kat daha büyük bir değerdir. Farklı başlatma yöntemleri ile bu oran 2-3 kata daha indirilebilir. Bu sürede güç faktörü de ( $\cos \theta$ ) düşük seviyededir. Dağıtım şebekesindeki asenkron motorların çalışma rejimlerinden kaynaklanan dinamik yük karakteristiği zincirleme gerilim problemlerini

yaratmaktadır. Dağıtım fiderlerinin her birinde yaklaşık 300–400 adet sulama motorunun bağlı olduğu düşünüldüğünde, bu motorların kapasiteleri oranında devreden enerji çekmeye çalışacakları ve yaşanacak elektriksel problemleri daha da arttıracakları bir gerçektir. Ayrıca hat sonu gerilimini düşük alan sulama motorlarının devrinin düşmesiyle dağıtım fiderlerinden çekilen akımın artması gündeme gelmektedir. Devri düşen motorların çektikleri akımların artmasıyla motorlar aşırı ısınmakta ve çoğu kez hasarlanmaktadır.

#### 4.5. Gerilim Çökmeleri ve Kesintiler

Bölgemizde yaşanan gerilim dalgalanmaları belki de dünyanın hiçbir yerinde örneği olmayan elektrikle yoğun sulama yapılmasından kaynaklı, binlerle ifade edilebilecek yüksek güçlü su pompalarının devre dışı kalması ve tekrar devreye girmesi esnasında oluşmaktadır. Elektrik şebekesi enterkonnekte (birleşik) olduğu için sulama dönemlerinde meydana gelen bir arıza sistemin tamamına yayılmaktadır. Sulama dönemlerinde ortaya çıkan elektrik sıkıntısı, diğer tüketicileri de olumsuz etkilemektedir.

33 kV fiderde meydana gelen kısa devre arızası, sözkonusu fiderden beslenen motorlarda bir yavaşlamaya neden olmakta, aynı şekilde aynı 33 kV baralara bağlı diğer fiderlerde de benzer etkiye neden olmaktadır. Arıza temizlendikten ve gerilim toparlandıktan sonra, yeniden beslenen ve yeniden hızlanan motorlar hep birlikte sistemden çok miktarda indüktif akım ve reaktif güç çekerler, bu da gerilim çökmesine neden olur.

Gerilim çökmeleri ve dalgalanmaları büyük bir oranda elektrik motorları işletme halindeyken meydana gelir. Nominal gerilim değerinin %10'un altına düşmesi motorlar için önemli değildir. Motor biraz daha fazla akım çekerek devrede kalmaya devam eder. Motorların aşırı akım çekmesi sonucu gerilim daha fazla düşer. Eğer 5-10 sn içinde gerilim kendini toparlayamaz ise düşük gerilim korumaları ve termal röleler aktif olur ve motor durur. Motordan yük düştüğünde gerilim eski haline gelecektir. Bu durumda motor tekrar yol alacaktır. Böylece daha sonra yük artırılabilir. Bu durumların uzun süre tekrarı sonucu 5 dakikadan 1 saate kadar süren salınımlar meydana gelir. Bu salınımlar yükün büyüklüğüne ve mesafeye göre değişim gösterir. Alçak gerilim hatlarında gözlemlenen gerilim salınımları 400 V ile 150 V arasındadır.

Bahsedilen probleme karşı tedbir geliştirmek amacıyla kuyu başlarında gerilim regülatörleri kullanılmıştır. Mevcut sistemde gerilim düşümünü önleyici tedbir olarak motorlar ile birlikte kullanılan gerilim regülatörleri su seviyesinin düşmesine rağmen pompanın yine de hızlı bir şekilde çalışmasını sağlamaya çalışarak sistemin toparlanma süresini attırmaktadır. Fakat gerilim regülatörlerinin dağıtım fiderlerine getirmiş olacakları ilave empedans ile hatların yüklenmesi daha da artacaktır. Kullanılan gerilim regülatörleri sulama motorları için lokal çözüm gibi görünse de genel olarak bağlı buldukları elektrik sistemine haricen yük olarak geri dönmektedirler. Hat sonu geriliminin düşmesi ve buna bağlı olarak rotor hızının düşmesiyle



#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

---

fider empedansının rezistif değerinde ciddi bir azalma gözlenecektir. Fiderin empedans değerinin düşmesiyle hem fiderden çekilen akım artacak hem de fidere ait yük açısında sapsmalar meydana gelecektir.

TEİAŞ danışmanlarından Prof. Francesco Ilceto raporuna göre kesintiler ve gerilim düşmeleriyle alakalı detaylar belirtilmiştir.

- i) *Raporlanan 12 adet 154 kV/31,5 kV fider ile sulama pompaları beslenmekte 68 adet 31,5 kV fiderle genellikle her türlü yük beslenmekte ancak ağırlıklı olarak sulama pompalarını beslemektedir. Söz konusu fiderlerin yaklaşık puant yükü 980 MW olarak ölçülmüştür. Bir çok fiderin puant yükü yaklaşık 15-30 MW arasındadır. Raporlanan 31,5 kV fiderlerdeki kesinti sayısının çok fazla olduğu görülmüştür. Dikmen, Kızıltepe ve Mardin TM lerden beslenen 22 fiderde Temmuz döneminde 1466 kesinti olmuştur. Sulama pompalarını besleyen 68 fider için temmuz ayında 4000 kesintiye yakın kesinti yaşanmıştır, bu da 11 dakika da bir kesinti olduğu anlamında gelmektedir.*
- ii) *Geceleri Atatürk, Karakaya ve Birecik santrallerinin devre dışı olduğu, kısa devre gücünün azaldığı ve şebekenin daha zayıf olduğu durumlarda, saniyeler boyunca süren büyük gerilim çökmeleri ve çukurları sırasında aşağıdaki olaylar meydana gelir.*

a. *31.5kv fiderde meydana gelen kısa devre arızası, söz konusu fiderden beslenen motorlarda bir yavaşlamaya neden olur, aynı şekilde aynı 31.5 kV baralara bağlı diğer fiderler de de aynı etkiye neden olur. Arıza temizlendikten ve gerilim toparlandıktan sonra, yeniden beslenen ve yeniden hızlanan motorlar hep birlikte sistemden çok miktarda indüktif akım ve reaktif güç çekerler, bu da gerilim çökmesine neden olur.*

b. *31.5 kV fider yeniden enerjilendiğin de bütün motor pompaları aynı anda çalışmaya başlar. Motorlar sincap kafesi modeli olup yıldız üçgen başlatma anahtarına sahip olmadıklarından, ilk anda nominal akımın 5-6 katı yol verme akımı çekerler. Bu da büyük bir gerilim çukuru oluşmasına neden olur. örneğin; 15 MW'lık sulama pompasını besleyen fider, (motor kurulu gücü yaklaşık olarak 20 MW , yol verme gerilimi 0.85pu), yaklaşık 80/90 MVar güç çekebilir. Özellikle geceleyin Türkiye'nin güneydoğusundaki büyük hidroelektrik santrallerin servis dışı olduğu durumlarda, çekilen sözkonusu reaktif güç, iletim şebekesine bağlı santrallerden sağlanır, ve bazı 380 kV baralarda gerilim düşmesine sebep olur. Fiderlerin enerjilenmesi sırasında meydana gelen gerilim çukurları bölgedeki diğer 31.5 kV fiderlerden beslenen motorlarda elektromekanik tranziyentlere de neden olur, böylelikle olayların karmaşıklığı artar.*

- iii) Kısa devre arızasından kısa bir zaman sonra 31.5 kV fiderlerin yeniden enerjilenmesi, yukarıda (a) ve (b) maddelerinde açıklanan her iki olaya sırasıyla sebep olur. Kayıtlarda bildirilen ve her 5–10 dakikada yineleyen kesintiler 31.5 kV fiderleri etkilemekte, bu nedenle çok sayıda tekrarlanan gerilim çukurları meydana gelmektedir.
- iv) Gerilim kayıtlarının yeniden gözden geçirilmesiyle, birçok durumda geçici gerilim çukurlarını (örneğin kısa devre arızalarından sonra) takiben gerilim toparlanması olduğu anlaşılmaktadır. YG baralarında, gerilim çukurundan sonra kaydedilen gerilim seviyesi, arıza öncesindeki gerilim kayıtlarından bir şekilde daha yüksektir. Ondan sonra, gerilim tedrici olarak birkaç dakika içinde arıza öncesindeki değerine geri dönmektedir. bu olayın açıklanması kolay değildir. Kararlılık sınırına yakın çalışan bazı motorların, gerilim çukuru ve moment azalmasından dolayı durması veya aşırı yük koruma tarafından şebekeden ayrılmaları buna bir sebep olabilir. Bu nedenle fider yükleri anlık olarak azalır, servis dışı olan bütün motorlar yeniden servise girince de normal değerine döner.

#### 4.6. Pilot Olarak Seçilen Sulama Tesisi

Benzetim çalışmalarımızda yaşanan sorunları göstermek amacıyla Kızıltepe Ovasında bir tarım alanındaki sulama tesis sorunları yerinde görmek ve sayısal benzetimleri yapılması amacıyla seçilmiştir. Seçilen sulama tesisi 10 hektar (100 dönüm) alanı üzerine kurulu pamuk ve mısırın yoğunlukla bunun yanında çeşitli ürünlerin yetiştirildiği tarım yapılan bir alandır. Bu tesisin 154 kV Dikmen TM'nin 34,5 kV Yayıklı fiderinde elektrik bağlantısı bulunmaktadır.

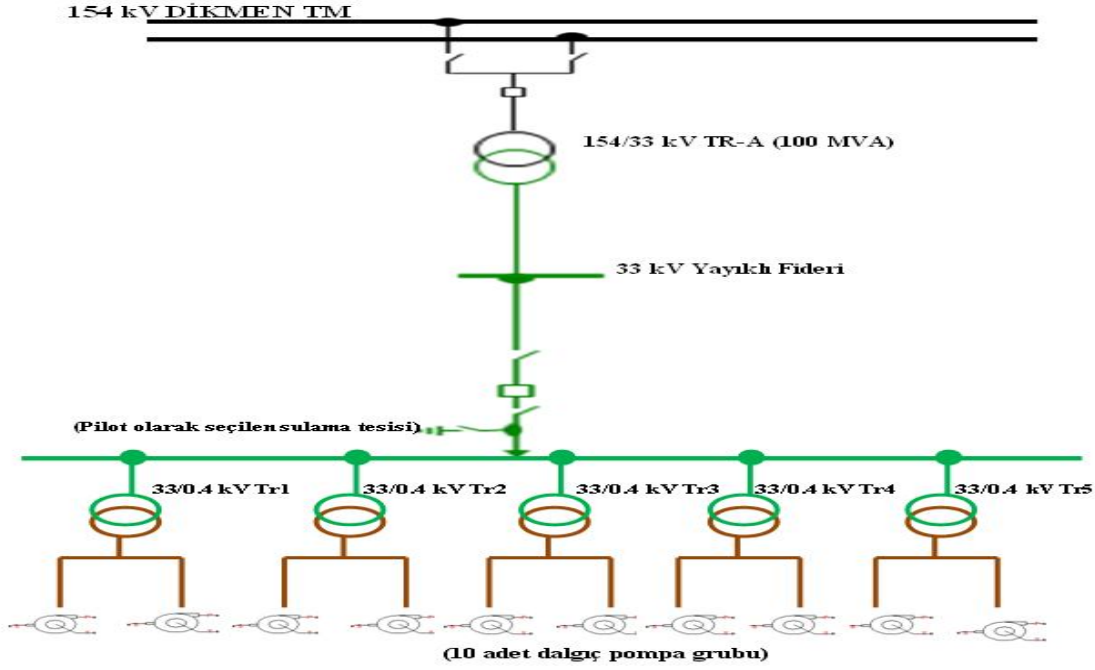


Şekil 4.2. Seçilen tesiste bir pompanın görünümü

Mevcut tesiste dalgıç pompa tipinde 10 adet santrifüj pompa bulunmaktadır. Sulama kanallarının eksikliğinden dalgıç pompa kullanımının zorunlu olduğu tesiste pompaların 230

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

ve 160 metreden su çektikleri tespit edilmiştir. Her iki pompa grubuna 33/0,4 kV 320 kVA lik 5 adet transformatör bulunmaktadır. Aşağıdaki Şekil 4.3. tesisin elektrik tek hat şeması gösterilmiştir.



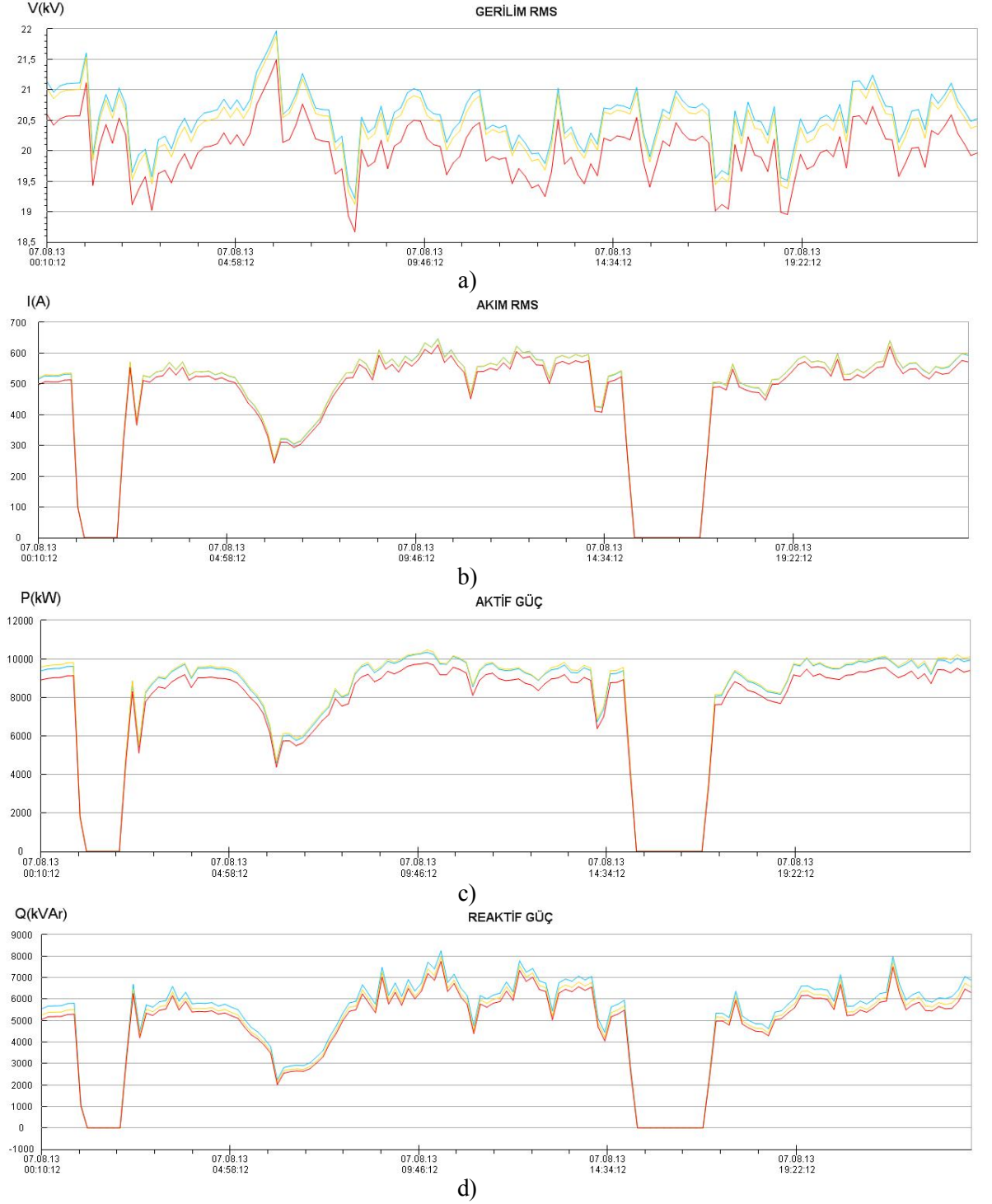
Şekil 4.3. Pilot olarak seçilen sulama tesisinin elektrik tek hat şeması

Pilot olarak seçilen tesiste her pompa grubunun başında 160 kVAr gerilim regülatörleri mevcuttur. Daha önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi gerilim regülatörleri bölge çiftçisinin gerilim düşmelerine karşı kendilerince aldığı sisteme ekstra yük getiren bir elektriksel teçhizattır. Aşağıda Şekil 4.4 de tesiste bulunan gerilim regülatörlerinden birinin görünümü verilmiştir



Şekil 4.4. Tesiste bulunan gerilim regülatörünün görünümü

Tesisin bağlı olduğu Dikmen TM 154/33 kV Tr-A ait TEİAŞ'ın Milli Güç Kalitesi Projesi(MGKP) kapsamında yerleştirdiği güç çözümlenmelerinden elde edilen gerilim çökmelerinin yoğun yaşandığı Ağustos ayında 07.08.2013 tarihine ait gerilim, akım, aktif güç, reaktif güç değerleri Şekil 4.5. gösterilmiştir.

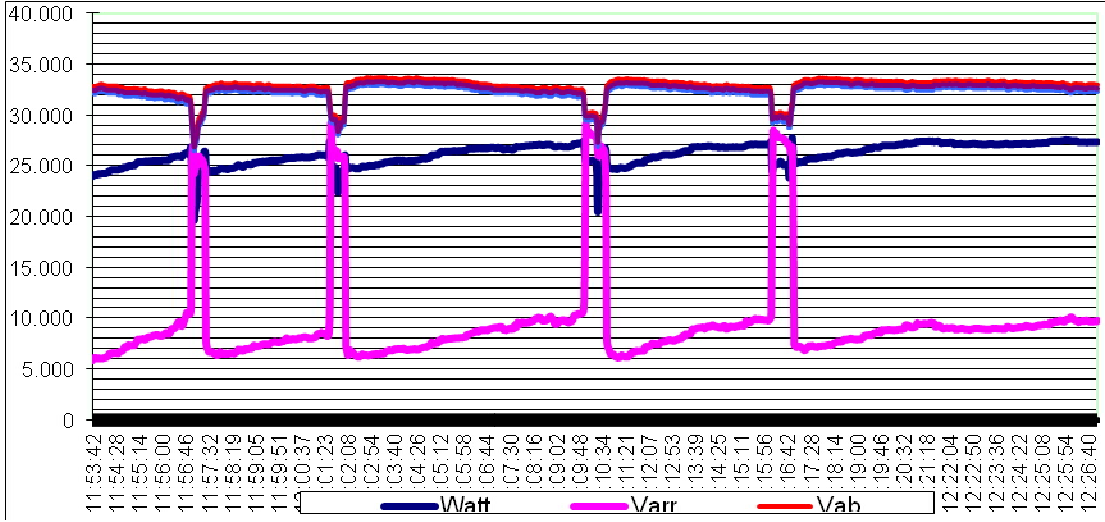


Şekil 4.5. 07.08.2013 tarihine ait Dikmen TM Tr-A a) gerilim b) akım c) aktif güç d) reaktif güç değerleri



## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Aynı trafo merkezinin güç analizörlerinden alınan faz-faz arası gerilimi ve yapılan sayısal benzetimlerin giriş gerilimi olarak modellenen 07.08.2012 tarihli gerilim değerleri Şekil 4.6. gösterilmiştir. Aynı grafiklerde aktif ve reaktif güçlerde gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Kızıltepe Dikmen Trafo Merkezinde 07.08.2012 tarihinde ölçülen gerilim ve aktif - reaktif güç değerlerinin değişim grafiği

Grafik incelendiğinde gerilimin 25 kV seviyesine kadar düştüğü görülmektedir. Gerilim düştüğü anlarda şebekeden çekilen aktif gücün azaldığı buna karşılık şebekeden çekilen reaktif gücün ise ciddi anlamda yükseldiği görülmektedir. Örneğin 12:09 anında gerilim 33 kV değerinden 25 kV değerine düşerken, şebekeden çekilen aktif güç 24 kW değerinden 19 kW değerine gerilemektedir. Bu sırada ise şebekeden çekilen reaktif güç 11 kVAr değerinden 29 kVAr değerine yükselmektedir. Bu yük değişimi ve gerilim salınımı, olayın büyük bir asenkron motor yük grubunun devreye alınması nedeniyle olduğunu göstermektedir.

### 4.7. Benzetim Çalışmaları

Matlab; (Matrix Laboratory); ilk defa 1985'de C.B Moler tarafından matematiksel hesaplamalar için geliştirilmiş bir programlama dilidir. İlk sürümleri Fortran diliyle yazılmış olmakla beraber son sürümleri C dilinde hazırlanmıştır. Matlab mühendislik alanında; sayısal hesaplama, veri çözümleri ve grafik işlemlerinde kullanılabilecek genel amaçlı bir program olmakla beraber özel amaçlı modüler paketlere de sahiptir. Power System Toolbox, Control Toolbox, Signal Toolbox gibi paket programlar (bilgisayar destekli denetim sistemi tasarımı) olup bunlar denetim sistemlerinin tasarımında çok etkili araçlardır.

Asenkron motor-pompa modelinin farklı şartlar altında simülasyonu Matlab/Simulink programı ile yapılmıştır. Simulink, dinamik sistem modellerinin kurulması, benzetimi ve çözümlenmesinde kullanılan MATLAB yazılımına ait eklenti bir paket programdır.

Benzetim çalışmasında oluşturulan sistemlerin bütününde gerilim kaynağı, asenkron motor modeli, dalgıç pompa modeli ve altı adımlı , uzay vektör pwm değişken hızlı sürücüleri yer almaktadır.

Benzetim modeli üç farklı senaryodan meydana gelmektedir. Bunlar asenkron motor pompa yükünün doğrudan,altı adımlı değişken hızlı sürücüyle ve uzay vektör pwm değişken hızlı sürücü ile sürülmesidir.

Aşağıda benzetim çalışmasında kullanılan modeller ve bloklar sıralanmıştır.

- Gerilim Kaynağı Modeli
- Asenkron Motor
- Dalgıç Pompa Modeli
- Altı adımlı AC sürücü
- Uzay-vektör pwm AC sürücü

#### 4.7.1. Gerilim Kaynağı Modeli

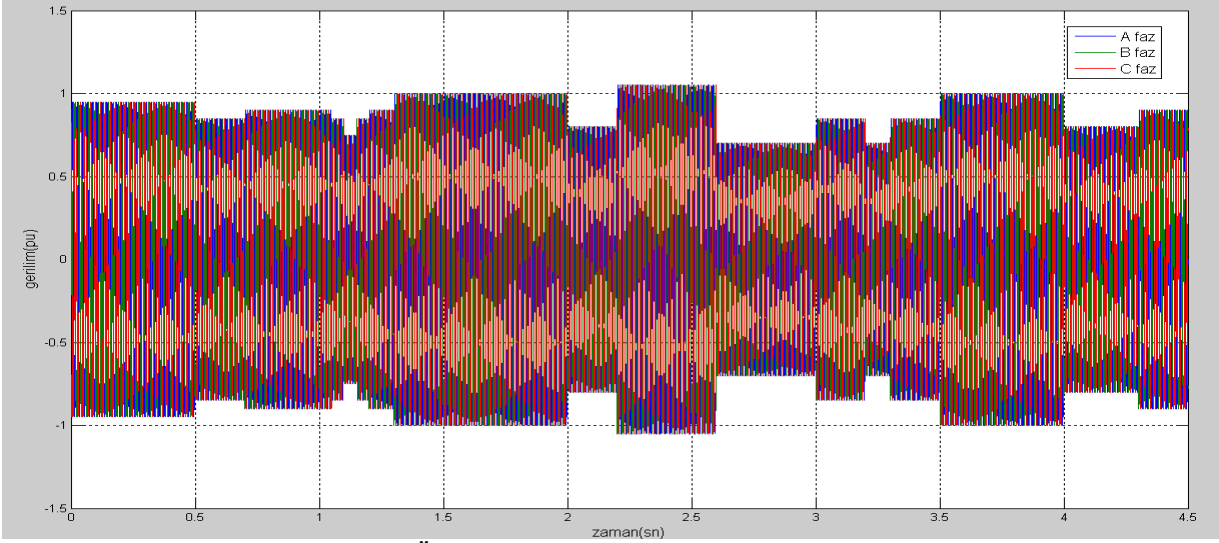
Yapılan benzetim çalışması, GAP bölgesinde sulamanın yoğun bir şekilde yapıldığı temmuz ayına ait pilot bölge seçtiğimiz tarımsal alanın beslendiği 154 kV Dikmen TM ve 33 kV Yayıklı fiderlerine ait sulama döneminde alınan ölçüm değerleri kullanılarak yapılmıştır.

Enerji analizörlerinden alınan grafiklerinin sayısal benzetimi Matlab/Simulink te Power System Toolbox programlanabilir üç faz AC gerilim kaynağında yapılmıştır. Bu bloğa gerilimin pik değeri, faz açısı ve frekansı girilmektedir.

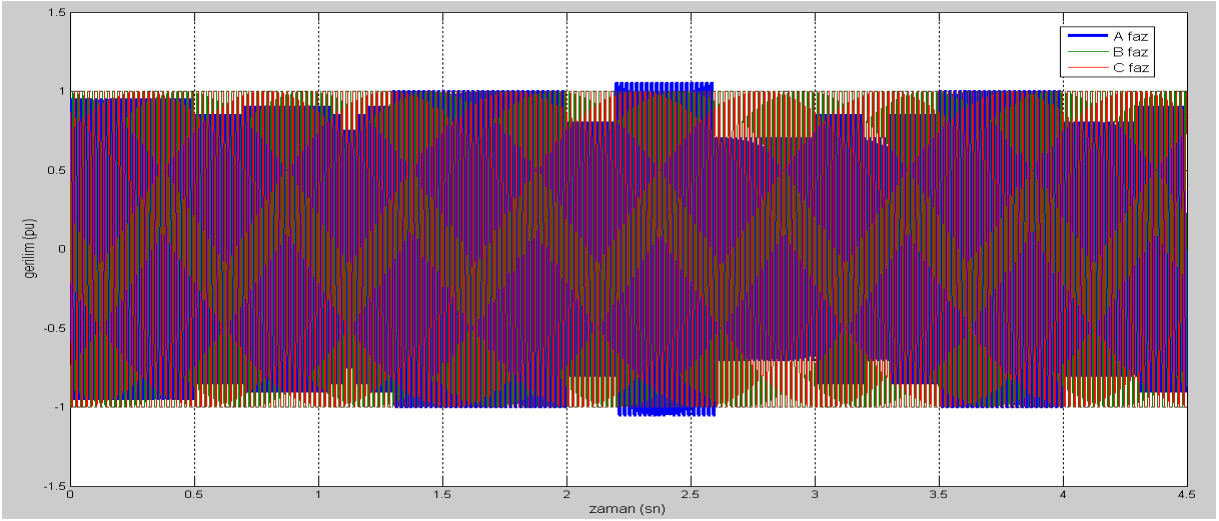
Benzetim çalışması elektrik beslemesinde son nokta olan motor giriş tarafında yapıldığından 31,5 kV/400 V dönüşümü yapılmıştır.Burada zaman aralıklarına göre genlik değişimleri dönüşüm yapıldıktan sonra per-unit olarak girilmiştir. Gerilimlerin üç faz dengesiz ve tek faz dengesiz gerilimlerin rms değeri Ek 4 'te verilmiştir.

Ölçümlerden elde edilen değerlerin simülasyona kullanılanları Şekil 4.7 ve Şekil 4.8 de gösterilmiştir.

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI



Şekil 4.7. Üç faz dengesiz giriş gerilimi grafiği



Şekil 4.8. Tek faz (A fazı) dengesiz giriş gerilimi grafiği

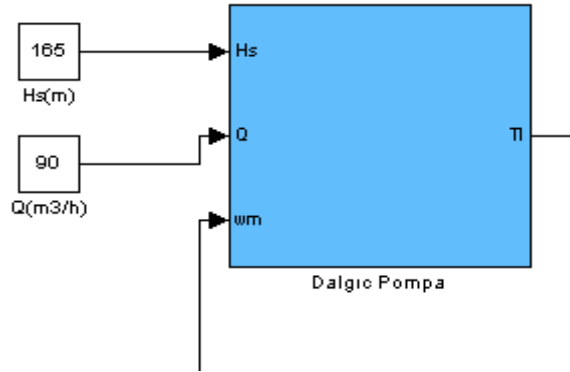
### 4.7.2. Asenkron Motor Modeli

Hazırlanan modelde asenkron motor dinamik olarak modellenmiştir. Dinamik modelde ise değişkenler zamanla değiştiğinden ötürü hız da değişkenlik gösterir. Sayısal benzetim işlemimizde Matlab/Simulink Power System Toolbox'dan asenkron makine bloğu kullanılmıştır.

Sulama alanında kullanılan motorların 100-150 BG arasında güçlere sahip olduğundan 110 kW(150 BG) sincap kafesli elektromanyetik moment girişli asenkron motor simülasyonda kullanılmak üzere seçilmiştir. 110 kW asenkron motor un parametreleri Ek 2 de verilmiştir.

### 4.7.3. Dalgıç Pompa Modeli

Dalgıç pompalarda hızın akış, basınç ve güç sarfiyatını nasıl etkilediğini ideal fan (afinite) kanunları tanımlar. Bu benzeşim kanunları 3. bölümde detaylıca anlatılmıştır. Şekil 4.9.'da dalgıç pompa bloğu gösterilmiştir.



Sekil 4.9. Matlab/Simulink te dalgıç pompa bloğu

Sistem karakteristiği, bir sistemde basma yüksekliği ile debi arasındaki ilişkidir. Basma yüksekliğinin bir bölümü debi ile değişmez, diğer bölümü ise dinamik karakterde olup, debinin karesi ile orantılıdır. Aynı zamanda boru geometrisi, pürüzlülük, akışkanın viskozitesi gibi birtakım başka faktörler de basma yüksekliğine etki eder. Pekçok endüstriyel uygulamada basma yüksekliği tamamen sürtünme kayıplarından oluşur (kapalı devre sirkülasyon sistemleri). Sürtünme kayıpları  $H_k$  debinin karesi ile doğru orantılı olduğundan.

$$H_k = KQ^2 \quad (4.1)$$

Şeklinde gösterilebilir. Burada K sistem sabitidir. Statik basma yüksekliği ( $H_s$ ) debiye bağlı değildir. Sistemin gerektirdiği basma yüksekliği, statik basma yüksekliği  $H_s$  ile sürtünme kayıpları  $H_k$  toplamıdır.

$$H = H_s + H_k \quad (4.2)$$

Bu eşitlik (5.3) eşitliği yerine konursa:

$$H = H_s + KQ^2 \quad (4.3)$$

Pompa verimini hesaba katılmazsa, akışkanı bir sisteme pompalamak için gereken güç (P), debi (Q), basma yüksekliği (H) ve akışkanın yoğunluğunun ( $\rho$ ) çarpımına eşittir. Burada debi (lt/sn), basma yüksekliği (m), yoğunluk ( $\text{kg/m}^3$ ), güç ise (kW) olarak hesaba alınmalıdır.

$$P = \rho \cdot Q \cdot g \cdot H \quad (4.4)$$

(4.4) nolu eşitlikten basma yüksekliğini alıp güç eşitliğine taşırsak:

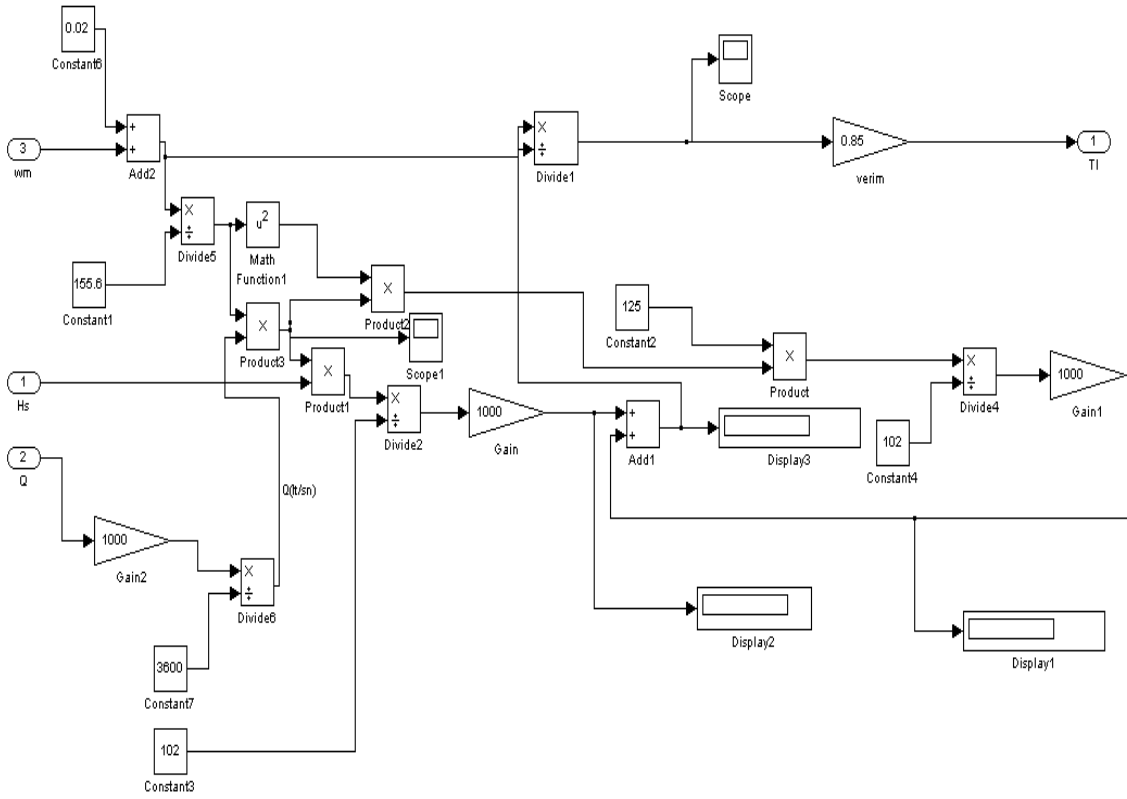
$$P = \rho \cdot Q \cdot g \cdot (KQ^2 + H_s) \quad (4.5)$$

elde edilir.

Şekil 4.10. 'da Matlab/Simulinkte benzetimi yapılan pompa modeli gösterilmiştir.

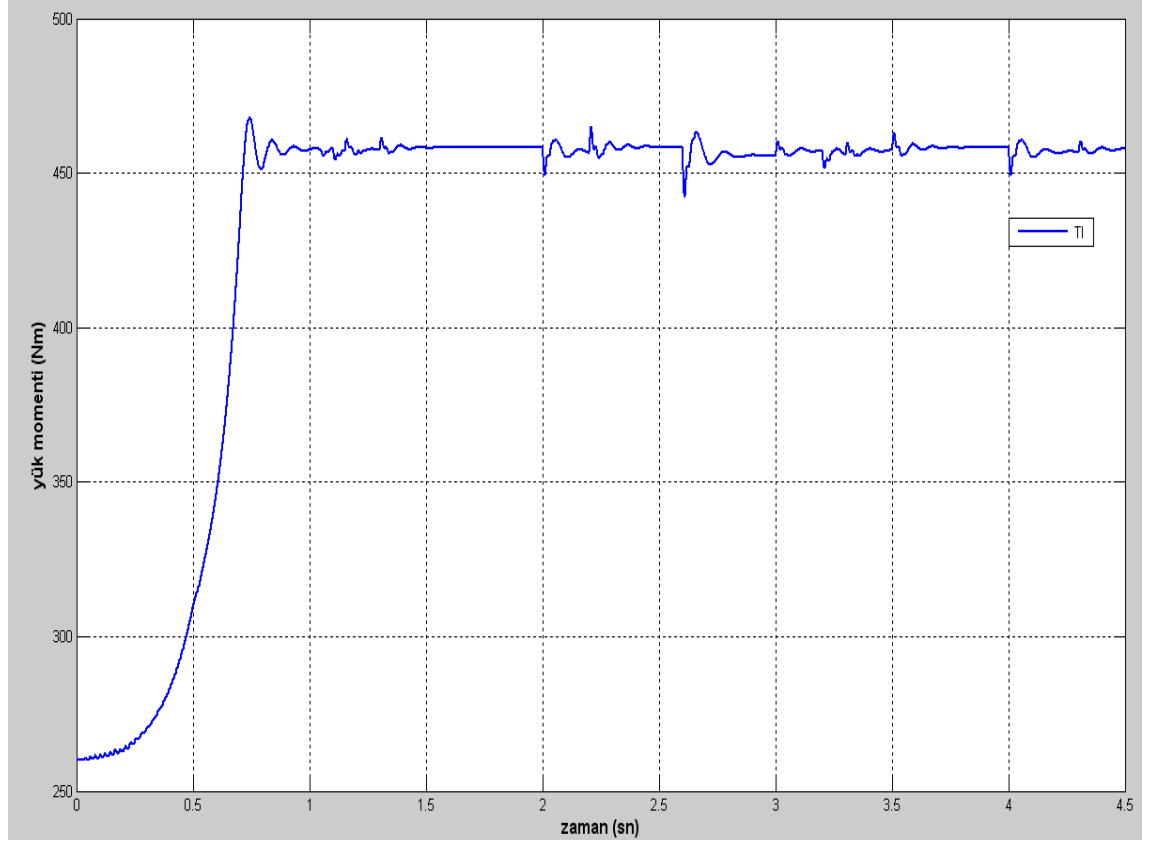


## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI



Şekil 4.10. Matlab/Simulink te dalgıç pompa modeli

Pompa modelinde giriş parametreleri debi(Q), statik basınç(Hs) ve asenkron motorun çıkışından alınan devir sayısıdır. Çıkış parametresi ise yük momenti  $T_{load}$ 'dir. Bu moment asenkron motorun modelinde yük momenti olarak kullanılmıştır. Şekil 4.11 modellenen pompanın yük momentinin çıkış grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Pompa yük momentini çıkış grafiği

Modelde seçilen çalışma alanındaki dalgıç pompaya ait statik basınç 165 m dinamik basınç 125 m olarak girilmiştir. Debi değeri pompa için  $90 \text{ (m}^3/\text{s)}$  veya  $25 \text{ (lt/sn)}$  olarak alınmıştır.

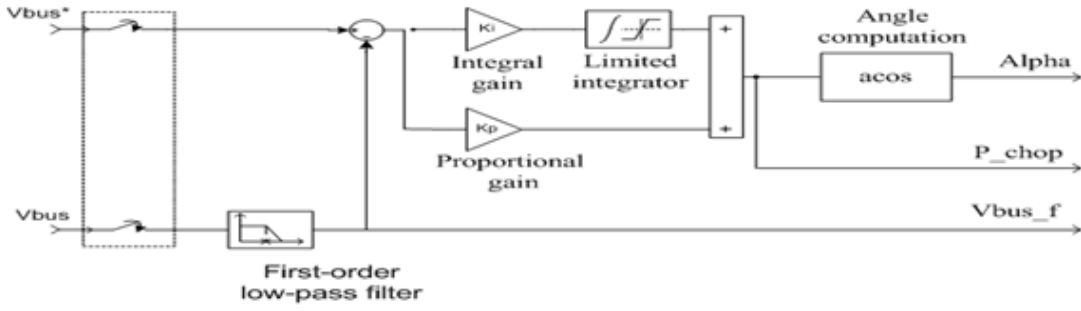
#### 4.7.4. Gerilim Kaynaklı Evirici Bloğu

Benzetim çalışmasında gerilim kaynaklı evirici (VSI) bloğu olarak Matlab/Simulink Power System Toolbox AC Driver bölümünde, altı adımlı AC sürücü (six-step) ve uzay vektör pwm AC sürücü (space-vector pwm) blokları kullanılmıştır. Bu bloklardaki doğru akım bara ve konvertör parametreleri her iki sürücü sistemi için modellenmesi yapılan asenkron motor pompa grubuna göre, belirlenmiştir sistemde kullanılan değerler girilmiştir. değerler Ek 3 gösterilmiştir.

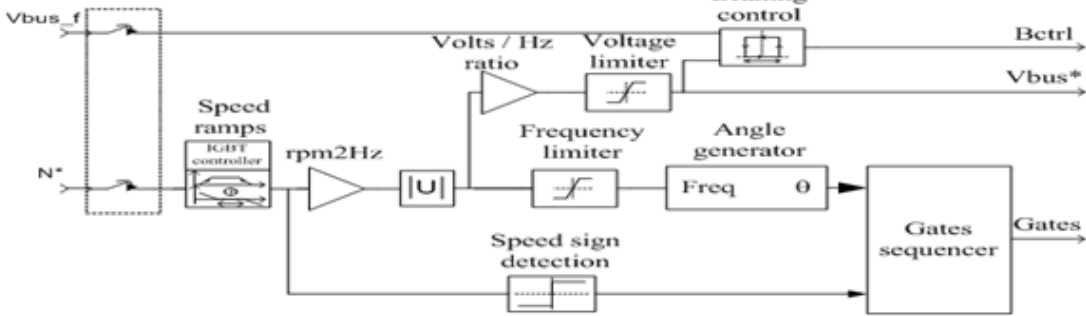
İkinci yöntem olarak tanımladığımız altı adımlı sürücü sisteminin doğru akım bara gerilim kontrolü ve altı adım üretim bölümlerinin şeması Şekil 4.12 gösterilmiştir. Aynı şekilde Üçüncü yöntem olarak tanımladığımız uzay vektör pwm sürücü sisteminin hız kontrol ve uzay vektör pwm üretici şemaları Şekil 4.13'de gösterilmiştir.

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

### Dc Bara Gerilimi Kontrolü

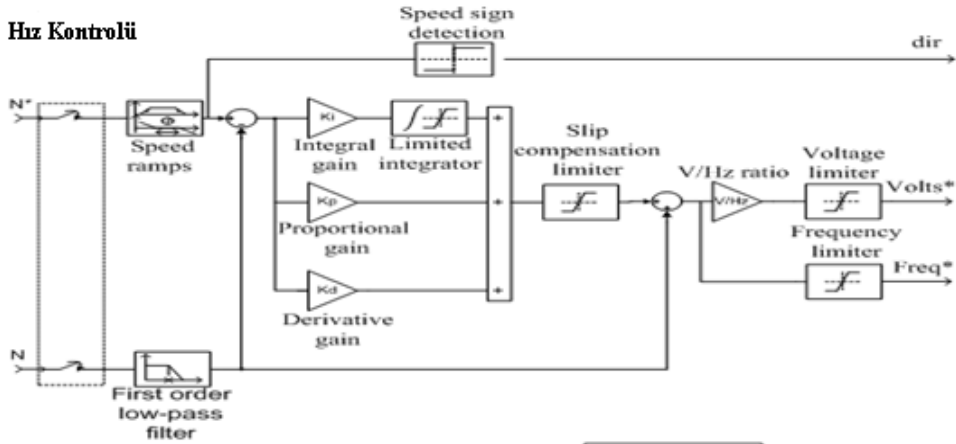


### Altı Adım Üretimi

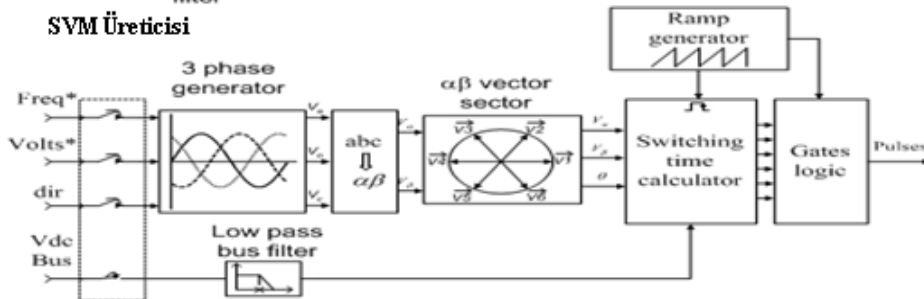


Şekil 4.12 Altı adımlı gerilim kaynaklı evirici şeması

### Kontroller Şeması



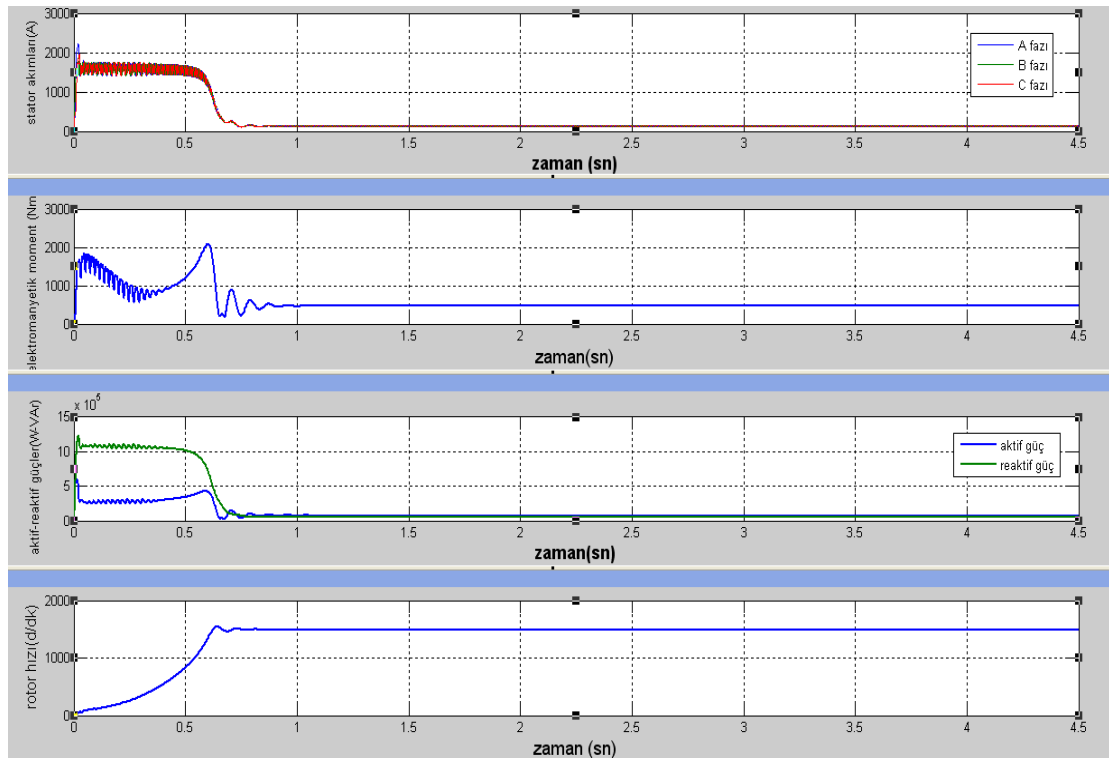
### SVM Üreticisi



Şekil 4.13. Uzay vektör pwm gerilim kaynaklı evirici şeması

#### 4.7.5. Yöntem

Sayısal benzetimi yapılan asenkron motor-dalgıç pompa grubu üç senaryo şeklinde yol verilmiştir. Bunlar; doğrudan altı adımlı AC sürücü ve uzay vektör pwm AC sürücüyle yol verme şeklinde olmuştur. Analizler iki farklı dengesiz gerilim altında yapılmış bunlar üç faz ve tek faz dengesiz gerilimlerdir. Yapılacak analizlerde bu üç senaryoyu karşılaştırmak amaçlı benzetimi yapılan model dengeli gerilim altında sürülmüştür. Dengeli gerilim altında elde edilen grafiklerde stator akımları, elektromanyetik moment, aktif-reaktif güç ve rotor hızları Şekil 4.14. de gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Dengeli gerilim altında doğrudan yol vermede elde edilen sonuçlar

Yukarıdaki Şekil 4.14. de elde ettiğimiz dengeli gerilim altında doğrudan yol verme şeklinde elde edilen değerler Çizelge 4.3. de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Dengeli gerilim altında doğrudan yol verme yönteminde motor parametreleri

Gerilim tipi	I <sub>s</sub>	T	P	Q	w
Dengeli	141,2 A	466,65 Nm	74,42 kW	52,1 kVAr	1484 d/dk

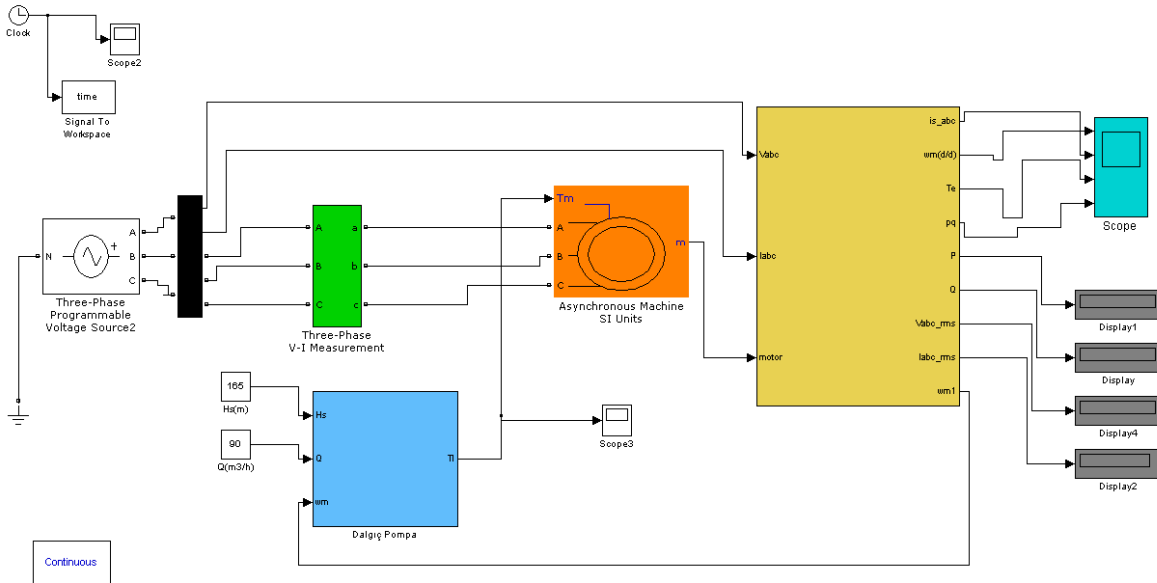
Çizelge 5.1 den alınan değerlere göre stator akımı 141,2 A, elektromanyetik moment 466,65 Nm, aktif-reaktif güçler 74,42 kW-52,1 kVAr ve rotor hızı 1484 d/dk olarak ölçülmüştür. Elde edilen bu değerler aşağıda sayısal analizleri yapılan üç farklı senaryo için baz değer olarak kullanılmıştır

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 4.7.5.1. Doğrudan Yol Verme Asenkron Motor-Pompa Modelinin Matlab/Simulink İle Sayısal Benzetimi

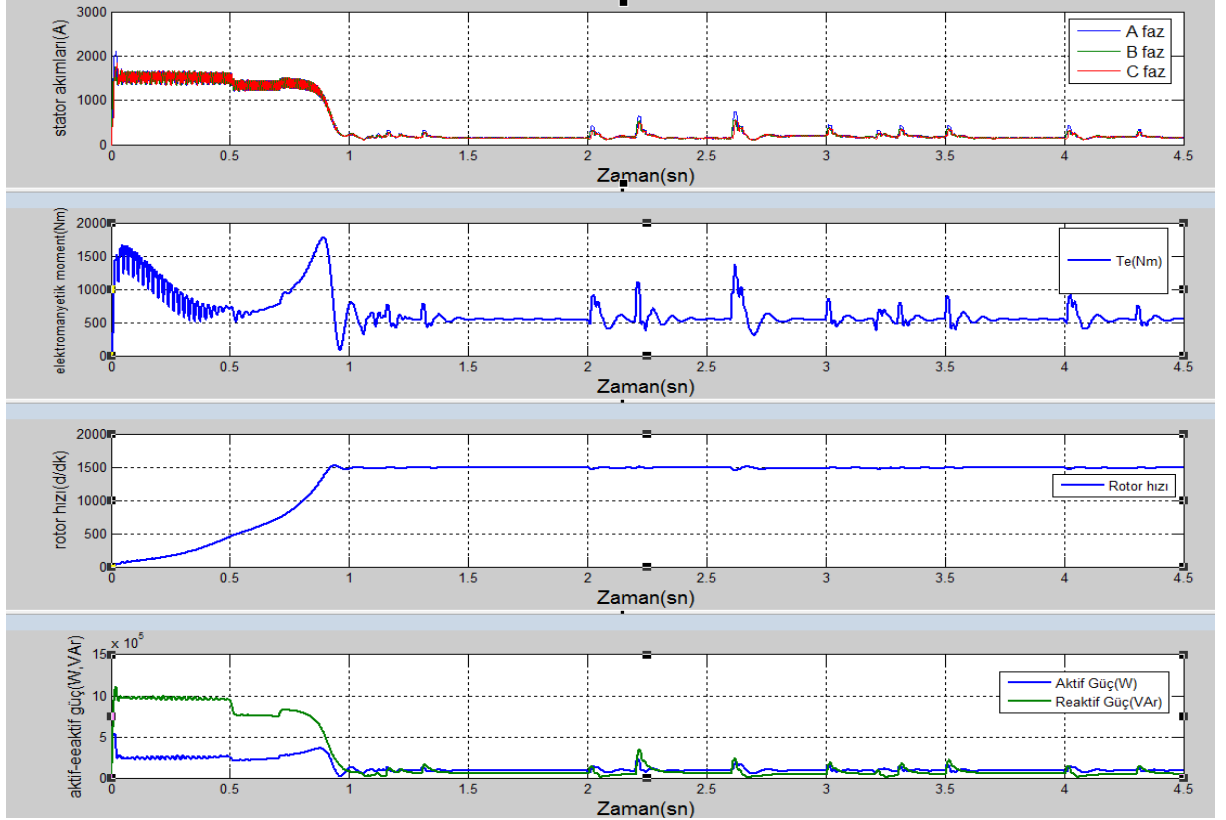
Hazırlanan modelin gerçek değerlere yakın sonuç verebilmesi için seçilen çalışma alanında kullanılan asenkron motor gücü olan 150 BG (110 kW) benzetim modelinde motor gücü olarak seçilmiştir. Birinci senaryo pompa yükü bağlı motorlar doğrudan yol verilmesidir. Bu derece büyük güçlü asenkron motorlara doğrudan yol verilmesi mühendislik tekniklerine uygun değildir. Ancak ele alınan bölgede yapılan incelemelerde birçok sulama tesisinde 150 BG gücündeki motorlara doğrudan yol verildiği tespit edilmiştir. Bu nedenle doğrudan yol verilen motorların analizinin yapılması öngörülmüştür.

Doğrudan yol verme şeklinin Matlab/Simulink te yapılan sayısal benzetim Şekil 4.15’de gösterilmiştir.

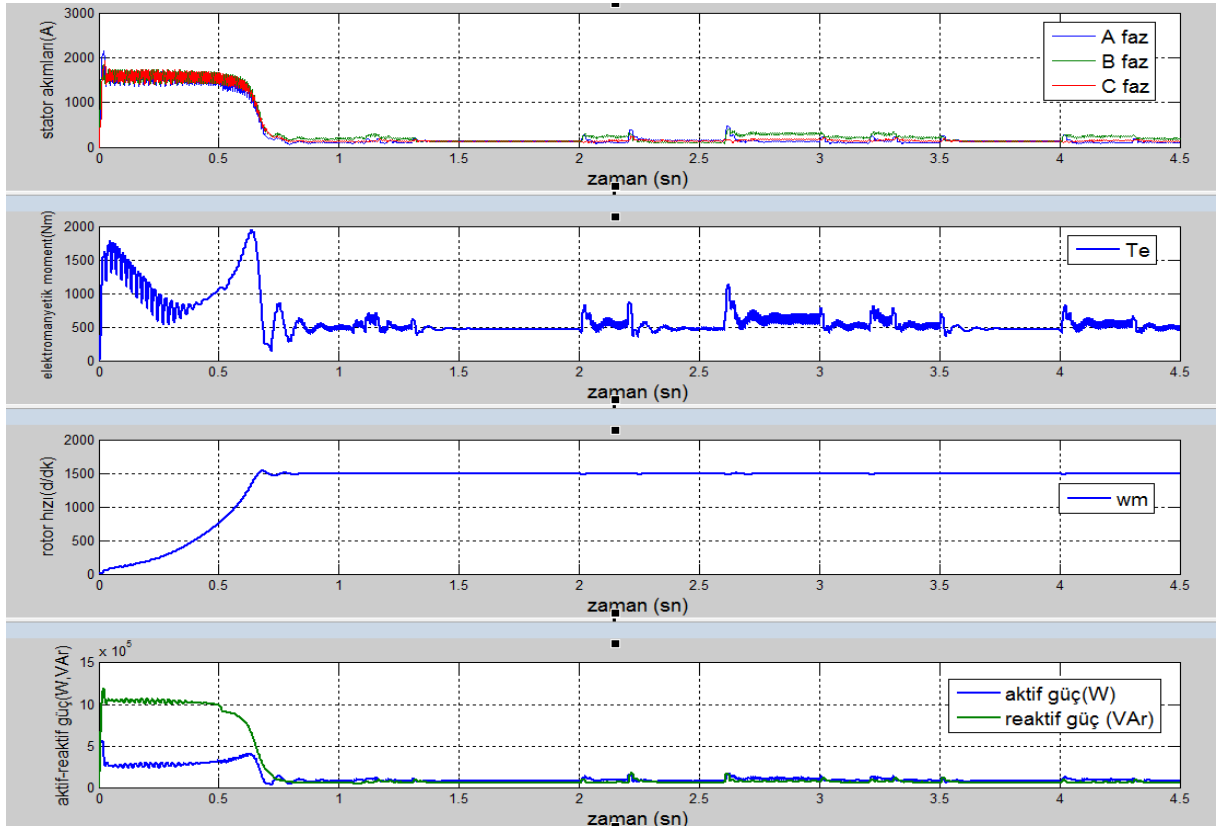


Şekil 4.15. Doğrudan yol vermenin matlab/simulink benzetim modeli

İlk senaryoda seçilen tesisde üç faz ve bir faz değişken gerilim altında motora pompa yükü bağlıyken doğrudan yol verme şekliyle modellenmiş stator akımları , elektromanyetik moment , rotor hızı ve aktif reaktif güçler incelenmiştir. İncelenmelerden elde edilen grafikler Şekil 4.16 ve Şekil 4.17 de gösterilmiştir.



Şekil 4.16. Üç faz dengesiz gerilim altında doğrudan yol vermede elde edilen sonuçlar



Şekil 4.17. Tek faz (A fazı) gerilim dengesizliği altında doğrudan yol vermede elde edilen sonuçlar

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

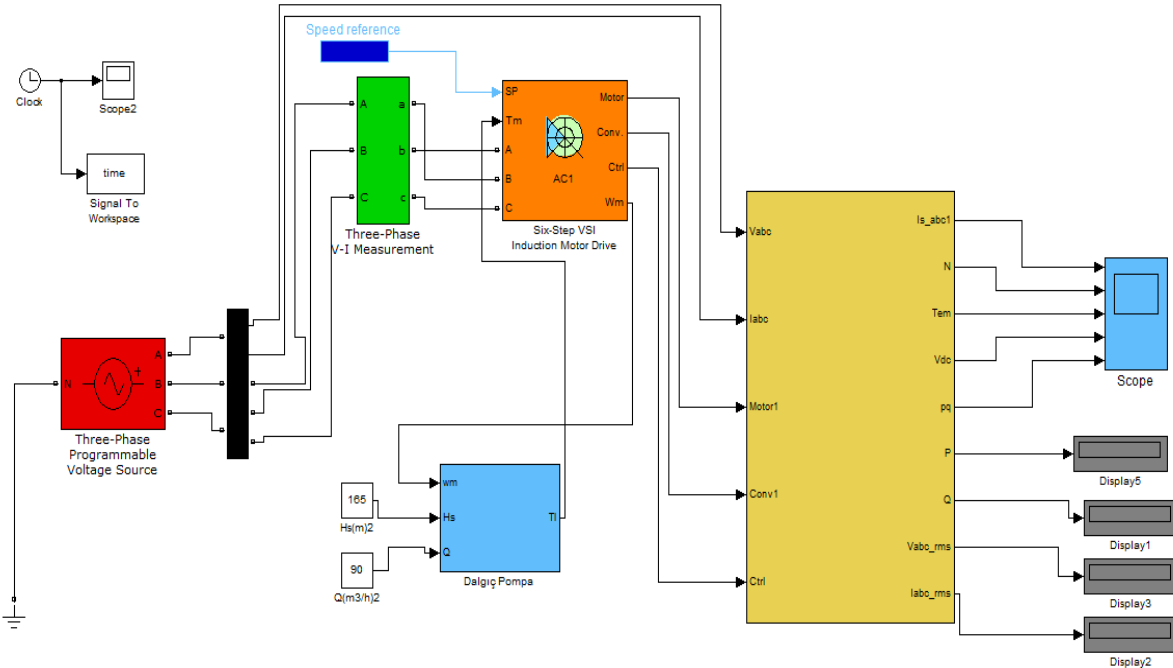
Çizelge 4.4. de elde edilen sonuçlardan aldığımızı göre tek faz ve üç faz gerilim dengesizliği altındaki doğrudan yol verme yöntemindeki kalkış anındaki stator akımları ( $I_{s_a}$ ), elektromanyetik moment ( $T_a$ ), aktif ve reaktif güçler ( $P_a$ - $Q_a$ ) ve yol alma süresi  $w_a$ (sn) gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Üç faz ve tek faz dengesiz gerilim altında doğrudan yol verme yönteminde yol alma parametreleri(pu)

Gerilim Dengesizliği Tipi	$I_{s_a}$	$T_a$	$P_a$	$Q_a$	$w_a$ (sn)	V(p.u)
3 $\Phi$	11,75	3,81	3,64	19,05	1,14	0.9
1 $\Phi$	12,3	4,16	4,08	20,53	0,85	0.9

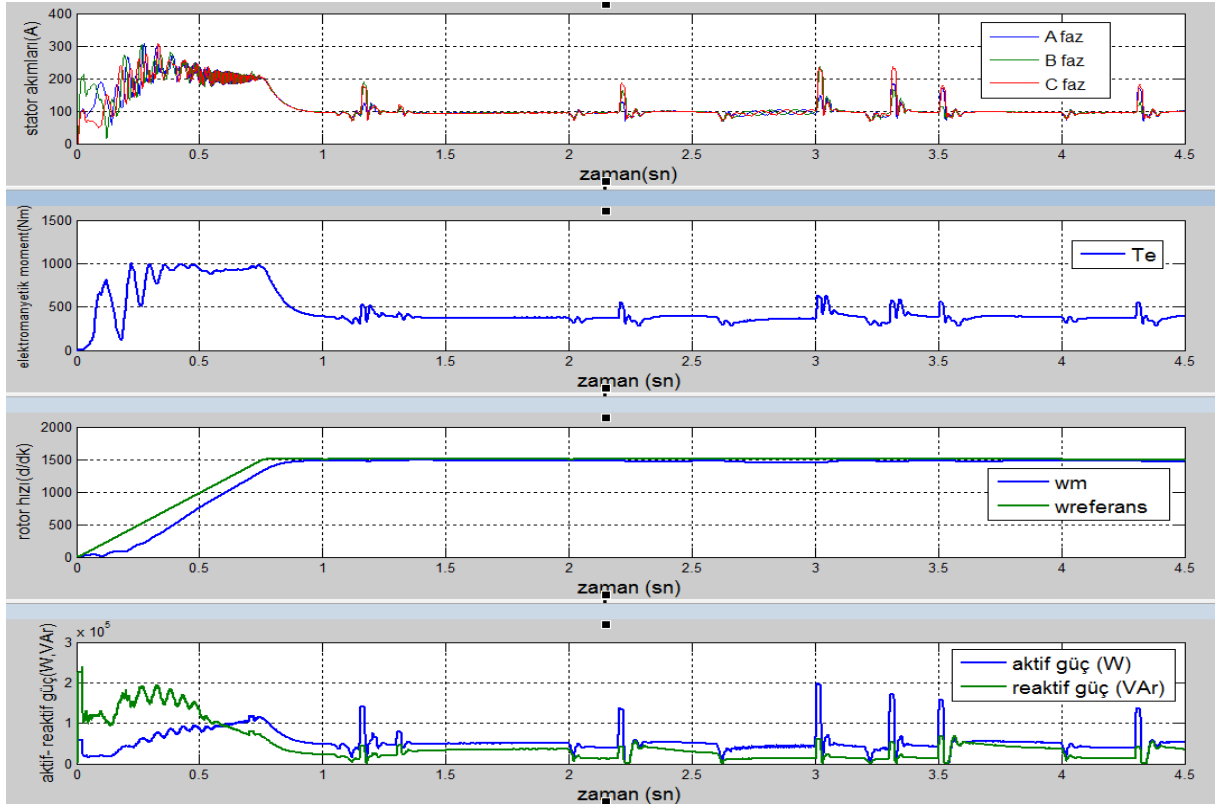
### 4.7.5.2. Altı Adımlı Kare Dalga Gerilim Kaynaklı Değişken Hızlı Sürücüyü Yol Vermenin Matlab/Simulink İle Sayısal Benzetimi

Yaptığımız benzetimlerden ikinci senaryo olan altı-adımlı gerilim kaynaklı a.c sürücü ile pompa-motor grubu sürülmüştür. Yapılan benzetim çalışmasının Matlab/simulink teki blok diyagramı Şekil 4.18 de gösterilmiştir.

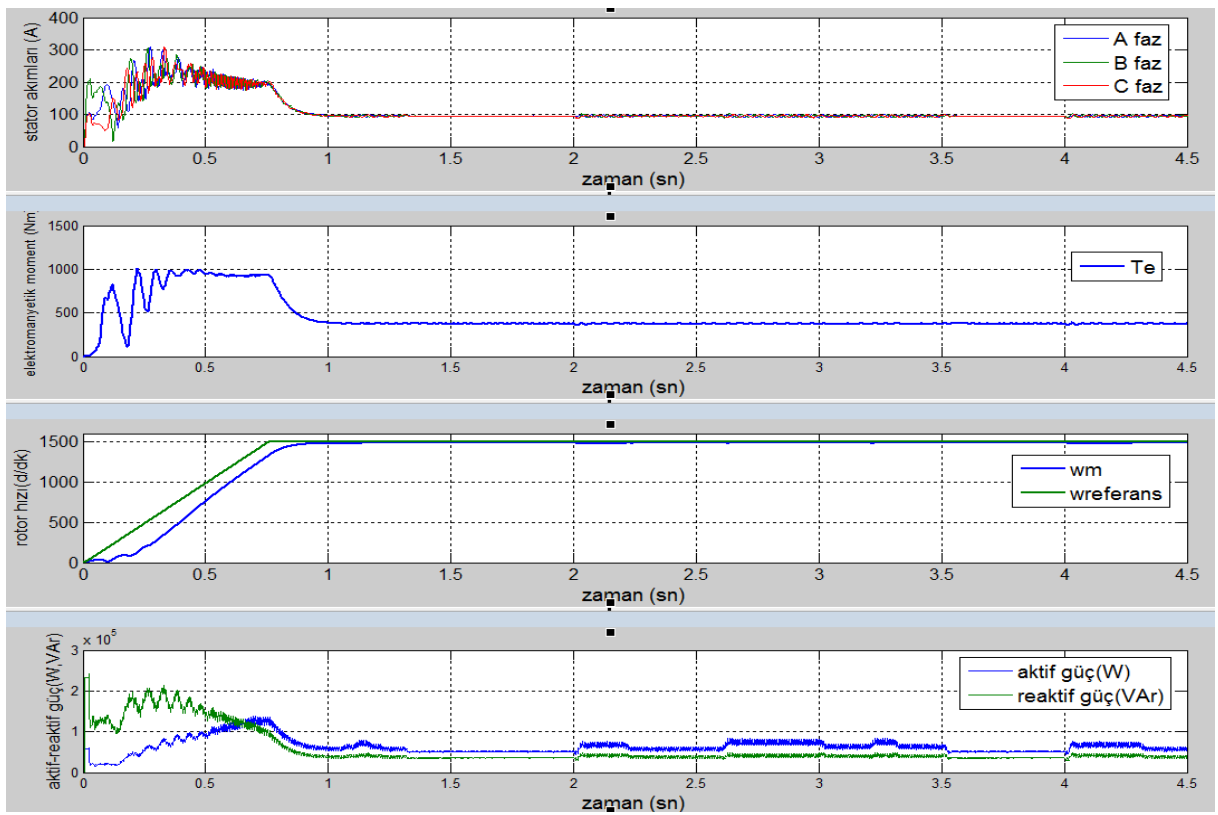


Şekil 4.18. Altı-adımlı AC sürücüyü yol verme Matlab/Simulink benzetim modeli

İkinci senaryoda seçilen tesis de 3 faz ve 1 faz değişken gerilim altında motora pompa yükü bağlıken altı-adımlı gerilim kaynaklı AC sürücü modellenmiş stator akımları , elektromanyetik moment, rotor hızı ve aktif reaktif güçler incelenmiştir. İncelenmelerin elde edilen sonuçlar Şekil 4.19 ve Şekil 4.20 de gösterilmiştir.



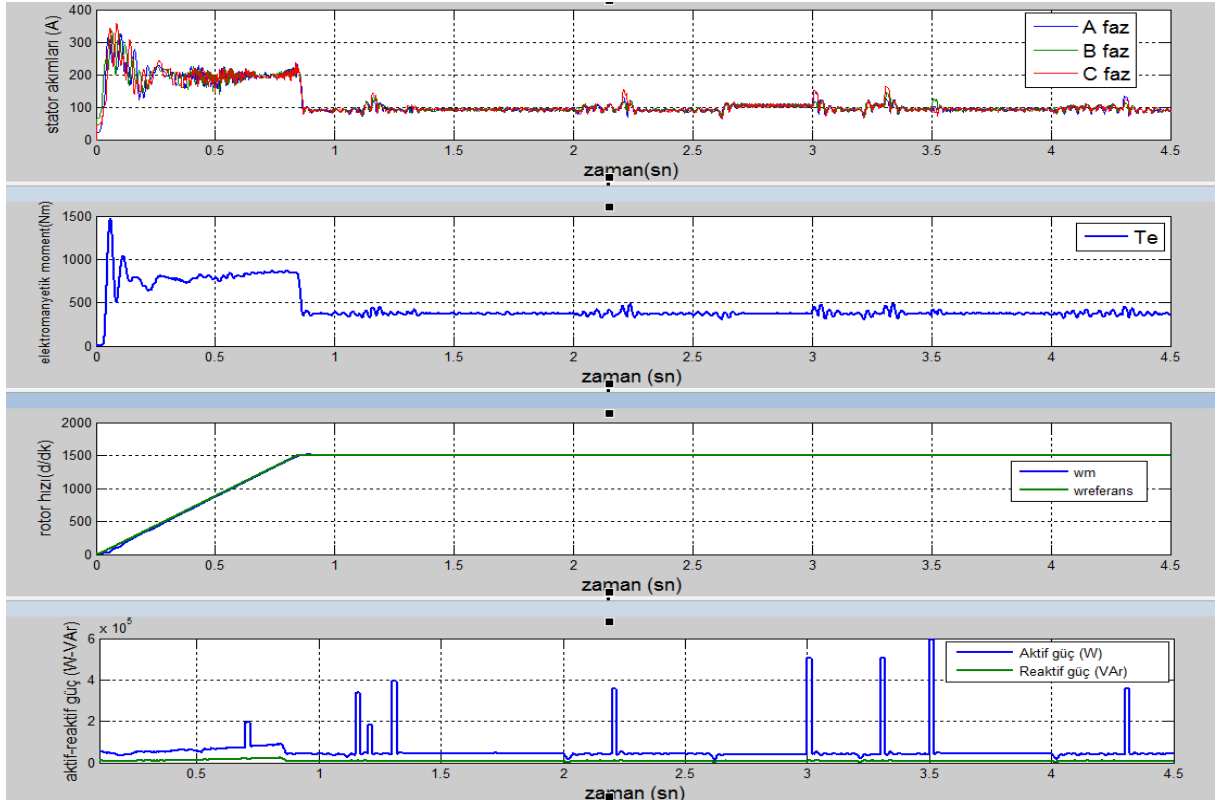
Şekil 4.19. Üç faz dengesiz gerilim altı adımlı AC sürücüde elde edilen sonuçlar



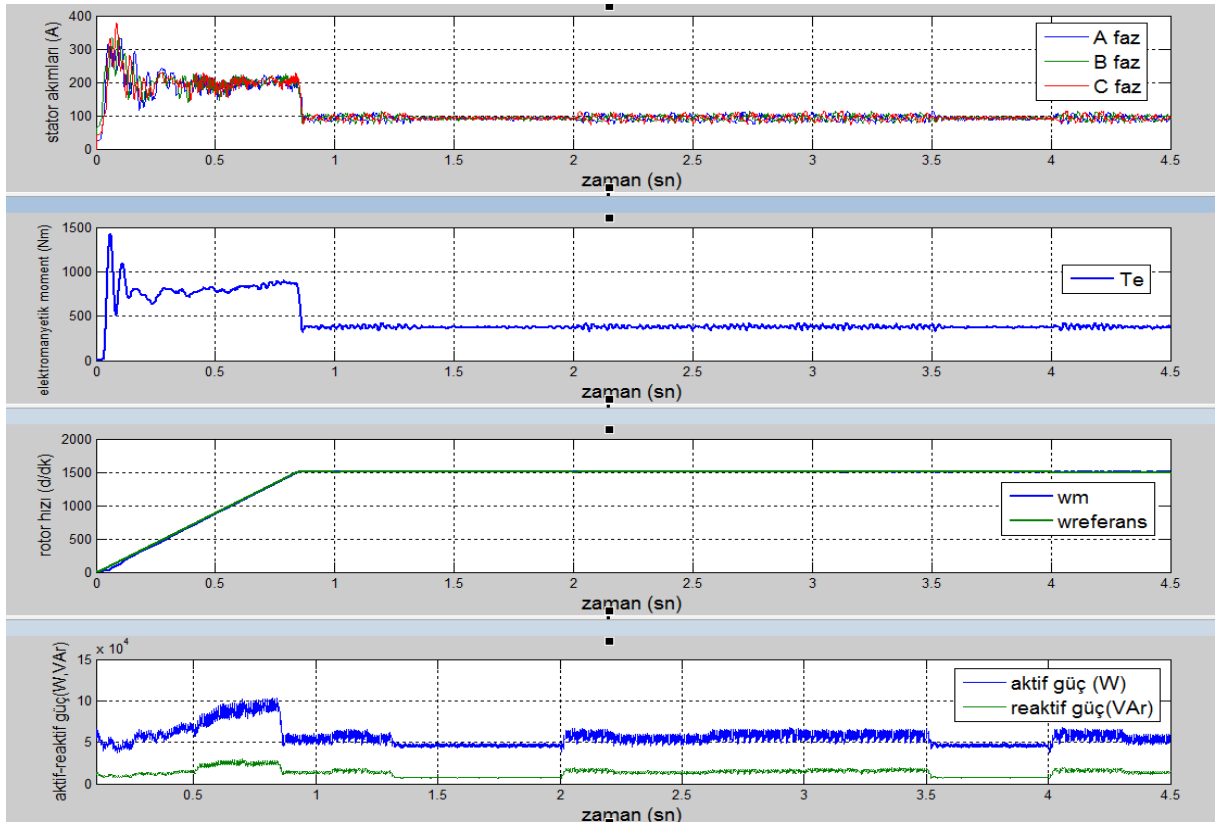
Şekil 4.20. Tek faz(A fazı) dengesiz gerilim altında altı-adımlı AC sürücüde elde edilen sonuçlar







Şekil 4.22. Üç faz dengesiz gerilim altında uzay-vektör pwm AC sürücünde elde edilen sonuçlar



Şekil 4.23. Tek faz(A fazı) dengesiz gerilim uzay-vektör pwm AC sürücünde elde edilen sonuçlar

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Çizelge 4.6 de elde edilen sonuçlara göre tek faz ve üç faz gerilim dengesizliği altındaki uzay-vektör yöntemindeki kalkış anındaki stator akımları  $I_{sa}$ , elektromanyetik moment  $T_a$ , aktif ve reaktif güçler  $P_a$ - $Q_a$  ve yol alma zamanı  $w_a$ (sn) gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. Üç faz ve tek faz dengesiz gerilim altında uzay vektör pwm AC sürücü yol verme yönteminde yol alma parametreleri(pu)

Gerilim Dengesizliği Tipi	$I_{sa}$	$T_a$	$P_a$	$Q_a$	$w_a$ (sn)	V(p.u)
3Φ	1,48	1,88	1,26	0,47	0,81	0.9
1Φ	1,53	1,93	1,29	0,52	0,80	0.9

#### 4.7.6. Sürme Yöntemlerine Göre Motor-Pompa Grubunun Yol Alma Sırasında İncelenmesi

Asenkron motor-pompa grubunun yukarıda anlatılan üç farklı yöntemle yol verilmiştir. Sistemin girişinde üç faz ve tek faz dengesiz gerilim uygulanmıştır. İlk incelendiğimiz kısım asenkron motorun kalkış anında stator akımları, elektromanyetik moment, aktif reaktif güç ve rotor hızın nominal değere gelme süreleri olmuştur. Aşağıdaki Çizelge 4.7 doğrudan, altı adımlı ve uzay vektör pwm AC sürücü yol alma parametreleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. Üç faz ve tek faz dengesiz gerilim altında üç farklı senaryoya da yol verme yönteminde yol alma parametreleri (p.u.)

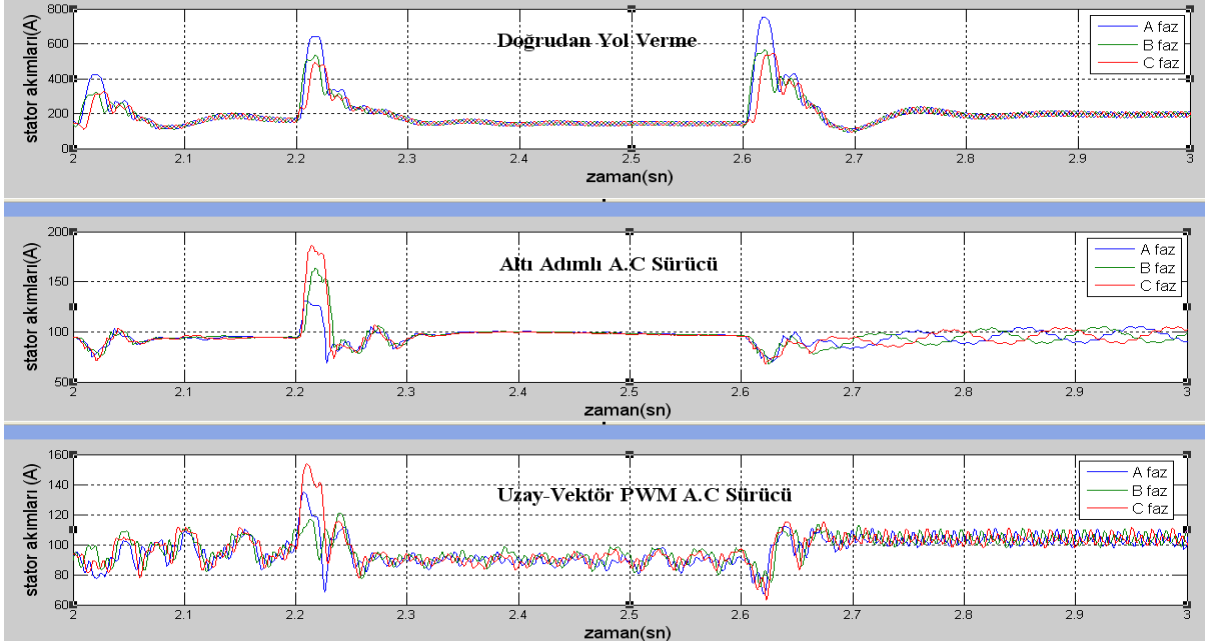
Yol Alma Parametreleri	Yol Verme Yöntemleri					
	Doğrudan		Altı Adımlı AC Sürücü		Uzay Vektör PWM AC Sürücü	
	3Φ	1Φ	3Φ	1Φ	3Φ	1Φ
$I_{sa}$ (pu)	11,75	12,3	1,61	1,64	1,48	1,53
$T_a$ (pu)	3,81	4,16	2,1	2,13	1,88	1,93
$P_a$ (pu)	3,64	4,08	1,61	1,85	1,26	1,29
$Q_a$ (pu)	19,05	20,53	3,75	4,19	0,47	0,52
$w_a$ (pu)	1,14	0,85	0,90	0,82	0,81	0,80

Çizelge 4.7. den aldığımız bilgileri yorumladığımızda tek faz gerilim dengesizliği üç faz gerilim dengesizliğine göre daha yüksek yol alma parametrelerine sahip olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin gerilim dengesizliğine tek fazda üç faza göre daha dengesiz bir durumun olmasıdır. Her iki dengesiz gerilim altında alınan yol alma parametrelerinden ilki olan stator akımları doğrudan yol verme yönteminde diğer iki yol verme yönteminin yaklaşık sekiz kat büyük olduğu uzay vektör sisteminin yol verme akımı açısından altı adımlı sisteme göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. İkinci parametre olan elektromanyetik moment doğrudan yol verme yönteminde diğer iki sisteme göre yaklaşık iki kat değerinde olduğu ve bu parametrenin uzay vektörde sistem altı adımlı sisteme göre daha düşük olduğu görülmüştür. Aktif gücün doğrudan yol verme yönteminin altı adımlı sürücü sisteminin iki katı uzay vektör pwm yöntemine göre de 3 kat büyük olduğu görülmektedir. Reaktif gücün ise doğrudan yol verme yönteminde altı adımlı sürücü sistemine göre beş kat uzay vektör pwm sistemine göre ise yaklaşık 18 kat büyük olduğu görülmektedir. Aktif-reaktif güçlerde özellikle reaktif güç çekiminin yol alma anında büyük sorunlara sebep olduğu düşünülürse uzay vektör pwm sürücü sisteminin çok iyi performans göstermekte olduğu görülmektedir. İncelediğimiz son parametre olan yol alma süresinin doğrudan yol verme de 1,2 sn altı adımlıda 0,95 sn ve uzay vektör pwm sürücü sistemi 0,86 sn olduğu görülmektedir. Sistemin kararlı yapıya geçmede her iki sürücü sisteminde iyi performans gösterdiği görülmektedir.

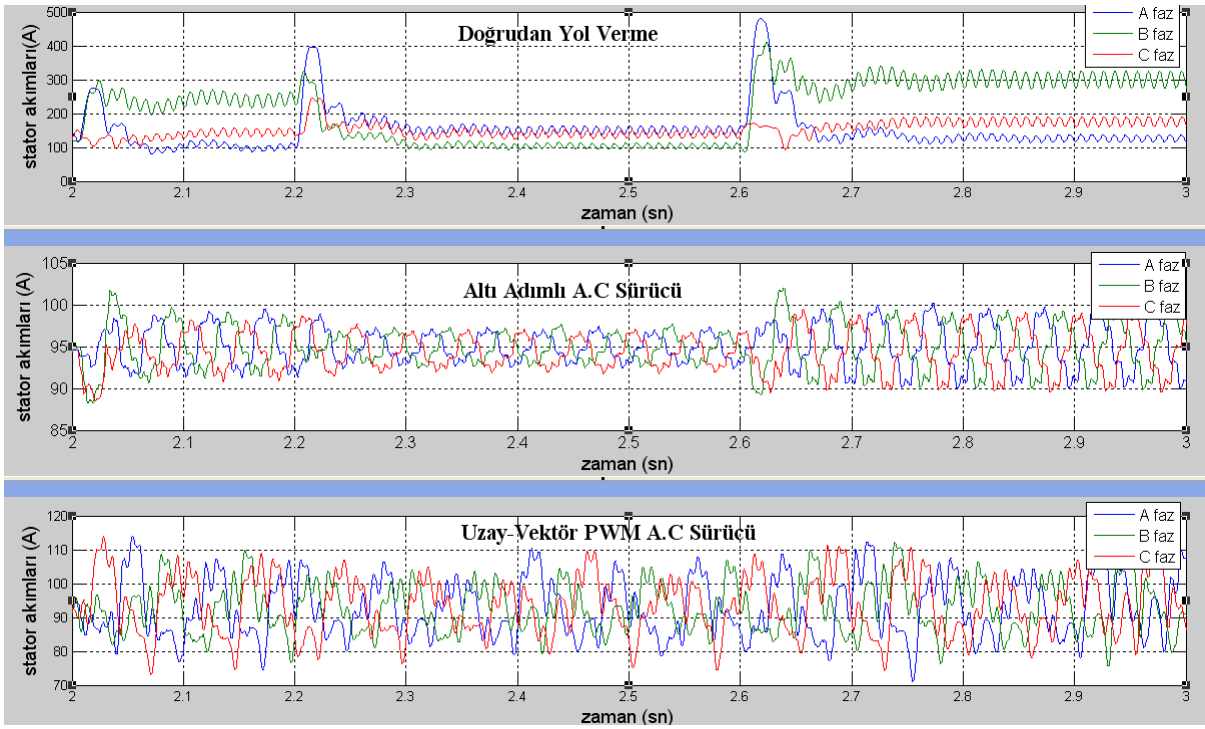
#### **4.7.7. Ani Gerilim Düşmesi Durumunda Motor-Pompa Grubunun İncelenmesi**

Asenkron motor-pompa grubunun ikinci inceleme üç faz ve tek faz dengesiz gerilim altında gerilimin ani olarak nominal gerilimin altına düştüğü durumlar olacaktır. Bunun için yapılan simülasyon da gerilim %20 düştüğü 2-2,2 sn ve % 30 düştüğü 2,6-3 sn aralıklarında asenkron motorun çıkış parametreleri olan stator akımları, elektromanyetik moment, aktif reaktif güç ve rotor hızı incelenmiştir. Şekil 4.24 ve Şekil 4.25 de stator akımları grafikleri, Şekil 4.26 ve 4.27 de elektromanyetik moment grafikleri, Şekil 4.28 ve Şekil 4.29 de aktif-reaktif güçlerin grafikleri, Şekil 4.30 ve Şekil 4.31 de rotor hızının grafikleri gösterilmiştir. Grafiklerden alınan değerlere göre üç faz ve tek faz dengesiz gerilim altında olmak üzere iki bölümde gerilim ani düştüğü aralıklarda Çizelge 4.8. stator akımları, Çizelge 4.9. elektromanyetik moment, Çizelge 4.10. aktif güçler, Çizelge 4.11. reaktif güçler ve Çizelge 4.12. rotor hızları gösterilmiştir.

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI



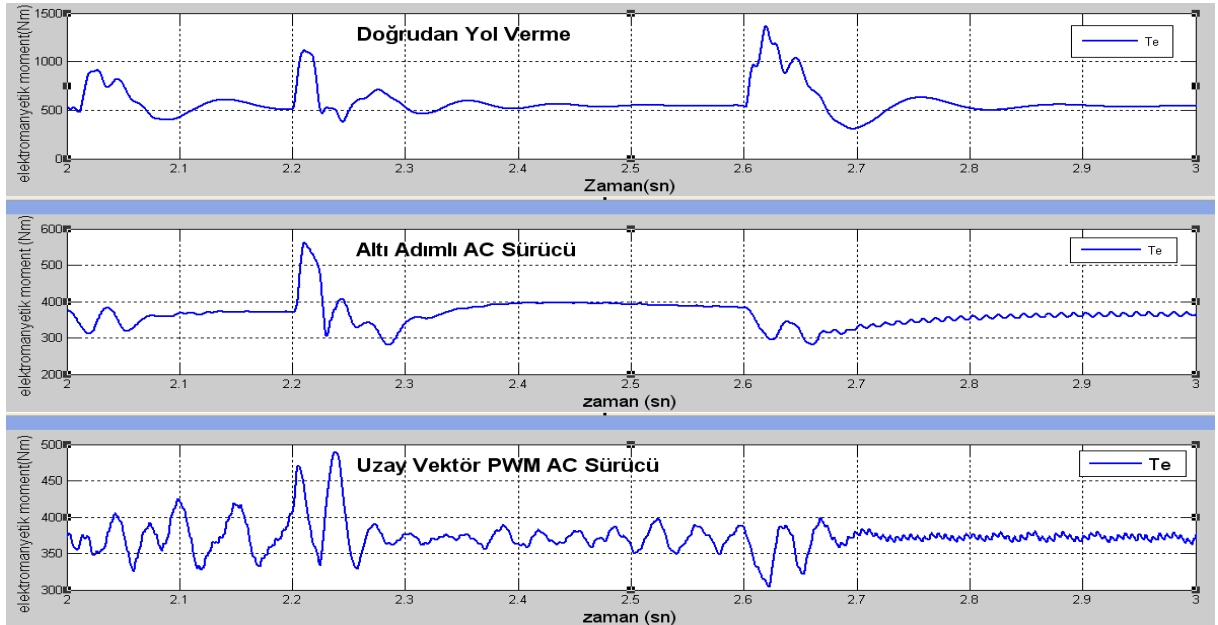
Şekil 4.24. Üç faz gerilim bozukluğunda ani gerilim düşme durumunda stator akımları grafiği



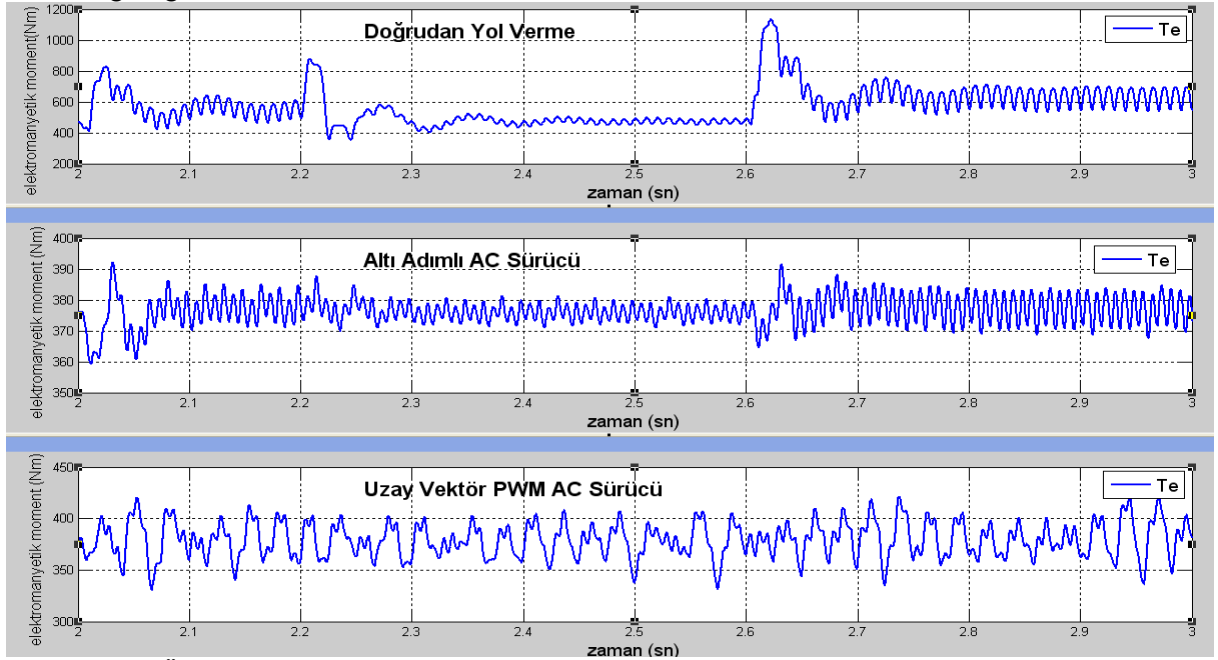
Şekil 4.25. Tek faz gerilim bozukluğunda ani gerilim düşme durumunda stator akımları grafiği

Çizelge 4.8. Gerilimin %20 ve %30 oranlarında düşmesi durumunda stator akımları (pu)

Gerilim Düşme Oranı	Doğrudan yol verme		Altı adımlı AC sürücü		Uzay vektör PWM AC sürücü	
	3Φ	1Φ	3Φ	1Φ	3Φ	1Φ
0,8 V <sub>n</sub> (2-2,2 sn)	3	1,95	0,53	0,62	0,52	0,56
0,7 V <sub>n</sub> (2,6-3 sn)	5,34	3,4	0,48	0,63	0,44	0,57



Şekil 4.26. Üç faz gerilim bozukluğunda ani gerilim düşme durumunda elektromanyetik moment grafiği

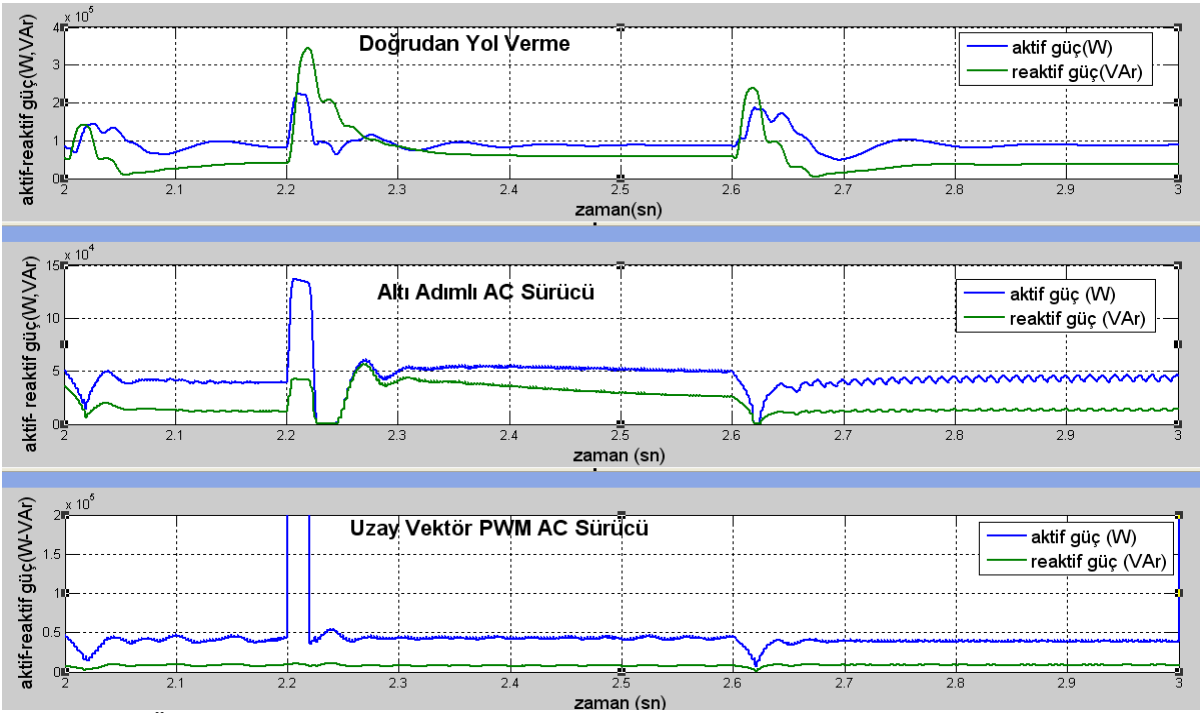


Şekil 4.27. Üç faz gerilim bozukluğunda ani gerilim düşme durumunda elektromanyetik moment grafiği

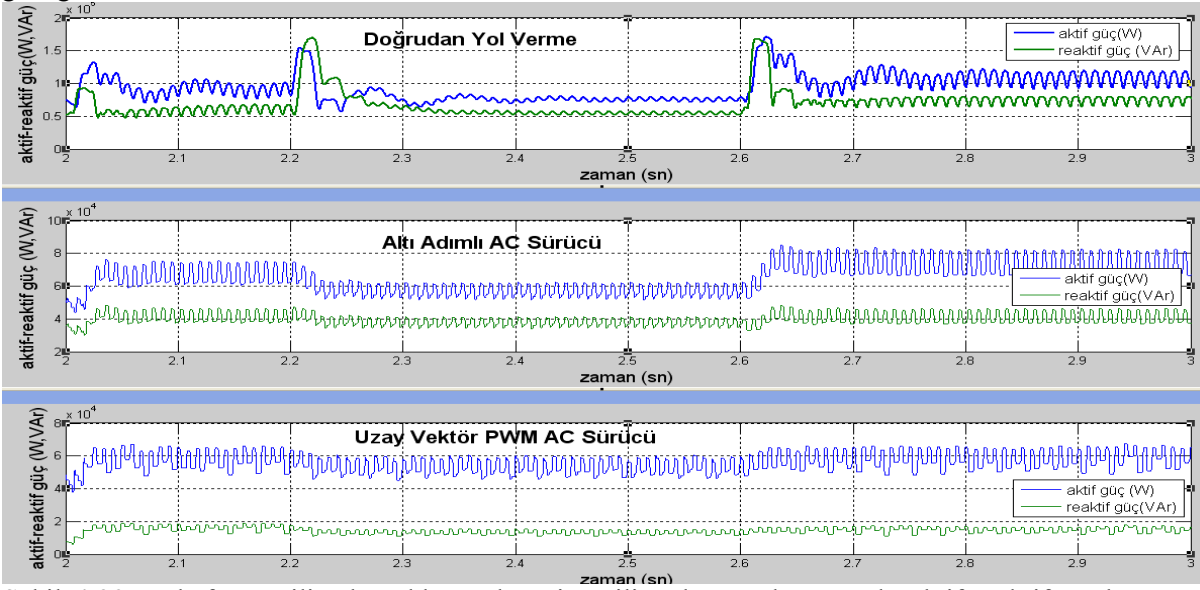
Çizelge 4.9. Gerilimin %20 ve %30 oranlarında düşmesi durumunda elektromanyetik moment (pu)

Gerilim Düşme Oranı	Doğrudan yol verme		Altı adımlı AC sürücü		Uzay vektör PWM AC sürücü	
	3Φ	1Φ	3Φ	1Φ	3Φ	1Φ
0,8 Vn (2-2,2 sn)	0,85	0,91	0,68	0,77	0,69	0,73
0,7 Vn (2,6-3 sn)	0,65	0,99	0,63	0,78	0,65	0,76

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI



Şekil 4.28. Üç faz gerilim bozukluğunda ani gerilim düşme durumunda aktif-reaktif güçler grafiği



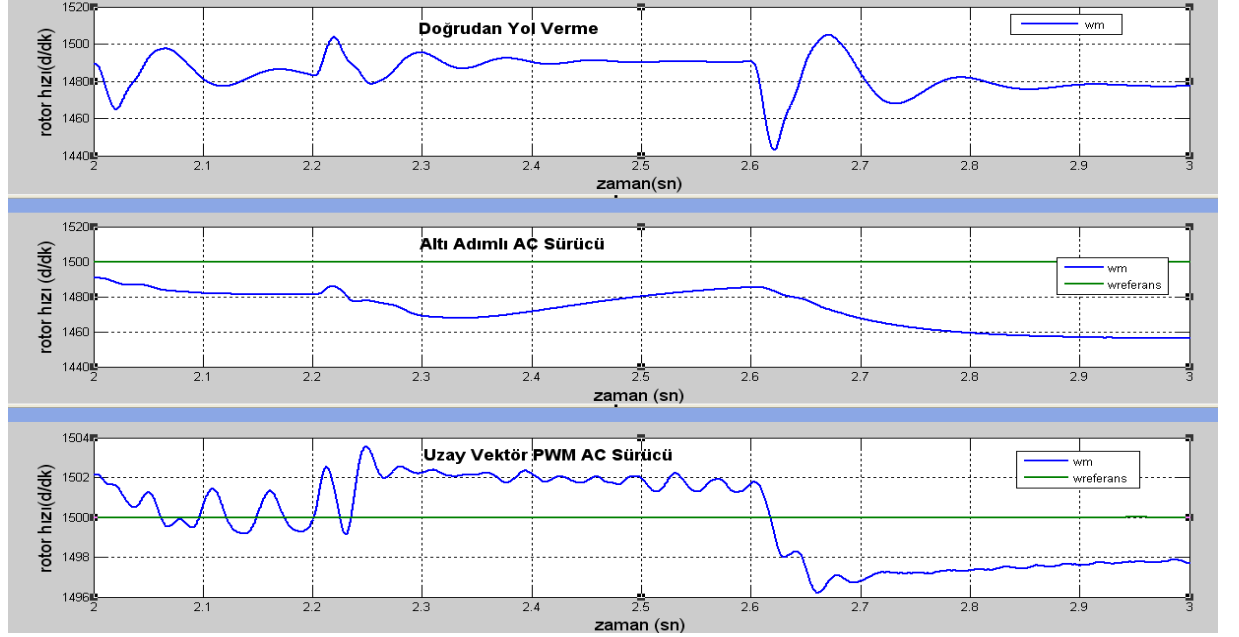
Şekil 4.29. Tek faz gerilim bozukluğunda ani gerilim düşme durumunda aktif-reaktif güçler grafiği

Çizelge 4.10. Gerilimin %20 ve %30 oranlarında düşmesi durumunda aktif güçler (pu)

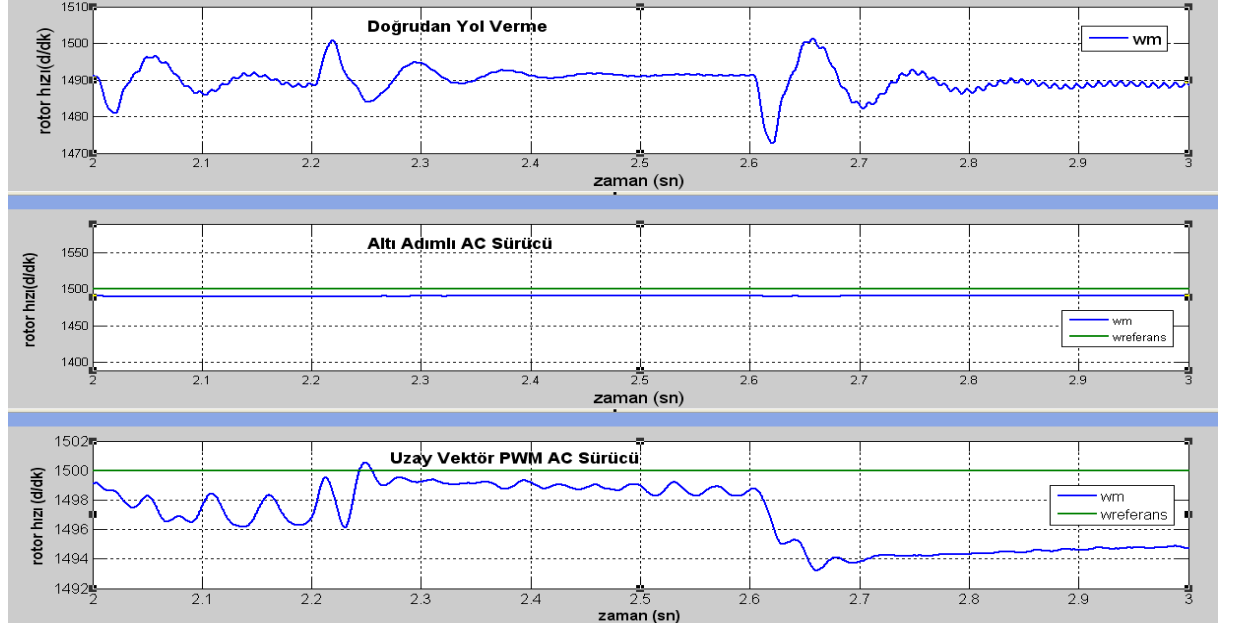
Gerilim Düşme Oranı	Doğrudan yol verme		Altı adımlı AC sürücü		Uzay vektör PWM AC sürücü	
	3Φ	1Φ	3Φ	1Φ	3Φ	1Φ
0,8 V <sub>n</sub> (2-2,2 sn)	0,92	1,13	0,51	0,95	0,47	0,71
0,7 V <sub>n</sub> (2,6-3 sn)	0,65	1,07	0,4	0,77	0,45	0,70

Çizelge 4.11. Gerilimin %20 ve %30 oranlarında düşmesi durumunda reaktif güçler (pu)

Gerilim Düşme Oranı	Doğrudan yol verme		Altı adımlı AC sürücü		Uzay vektör PWM AC sürücü	
	3Φ	1Φ	3Φ	1Φ	3Φ	1Φ
0,8 V <sub>n</sub> (2-2,2 sn)	2,71	1,78	0,23	0,57	0,15	0,21
0,7 V <sub>n</sub> (2,6-3 sn)	4,56	3,22	0,27	0,63	0,17	0,23



Şekil 4.30. Üç faz gerilim bozukluğunda ani gerilim düşme durumunda rotor hızı grafiği



Şekil 4.31. Tek faz gerilim bozukluğunda ani gerilim düşme durumunda rotor hızı grafiği



#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Çizelge 4.12. Gerilimin %20 ve %30 oranlarında düşmesi durumunda rotor hızı (wm)

Gerilim Düşme Oranı	Doğrudan yol verme		Altı adımlı AC sürücü		Uzay vektör PWM AC sürücü	
	3Φ	1Φ	3Φ	1Φ	3Φ	1Φ
0,8 V <sub>n</sub> (2-2,2 sn)	1465	1480,8	1482,1	1491,2	1495,3	1496,2
0,7 V <sub>n</sub> (2,6-3 sn)	1443	1472,6	1456	1490,3	1494,1	1493,3

Yapılan analizlerde ilk olarak stator akımları incelenmiştir. Üç faz gerilim dengesizliğinde gerilimin %20 düştüğü zaman diliminde doğrudan yol verme yönteminde nominal akımdan yaklaşık 6 kat fazla akım çekerek 424 A akım çekmiştir diğer iki yöntemde stator akımı yaklaşık aynı değerlerde kalmıştır. Gerilim % 30 düştüğü zaman diliminde ise doğrudan yol verme yönteminde sistem 9 kat akım çekmiş, diğer iki sistemin çektikleri akımlar %10 düşerek altı adımlı AC sürücünde 67,8 A, uzay vektör pwm AC sürücünde 63,1 A olmuştur. Üç farklı yol verme yönteminde tek faz gerilim dengesizliğinde doğrudan yol verme Çizelge 5.5 deki değerlerdeki görüldüğü gibide her iki gerilim düşme zaman aralığında çekilen akımlar yarı yarıya düşmüştür. Diğer iki yol verme yönteminde ise 3 faz gerilim dengesizliğine göre tek faz gerilim dengesizliğinde çekilen akımlar yaklaşık %10 oranında artmıştır.

İkinci olarak elektromanyetik moment incelenmiştir. Üç faz gerilim dengesizliğinde gerilimin %20 düştüğü zaman aralığında moment değeri doğrudan yol verme yönteminde diğer iki sisteme göre % 25 daha büyüktür. % 30 düşme durumunda ise üç farklı yol verme yönteminin de yaklaşık aynı değerlerde olduğu görülmektedir. Bu sonuç doğrudan yol vermenin gerilim düşmesinde diğer iki sisteme göre daha faz tepki gösterdiğini göstermektedir. Tek faz gerilim dengesizliğinde ise gerilimin %20 düştüğü zaman aralığında doğrudan yol vermedeki moment değerinin diğer iki sistemden %20 daha olduğu tespit edilmiştir. %30 gerilim düştüğü zaman aralığında ise ölçülen moment değeri doğrudan yol verme yönteminde diğer iki sisteme göre %35 daha yüksek olduğu görülmektedir. Tüm incelemelerde uzay vektör pwm AC sürücü sistemi gerilim düşmelerine daha az tepki gösterdiği görülmüştür.

Üçüncü olarak incelenen aktif ve reaktif güçlerde ilk olarak gerilim 3 faz gerilim dengesizliğinde % 20 düşme durumunda doğrudan yol verme yönteminde çekilen aktif güç 69 kW % 30 düşme durumunda 48,8 kW olarak ölçülmüştür. Aynı sırayla altı adımlı AC sürücü ile yol verme yönteminde 37,7 kW ve 30,1 kW, uzay vektör pwm AC sürücü ile yol vermede 35,5 kW ve 33,6 kW ölçülmüştür. Bu değerlerden görüldü gibi gerilim düşmesine en az tepki gösteren ve en az aktif güç çeken yol verme yöntemi uzay vektör pwm AC sürücü sistemidir. Tek faz gerilim dengesizliğinde ise gerilimin %20 düştüğü anda en yüksek aktif güç çeken yol verme yöntemi 84,2 kW ile doğrudan yol verme yöntemidir. En düşük ise uzay vektör pwm AC sürücü ile yol verme yöntemidir. Tek faz gerilim dengesizliğinde gerilimin % 30 düştüğü zaman

aralığında aktif güçlerdeki en az değişimi uzay vektör pwm AC sürücü sistemidir. Reaktif güçlerde 3 faz gerilim dengesizliğinde gerilimin %20 düşme durumunda doğrudan yol verme altı adımlı AC sürücüye göre 12 kat uzay vektör pwm AC sürücüye göre 16 kat daha yüksek reaktif güç çekerek sistemden 141 kVAr'lık reaktif güç çekmiştir. Gerilim % 30 düştüğünde doğrudan yol vermede altı adımlı AC sürücüye göre 17 kat uzay vektör pwm AC sürücüye göre 26 kat daha yüksek olarak 238 kVAr reaktif güç çekilmiştir. Tek faz gerilim dengesizliğinde doğrudan yol vermenin %20 ve %30 gerilim düşmelerinde sırasıyla 93 kVAr ve 168 kVAr reaktif güç çekilmiştir. üç faz gerilim dengesizliğine göre sistemden çekilen reaktif güç miktarları azalmıştır. Altı adımlı AC sürücüyle yol verme de reaktif güçler sırasıyla 30,1 ve 33,4 kVAr olarak ölçülmüş ve bu değerler üç faz gerilim dengesizliğine göre yaklaşık 2,5 kat artmıştır. Uzay vektör pwm AC sürücüyle yol verme de reaktif güçler sırasıyla 11 kVAr ve 12 kVAr olarak ölçülmüş ve bu değerler üç faz gerilim dengesizliğine göre yaklaşık 1,5 kat artmıştır. Reaktif güç çekilmesi gerilim sorunlarının temelini oluşturduğu bilinmektedir. İncelenen bu üç farklı yol verme de uzay vektör pwm AC sürücü sistemi hem düşük reaktif güç çekilmesine hemde gerilim değişimlerinden minimum olarak etkilenmesinden pompa grubu için efektif bir yol verme şeklidir.

Dördüncü olarak asenkron motorun rotor hızı incelenmiştir. Üç faz gerilim dengesizliğinde %20 gerilim düşmesinde doğrudan yol verme yönteminde 1465 d/dk %30 gerilim düşmesinde 1443 d/dk değerlerine düşmüştür. Altı adımlı AC sürücüyle yol vermede bu değer sırasıyla 1482,1 d/dk ve 1456 d/dk dır. Uzay vektör pwm AC sürücüyle yol vermede rotor hızı 1495,3 ve 1494,1 d/dk dır. Bu değerler karşılaştırıldığında doğrudan yol vermenin gerilim düşmesine karşı rotor hızına kötü bir performans sergilediği altı adımlı AC sürücü yol verme kabul edilebilir bir tepki gösterdiği, uzay vektör pwm AC sürücü sisteminde gerilim düşmelerinde rotor hızını nominal değerlerini koruduğu ve gerilim değişimlerine minimum tepki verdiği görülmüştür. Tek faz gerilim dengesizliğinde ise doğrudan yol verme ve altı adımlı AC sürücüyle yol vermede daha iyi performans sergilendiği uzay vektör pwm AC sürücüyle yol vermede çok az olsa da daha iyi sonuç alındığı görülmüştür. Pompa yükü gibi değişken yüklerde debi rotor hızıyla doğru orantılı olduğundan rotor hızının korunmasında ve gerilim değişimlerine minimum tepki göstermek gereklidir. Uzay vektör pwm AC sürücüyle yol verme yöntemi her durumda maksimum performans göstermiştir.

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

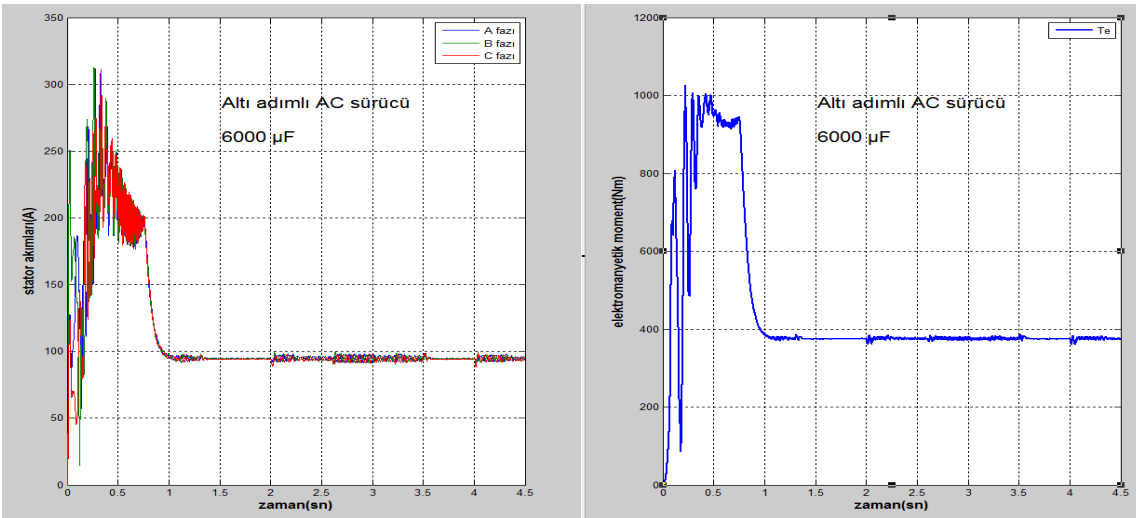
### 4.7.8. DC Bara Kapasite Değerlerinin Değişimin Motor Çıkış Parametreleri

#### Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi

Asenkron motor-pompa grubunun üzerinde yapılan diğer bir incelemede; tek faz dengesiz gerilim altında, altı adımlı ve uzay vektör pwm AC sürücüleriyle yol verildiğinde, motor çıkış parametrelerinden olan, stator akımları ve elektromanyetik momentin, DC bara kapasitesinin değiştirilmesine bağlı değişimleri incelenecektir. Ele aldığımız sistemlerde akım ve moment salınım değerlerinin daha az seviyelere getirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda AC sürücü sistemlerin DC bara kapasitör değerleri artırılarak analizler yapılmıştır. Her iki sürücünün de DC bara kapasitör değerleri %50 ve %100 oranlarında artırılmıştır. Altı adımlı AC sürücünün baz alınan 4000  $\mu\text{F}$  kapasitör değeri sırasıyla; 6000  $\mu\text{F}$  ve 8000  $\mu\text{F}$  değerlerine ; uzay vektör pwm AC sürücünün baz alınan 2000  $\mu\text{F}$  kapasitör değeri sırasıyla; 3000 ve 4000  $\mu\text{F}$  değerlerine artırılmıştır.

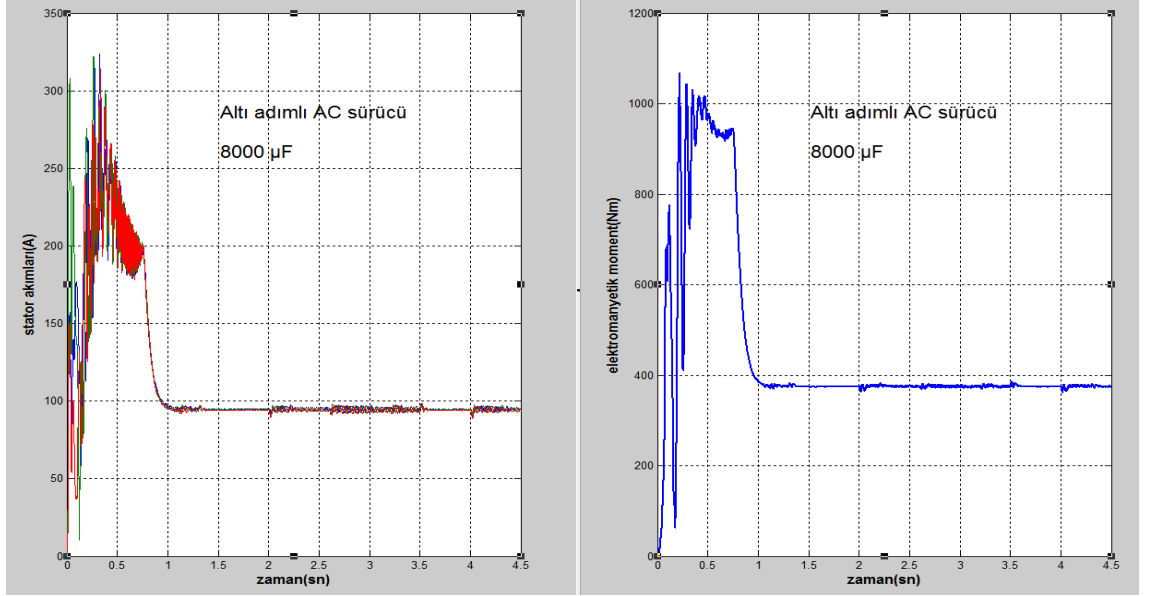
Sürücü sistemleri baz alınan kapasitör değerlerinde gerilim dengesizliğin en fazla olduğu aralık olan, 2-3 sn aralığında incelenmiştir. Altı adımlı AC sürücünün stator akımları 89-102 A aralığında, elektromanyetik moment 365-392 Nm aralığında değişmektedir. Uzay vektör pwm AC sürücünün stator akımları 73-114 A aralığında, elektromanyetik moment 336-421 Nm aralığında değişmektedir. Kapasitör değerlerinin artırılmasının etkilerinin yüzdesel olarak incelenebilmesi amacıyla sürücü sistemlerinde salınımların bant aralıkları referans alınmıştır. Altı adımlı AC sürücüde stator akımlarının değişimi  $\Delta I_s = 13$  A, elektromanyetik moment  $\Delta T_e = 27$  Nm; uzay vektör pwm AC sürücüde  $\Delta I_s = 39$  A, elektromanyetik moment  $\Delta T_e = 86$  Nm referans alınarak değişimlerin etkisi hesaplanmıştır.

Altı adımlı AC sürücüde DC bara kapasitör değerlerinin %50 ve % 100 artırılmasıyla elde edilen değerler.. Şekil 4.32 ve Şekil 4.33. de gösterilmiştir.

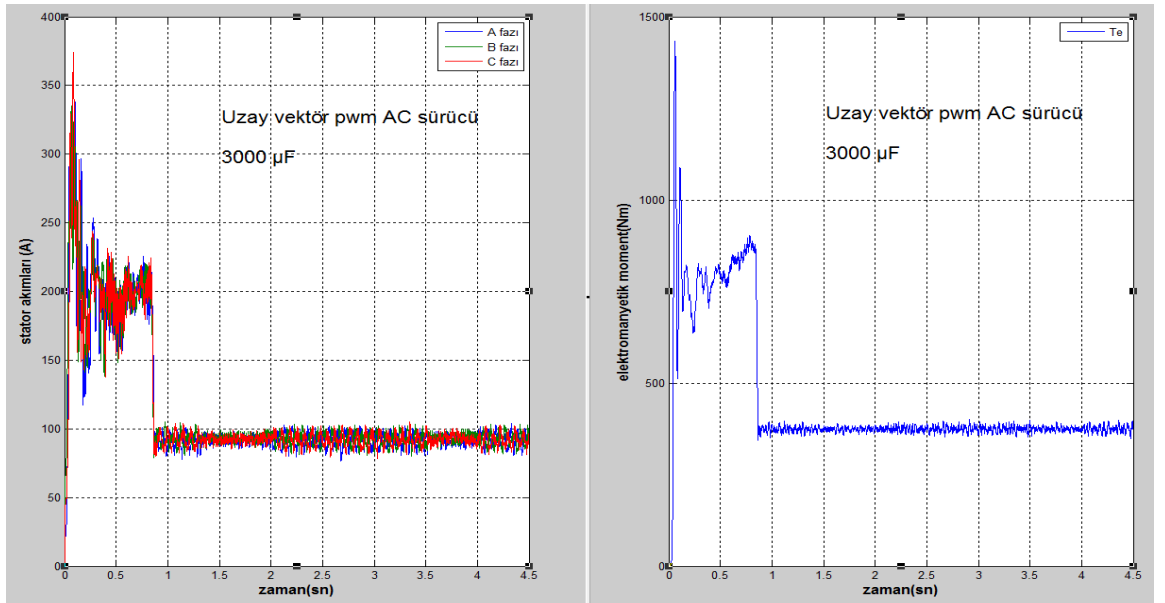


Şekil 4.32. Altı adımlı AC sürücüde DC bara kapasitör 6000  $\mu\text{F}$  değerinde elde edilen stator akımları ve elektromanyetik moment grafikleri

Uzay vektör pwm AC sürücüde DC bara kapasitör değerlerinin %50 ve % 100 artırılmasıyla stator akımları ve elektromanyetik moment değerlerinin değişimleri Şekil 4.34. ve Şekil 4.35 de gösterilmiştir.

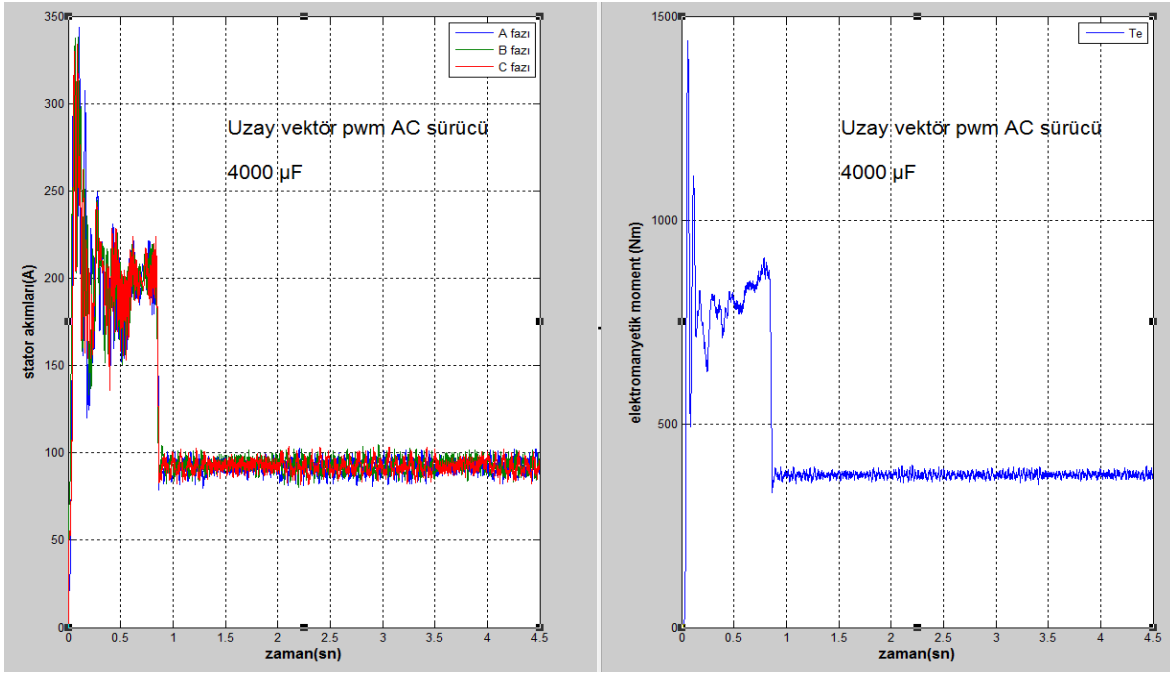


Şekil 4.33. Altı adımlı AC sürücüde DC bara kapasitör 8000 µF değerinde elde edilen stator akımları ve elektromanyetik moment grafikleri



Şekil 4.34. Uzay vektör pwm AC sürücüde DC bara kapasitör 3000 µF değerinde elde edilen stator akımları ve elektromanyetik moment grafikleri

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI



Şekil 4.35. Uzay vektör pwm AC sürücünde DC bara kapasitör 4000 µF değerinde elde edilen stator akımları ve elektromanyetik moment grafikleri

Yapılan sayısal benzetimlerde elde edilen grafiklerden salınım değerleri ölçülmüştür. Altı adımlı AC sürücünde 6000 µF DC bara kapasitör değerinde stator akımlarının 90-99,5 A, elektromanyetik momentin 367-385 Nm; 8000 µF DC bara kapasitör değerinde stator akımlarının 92-98 A, elektromanyetik momentin 369-382 Nm aralıklarında değiştiği görülmüştür. Uzay vektör pwm AC sürücünde 3000 µF DC bara kapasitör değerinde stator akımlarının 81-102 A, elektromanyetik momentin 352-397 Nm; 4000 µF DC bara kapasitör değerinde stator akımlarının 85-100 A, elektromanyetik momentin 361-386 Nm aralıklarında salınım yaptığı görülmüştür.

Altı adımlı ve uzay vektör pwm AC sürücüyle yol vermede DC bara kapasitör değerinin artırılması dengesiz gerilimin sebep olduğu stator akımları ve elektromanyetik momentteki salınım değerlerini azalttığı görülmektedir. Bu azalmaların oranlarını belirlemek için altı adımlı AC sürücünün DC bara kapasitör değerinin 4000 µF, uzay vektör pwm AC sürücünün DC bara kapasitör değerinin 2000 µF olduğu durumlardaki salınım değerleri referans alınmıştır. Sürücü sistemlerinin baz alınan kapasitör değerindeki ve kapasitör değerlerinin %50 ve %100 artırılarak altı adımlı AC sürücünde 6000 µF, 8000 µF; uzay vektör pwm AC sürücünde 3000 µF, 4000 µF olması halinde stator akım değişimi  $\Delta I_s$  ve moment değişimi  $\Delta T_e$  değerleri Çizelge 4.13' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.13. Altı adımlı AC sürücü ve uzay vektör pwm AC sürücünün belirlenen DC bara kapasitör değerlerinde stator akımlarında ve elektromanyetik momentteki salınım aralıkları

Motor Çıkış Parametreleri	Yol verme yöntemleri					
	Altı adımlı AC sürücü			Uzay vektör pwm AC sürücü		
	4000 $\mu$ F	6000 $\mu$ F	8000 $\mu$ F	2000 $\mu$ F	3000 $\mu$ F	4000 $\mu$ F
$\Delta I_s$	13 A	9,5 A	6 A	39 A	21 A	15 A
$\Delta T_e$	27 Nm	18 Nm	13 Nm	86 Nm	45 Nm	27 Nm

Yapılan analizlerde stator akımlarındaki ve elektromanyetik momentteki salınım aralıkları elde edilmiştir.Çizelge 5.11 den elde edilen sonuçlara göre kapasitör değerlerinin artırılmasıyla stator akımlarındaki ve elektromanyetik moment değerlerindeki salınımların azaldığı görülmektedir. Kapasitör değerlerinin artırılması sonucu salınımların azalmaların oranlarını belirlemek amacıyla altı adımlı AC sürücüde ve uzay vektör pwm AC sürücüde başlangıçta kullanılan DC bara kapasitör değerindeki akım ve moment değişim aralıkları baz alınmıştır. Her iki sürücüde de baz alınan kapasitör değerlerinin % 50 ve % 100 artırılması sonucu elde edilen salınım değerlerinin yüzdesel olarak azalma oranları Çizelge 4.14 de gösterilmiştir.

Çizelge 4.14. DC bara kapasitör değerinin artırılmasında sürücü sistemlerindeki salınımları azaltmadaki yüzdesel değişim değerleri

Motor Çıkış Parametreleri	Yol verme yöntemleri			
	Altı adımlı AC sürücü		Uzay vektör pwm AC sürücü	
	%50 (6000 $\mu$ F)	%100(8000 $\mu$ F)	%50(3000 $\mu$ F)	%100 (4000 $\mu$ F)
$\Delta I_s$	% 26,9	% 53,8	% 46,2	% 61,5
$\Delta T_e$	% 33,4	% 51,9	% 47,7	% 68,6

Çizelge 4.14. de görüldüğü üzere altı adımlı AC sürücüde DC bara kapasitör değerlerinin % 50 ve % 100 artırıldığında stator akımlarındaki salınımın sırasıyla %26,9 ve %53,8 oranlarında, uzay vektör pwm AC sürücü de sırasıyla %46,2 ve %61,5 oranlarında azaldığı görülmektedir. Kapasitör değerinin değişimin stator akımlarında salınımları büyük oranda azalttığı , uzay vektör pwm AC sürücüde değişimlerin daha fazla iyileşmeye yol açtığı görülmektedir. İkinci incelenen parametre olan elektromanyetik momentte, altı adımlı AC sürücüde salınım değerlerinin sırasıyla % 33,4 ve %51,9 oranında , uzay vektör pwm AC sürücüde % 47,7 ve % 68,6 oranlarında salınımlarda azalma olduğu görülmektedir. Uzay vektör pwm AC sürücünün, altı adımlı AC sürücüye göre, incelenen her iki parametrede de kapasitör değerinin artırılması durumunda salınımların azalmasında daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir. .



## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Elektrik güç sistemlerinde enerji kalitesi tanımı, şebekenin gerilim ve frekansındaki değişimler ile şebekeden çekilen akımdaki dalga şekli bozukluklarının belirtilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Elektrik enerjisinin kalitesindeki bozulmalar endüstriyel ve tarım sistemlerinde maddi kayıplar ve iş gücü kayıpları olarak geri dönmektedir.

Türkiye’de tarımsal alanların %20 sini içeren GAP bölgesindeki elektrik enerjisi kullanılarak yapılan plansız ve programsız olarak sulama sistemlerinden kaynaklı gerilim düşmesi ve salınımlar yaşanmaktadır. Bu enerji kalitesizliği genel olarak dağıtım hatlarında (31,5 kV) görülse de ulusal elektrik sisteminde de etkileri görülmektedir.

Bölgedeki yaşanan enerji kalitesizliği büyük güçlü asenkron motorların kullanımından kaynaklanmaktadır. Aynı anda aktif hale gelen asenkron motorların nominal akımlarının üstünde akım ve yüksek reaktif güç çekmesi gerilim düşmesine sebep olduğu görülmüştür.

Yaşanan bu enerji kalitesizliliğini gidermek amaçlı alternatif sürücü sistemleri kullanılması gerekmektedir. Sürücüler genellikle hız ve moment kontrolü ihtiyacını karşılamak için kullanılmaktadır. Son yıllarda bu ihtiyacı en iyi şekilde karşılamak amacıyla birçok kontrol yöntemi geliştirilmiştir.

Pilot olarak seçilen Kızıltepe Bölgesinde belirlenen sulama tesisinde bulunan asenkron motor pompa grubu Matlab/Simulinkte modellenmiştir. Normalde doğrudan yol verilen sistemleri matlabta üç ayrı şekilde modellenmiştir. Bunlar doğrudan, altı adımlı evirici, uzay vektör pwm evirici sistemleridir.

Yapılan sayısal benzetimlerde asenkron motora pompa yükü bağlıyken stator akımları, elektromanyetik moment, aktif-reaktif güç ve rotor hızı incelenmiştir. Yapılan benzetim üç faz dengesiz gerilim ve tek faz dengesiz gerilim altında yapılmıştır. Sistemlerin davranışları farklı tip yol verme yöntemlerinin asenkron motor pompa grubun üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir.

Sayısal benzetimleri yapılan modellerin stator akımları üç faz gerilim dengesizliğinde yol alma anında ve gerilim ani düşme durumlarında AC sürücü sistemleriyle yol verme yöntemleri doğrudan yol vermeye göre çok daha iyi sonuçlar vermiştir. Tek faz dengesizlik durumlarında her üç sistemde üç faz dengesizlikteki oranlara yakın akım çektikleri görülmüştür. Fakat tek faz dengesizlikte yol alma zamanında üç faz dengesizliğe göre daha yüksek akım çekmiştir. Ani gerilim değişimlerinde tek faz gerilim dengesizliğinde doğrudan yol verme yöntemi daha iyi performans sergilerken sürücü sistemleri üç faz dengesizliğindeki durumdan daha fazla akım çektiği görülmüştür.

Elektromanyetik momentler karşılaştırıldığında yol alma durumunda doğrudan yol vermenin çok yüksek bir moment değerinde olduğu sürücü sistemlerinin bu değer in yaklaşık yarı değerinde yol aldığı görülmektedir. Uzay vektör pwm AC sürücüsüyle yol vermenin yol



## 5.TARTIŞMA VE SONUÇ

---

alma ve ani gerilim değişimlerinde en iyi performansı sergilediği analiz değerlerinden görölmektedir. Tek faz gerilim dengesizliğinin üç faz gerilim dengesizliğine göre daha yüksek moment değerleri ürettiği tespit edilmiştir.

Pilot olarak seçilen bölgedeki gerilim sorunların temelini oluşturan aşırı aktif güç tüketimi ve sistemden yüksek reaktif güç çekilmesi olduğundan her üç yol verme yönteminin aktif ve reaktif güçleri incelenmiştir. Yol alma anında gerilim düşmelerine sebep olan şebekeden çekilen yüksek reaktif güç değerlerinin doğrudan yol verme yönteminde üç faz ve tek faz gerilim dengesizliğinde sırasıyla 19,11 pu ve 20,53 pu değerleriyle yol alma da kabul edilebilecek değerlerin çok üstünde olduğu görölmektedir. Altı adımlı AC sürücüde şebekeden çekilen reaktif güç 3,76 pu ve 4,18 pu değerlere düşmüştür. Uzay vektör pwm AC sürücüyle yol vermede şebekeden çekilen reaktif gücün değerlerin 0,47 pu ve 0,52 pu görölmektedir. Asenkron motor-pompa sistemleri için bu yöntemle yol vermenin şebekeden aşırı reaktif güç çekilmesini engelleyeceği analizlerden görölmüştür. Aynı şekilde ani gerilim değişimleri yol alma zamanındaki duruma paralel olarak her üç yol verme yönteminde ani gerilim değişimlerine uzay vektör pwm AC sürücünün minimum tepki gösterdiği görölmüştür. Yol alma ve ani gerilim değişim durumlarında tüketilen aktif güç değerlerinde doğrudan yol verme yönteminin sürücüyle yol verme yöntemlerine göre performansının çok fazla geri olduğuna ve ani gerilim değişimlerine maksimum tepki gösterdiği görölmüştür.

Modellenmesi yapılan pompa modelinin debisinin rotor hızına doğrudan orantılı olduğuna afinite kanunlarında belirtilmiştir. Bu durumda rotor hızının nominal değere gelme süreleri ve ani gerilim değişimlerinden etkilenmesi incelenmiştir. Üç faz gerilim dengesizliği altında yol alma süresi; doğrudan yol verme yönteminde 1,2 sn altı adımlı AC sürücü yönteminde 0,96 sn ve uzay vektör pwm AC sürücü sisteminde 0,86 sn olmaktadır. Uzay vektör pwm AC sürücü sisteminin daha hızlı kararlı hale geldiği ve pompa için debinin istenilen değere daha hızlı ulaştığı görölmektedir. Tek faz gerilim dengesizliğinde kararlı hale gelme değerleri üç faz gerilim dengesizliğe göre daha hızlı olduğuna görölmektedir. Yol verme yöntemlerinin, ani gerilim değişim durumunda rotor hızlarının değişimi incelediğinde ise doğrudan yol vermede değişimlerin maksimum olduğuna uzay vektör pwm AC sürücünün ise gerilim değişimlerinden neredeyse etkilenmediği görölmektedir.

Yapılan sayısal benzetimlerde sürücü sistemleriyle yol vermenin sistemden yol alma durumunda çekilen stator akımlarını, elektromanyetik moment, tüketilen aktif gücü, şebekeden çekilen reaktif gücü ve yol alma sürelerini azalttığı ve ani gerilim değişimlerine asenkron motor pompa grubunun doğrudan yol vermeye göre minimum tepki verdiği görölmektedir. Analizlerde uzay vektör pwm AC sürücüyle yol verme yönteminin tüm parametrelerde en iyi sonucu verdiği görölmüştür.

Benzetim çalışmalarında AC sürücü yapıların daha kararlı çalışmasının önemi bilinmektedir. Stator akımlarında ve elektromanyetik momentin salınım değerlerinin bant aralıklarının değerleri bu kararlı yapının derecesini göstermektedir. Sistemleri daha kararlı yapıya getirme amaçlı DC bara kapasitör değerleri her iki sürücü sistemi için %50 ve %100 oranlarında artırılmıştır. Kapasitör değerlerinin artırılması her iki sürücü sisteminde salınım değerlerinin bant aralıklarını stator akımlarında ve elektromanyetik momentte %30 ile %70 aralıklarında azalttığı görülmüştür. Kapasitör değerlerinin artırılmasında uzay vektör pwm AC sürücü altı adımlı AC sürücüye göre her iki parametrede de salınımları daha fazla azalttığı görülmüştür. Yol alma, ani gerilim değişimlerine tepkide olduğu gibi bu incelemede uzay vektör pwm AC sürücü daha efektif bir yol verme yöntemi olduğu analiz edilmiştir.

Bunun yanında değişken hızlı sürücülerle alakalı bilinmesi gereken durumlar vardır. Bunlar statik basıncın yüksek sürtünmenin az olduğu yerlerde kullanılmasının verim üzerinde olumsuz etkilerinin olduğudur. Ayrıca değişken hızlı sürücüler ucuz ekipmanlar değildir ve bakımları ayrı maliyet gerektirir. Bakım ve işletilmesi için belli eğitimden geçmiş kalifiyeli eleman ihtiyacı vardır. Bunlar değişken hızlı sürücülerin dezavantajları olarak görülebilir. Sürücülerin uzaktan kumanda edilebilmeleri, kayıpları minimuma indirebilmeleri ve pompanın en verimli noktasında çalışmasına olanak sağlayabilmeleri daha güvenli bir çalışma oluşturur. Bir sulama tesisine değişken hızlı sürücüler bağlanmadan önce etütlerin iyi bir şekilde yapılması ve maddi dengeler gözetilerek kurulum yapılması gerekir. Bu işlemler yapıldıktan sonra uygun sürücü sistemlerinin olduğu gibi daha efektif ve daha kararlı çalıştığı yapılan analizlerdeki gibi görülecektir.

Halkın önemli bir kesimi, arazilerini elektrik enerjisi kullanarak dalgıç pompa yardımıyla kuyulardan su çekerek sulamaya yapmaya devam etmektedir. Büyük bir kördüğüne dönüşen bu döngü sulama zamanlarında, sağlıklı ve kesintisiz enerji alamamaya sebep olmaktadır. Aşağıda bu konuyla alakalı sürücü sistemlerinin kurulması dışında daha genel ve uzun vadeli çözüm önerileri belirtilmiştir.

- Bu kapsamda ilgili kuruluşlarında katılımı ile bölgeye yönelik bir uygulama politikası oluşturmalı kurumların program ve yatırım hedefleri bu programa göre belirlenmelidir. Ayrıca yapılacak çalışmalar neticesinde yöre halka eğitimler verilmeli ve bilinçlendirilmelidir.
- Çiftçinin kuracağı tesislerde mühendislik hizmeti olarak tekniğe uygun tesisler kurması; (Kompanzasyon, yol verme ve koruma elemanları uygun ve aktif olan sulama tesisleri) sağlanmaktadır.
- Dağıtım alt yapısı iyileştirilmeli, eski ve yetersiz dağıtım hatları değiştirilmelidir.

## 5.TARTIŞMA VE SONUÇ

---

- Enerji iletim altyapısındaki özellikle transformatör güçlerindeki eksiklikler giderilmelidir.
- Üretim açısından tüketim noktalarına yakın yerlerde yüksek kurulu güce sahip elektrik üretim kaynakları tesis edilmelidir. Bu şekilde Enterkonnekte şebeke bozucu etkilerden daha az etkilenecek ve sistem daha kararlı olabilecektir.

Sonuç olarak Güneydoğu Anadolu'nun yüksek verimli arazilerinin sulanmasının ne kadar önemli olduğu bir gerçektir. Öte yandan derin kuyularla yapılan sulama sistemlerinin enterkonnekte sistem (ulusal elektrik sistemi) üzerinde bozucu etkiler meydana getirmemesi gerekmektedir. Bu sonuçlar çerçevesinde önceliğin elektrik şebeklerinin kararlı çalışması gerektiği düşünüldüğünde, bölgedeki verimli tarım arazilerini sulamada değişken hızlı sürücülerin kullanılması bir ihtiyaç olduğu görülmektedir. Bölgedeki sulama tesislerinde kullanılan doğrudan yol verme yönteminin, kullanılan motor güçlerine uyumsuzluğu nedeni ile bir an önce terk edilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde şebekede meydana gelen gerilim dalgalanmalarının önlenmesi olanaklı olmayacaktır. Bu çalışma genel sistem üzerinde lokal bir çalışma olsa da, gerek daha sonraki çalışmalara gerekse bölgedeki çiftçilerin kuracağı tesislerde yol gösterici olacaktır.

## 6. KAYNAKLAR

[TG], (1999), “Direct Torque Control-the world's most advanced AC drive technology”, Technical Guide No.1, ABB.

[TI], (1998), “Field Orientated Control of 3-Phase AC-Motors”, Texas Instruments, Application Note Literature Number: BPRA073.

Akyel, A., Elektrik Enerji Sistemlerinde Güç Kalitesinin İncelenmesi Yüksek Lisans Tezi, İstanbul 2011

Andrzej M. Trznadlowski, Control Of Induction Motors, Academic Pres, 2001

Ansari, A. A, Deshpande, D. M. “Investigation of Performance of 3-Phase Asynchronous Machine Under Voltage Unbalance” Journal of Theoretical and Applied Information Technology, Vol.6. No.1, pp 021-026, 2005

Arifoğlu, U. “Güç Sistemlerinin Bilgisayar Destekli Analizi” Alfa Yayınevi, İstanbul 2002

Bakan, A. F., (2002), “Asenkron Motorda Doğrudan Moment Kontrolunun İncelenmesi ve Gerçekleştirilmesi”, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Başaran. M., Hız Kontrol Sistemleri İle Beslenen Asenkronmotorlarda Mekanik Hataların Belirlenmesi Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir, Ocak,2009

Bayındır, N.S. ve Narlı E., (1992), “Asenkron Motorların Vektör Alan Yöntemiyle Kontrolü”, Elektrik Mühendisliği Dergisi Sayı 385, Sayfalar 19-25, 1992.

Baykal, R., Asenkron Motorlar Üzerine Enerji Verimliliği Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul 2011

Bayrak, M. “Elektrik Güç Sistemlerinde Enerji Kalitesi” [www.emo.org.tr](http://www.emo.org.tr).

Beaty, H.W. ve Kirtley, H.W., “Electric Motor Handbook”, McGraw Hill, New York, A.B.D., 1998.

Berndt, M.M. and Schmitz, N. L., “Derating of Polyphase Induction Motors Operated with Unbalanced Line Voltage,” AIEE Transactions. Vol. PAS-84, pp. 471-479, February, 1964

Bezek, Ç. “Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Asenkron Motor Analizinin Matlabda Gerçekleştirilmesi” Fırat Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Aralık 2009

Bose B.K., (2001), “Modern Power Electronics and AC Drives”, Prentice Hall, 2001.

## 6. KAYNAKLAR

---

Buja G.S., Kazmierkowski M.P., 2004. Direct Torque Control of PWM Inverter Fed Ac Motors a Survey,'IEEE IE Trans., Vol. 51 , pp-744-757

C.Sankaran, "Power Quality ", CRC Press, 2002.

Carson W.Taylor, "Power System Voltage Stability ", EPRI Power System Engineering Series, McGraw Hill, 1994

Chapman, D. "Elektrik Enerjisinde Kalite Uygulama Klavuzu" Copper Development Association, (Tercüme: Sarkuysan Elektrolitik Bakır Ticaret Sanayi A.Ş.), 2001, ([www.lpqi.org](http://www.lpqi.org)).

Çalışır S., Şeflek A.Z., Erkol A., Sulama Pompaj Tesislerinde Pompa Seçimine Etki Eden Faktörler, Konya 2010

Çolak. Asenkron Motorlar. Nobel Yayın Dağıtım. Ankara. 2001.

Das. J.C.. Effects of Momentary Voltage Dips on the Operation of Inductm and Synchronous Motors, IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 26, No. 4, pp. 711-717. July/Aug 1990

David Bradley, "Voltage dips, predictive maintenance – the key to power quality", Leonardo Power Quality Initiative Conference, Mart 2001, [www.lpqi.org](http://www.lpqi.org)

David Chapman, "The cost of poor power quality", .In Power Quality Application Guide 2-1, Leonardo Power Quality Iniative, Nisan 2002

Direk, C.,Energy Conservation And Load Management Analysis In Kızıltepe Electrical Network , Near East University Master Thesis, Nicosia 2011

E. G. Strangas, V. E. Wagner, and T. D. Unruh, "Variable speed drives evaluation test," in Conf. Rec. IEEE-IAS Annu. Meeting, San Diego, CA, Oct. 1996, pp. 2239–2243.

E. Styvaktakis; M. H. J. Bollen and I. Y. H. Gu. Classification of Power System Events:Voltage Dips. in Proc. 9th Int. IEEE Conf. Harmonics Quality Power, pages pp.745\_750,Oct. 1-4 2000.REFERENCES 91

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, <http://www.epdk.gov.tr> Erişim Tarihi: 15.10.2012

EPDK , "Elektrik sistemi arz ve kalitesi yönetmeliği", 2004

Ertöz A. Ö., (2001), Balçova Jeotermal Pompaları Enerji Analizi Çalışmaları

Ertöz A. Ö., (2003), Pompalarda enerji verimliliği 5. Pompa Kongresi İstanbul.

Ertöz A. Ö., Duymuş E., (2001), “Değişken Devirli Pompaların Seçimi” 4. Pompa Kongresi İstanbul.

Faiz, J., Ebrahimpour, H. And Pillay, P. “Influence of Unbalanced Voltage on the Steady State Performance of a Three Phase Squirrel-Cage Induction Motor”, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 19, No. 4, pp 657-662, December 2004

Fımbashi, T., and et al. An Influence of Voltage Sag on Nonutility Generator's Shaft Torque, Proc of the IEEE/PES Summer Meeting, Vol 4, pp. 2463-2468. 2000.

Fitzgerald. A., E. Kingsley, C., Umans S,D., Electric Machinery Fifth Edition, McGraww-Hill,1992.

Gafford, B.N., Duesterhoefl, W. C. and Mosher, C. C, “Heating of Induction Motors on Unbalanced Voltages,” AIEE Transactions, pt. III-A, Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-78, pp. 282-297, June, 1959

Gülgün, R., (1999), Güç Elektroniği, Yıldız Teknik Üniversitesi Baskısı, İstanbul.

H. G. Sarmiento and E. Estrada, “A voltage sag study in an industry with adjustable-speed drives,” IEEE Ind. Applicat. Mag., vol. 2, pp. 16–19, Jan./Feb. 1996.

Hamidat, A., Benyoucef B., “Mathematic models of photovoltaic motor-pump systems”, 33, (2008), 933-942.

Hava, A., M., Kerkman, R, J. Lipo,T, A., Simple Analytical and Graphical Methods for Carrier –Based PWM-VSI Drivers, IEEE Transactions on Power Electronic ,V01.14, No:1, January , 1999.

Hiendro, A. “Quantities Metot of Induction Motor Under Unbalanced Voltage Conditions” Indonesian Journal of Electrical Engineering, Vol.8, No.2, pp 73-80, 2010

Holtz J. PWM, IEEE Transaction on Industrial Electronic, Vol. 39, No:5 ,December 1992.

IEC Electromagnetic Compatibility (EMC) Part 4-30: “Testing and measurement techniques – power quality measurement methods”. IEC 61000-4-30, 2001.

IEC Electromagnetic Compatibility (EMC) Part 4-7: “Testing and measurement techniques – general guide on harmonics and interharmonics measurement and instrumentation for power supply systems and equipment connected thereto”, IEC 61000-4-7, 2000.

IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, IEEE Std. 1159-1995, 1995.

## 6. KAYNAKLAR

---

IEEE Task Force on Load Representation for Dynamic Performance," Load Representaion for Dynamic Performance Analysis", IEEE Transactions on Power Systems, Vol 8 No.2, pp.472-81, May 1993

IGBT'lerle Tasarlanan PWM'li Bir İnvörtör ile 3 Fazlı Asenkron Motorun Hız Kontrolü Ali Kırçay, Denizli 2001

Igor J. Karassik., William C. Krutzsch., Warren H. Fraser and Joseph P. Messina., (2003), "The Pump Handbook", 2nd Edition, McGraw-Hill, New York.

Iliceto, F., Teiaş Apk Daire Başkanlığı Mardin Kızıltepe Dikmen Gerilim Salımları Raporu Ankara,2011

International Electrotechnical Commission IEC 60034-26, Effects on Unbalanced Voltages on the Performance of Induction Motors, 2002

Işık, F., Gerilim Dengesizliklerinin Asenkron Motor Performansına Etkisinin İncelenmesi Yüksek Lisans Tezi, Gebze 2011

İnan E. Türkiye Enerji İletim Sistemi Üzerinde Gerilim Çukuru Analizleri, Doktora Tezi, Kocaeli, 2011

Jalilian, A., Roshanfekar, R., "Analysis of Three-phase Induction Motor Performance Under Different Voltage Unbalance Conditions Using Simulation and Experimental Results" Electric Power Components and Systems Vol. 3, No. 10, pp 300-319, October 2005

Karadayı Ş. Elektrik Enerji Sistemlerinde Gerilim Düşümlerinin Etkileri Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, Ocak 2007

Karaman,Ö.A. Doğrudan Moment Kontrollü Asenkron Motor Sürücü Sisteminin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ ,2010

Kianinezhad, R., Seifossadat, G., Heidari, M. and Monadi, M., "Effects of Distribution Network Unbalance Voltage Types in Respect to Identical Unbalance Factor on the Induction Motors" Elektrik, Elektronik, Otomasyon, Aydınlatma Ve Gletişim Fuarı Sempozyumu Eleco Bursa, pp 193-196, 2009

Külekcioğlu, A., Değişken Gerilim Ve Frekanslı Tek Fazlı Ac-Ac Çeviriciden Beslenen Asenkron Motor Sürücü Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ,2003

L. Conrad, K. Little, and C. Grigg, "Predicting and preventing problems associated with remote fault-clearing voltage dips," IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 26, pp. 167-172, Jan./Feb. 1991.

Lee, C.-Y. “Effects of Unbalanced Voltage on the Operation Performance of a Three-Phase Induction Motor“ IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 14, No.2, pp 202-208, June 1999

Mansoor A., R. J. Ferraro, “Characterizing ASD power quality application issues,” in Proc. PQA-97 North America, Columbus, OH, Mar. 3–6, 1997.

M. H. J. Bollen, Understanding Power Quality Problems—Voltage Sags and Interruptions. New York: IEEE Press, 1999.

M.H.J. Bollen. Understanding Power Quality Problems – Voltage Sags and Interruptions. New York: IEEE Press, 2000.

Marti, O Santrifüj Pompaların Genel Tasarımının İncelenmesi ,Yüksek Lisan Tezi İstanbul 2006

Menlibar O. Asenkron Motorda Moment Dalgalanmalarının ve Gürültünün Azaltılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul,2009

Merz H., “Electric Machines and Drives”, VDE VERLAG GMBH, Berlin, Almanya, 2002.

Mezghanni, D., Andoulsi, R., Mami, A., Tanguy, G.D., “Bond graph modelling of a photovoltaik system feding an induction motor-pump”, 15, (2007), 1224-1238.

Mirabbasi, D., Seisfossadat, G., Heidari, M., “Effect of Unbalanced Voltage on Operation of Induction Motors and its Detection” Elektrik, Elektronik, Otomasyon, Aydınlatma Ve Ğletiğim Fuarı Sempozyumu, pp. 189-192, Eleco, Bursa 2009

Mirabbasi, D., Seisfossadat, G., Heidari, M., “Effect of Unbalanced Voltage on Operation of Induction Motors and its Detection” Elektrik, Elektronik, Otomasyon, Aydınlatma Ve Ğletiğim Fuarı Sempozyumu, pp. 189-192, Eleco, Bursa 2009

Mohan, N., Undeland T. M., Robbins, W. P., “Güç Elektroniği Çeviriciler, Uygulamalar ve Tasarım”1989

Mohan, N., Undeland, T.M. ve Robbins, W.P., “Power Electronics Converters, Application, and Design”, John Wiley & Sons Inc, New Jersey, A.B.D., 2002.

Tanrıöven M., İnce R. ’Elektrik Gü.ç Sisteminin Kalitesini Bozan Faktörlerin İncelenmesi’(2011).www.etmd.org.tr-Teknik Yazılar.

National Electrical Manufacturers Association NEMA MG-1-2006 Motors and Generators Standart



## 6. KAYNAKLAR

---

Nejat Tuncay , " Elektrik Enerji Kalitesinin Tanımı", Elektrokent perpa dergisi, Ocak-Şubat,2001

Önel, İ. Y. "3 Fazlı Asenkron Motorlarda Arızalar ve Verime Etkileri" Elektrik Port, <http://www.elektrikport.com>, 2009, Erişim Tarihi: 03.04.2011

Peter W Sauer, M.A.Pai, "Power System Dynamics and Stability", Prentice Hall, New Jersey, 1998

PGE Company, [www.pge.com](http://www.pge.com) Erişim Tarihi: 20.03.2012

Pledger J., (2001), Improving Pump Performance & Efficiency with composite wear components –Greene, Tweed and Co. Fluid handling Group; World Pumps, Number 420.

Radhakrishna C., Impact of Voltage Sags in Practical Power System Networks, Proc of the IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition, Vol.», pp.567-572, 2001.

Reed, H. R., Koopman, R. J., "Induction Motors on Unbalance Voltages" AIEE Transactions, Vol. 55, pp. 387-393, November 1936

REID, E. W., ' Power Quality Issues-Standards and Guidelines', IEEE Trans on IA, Vol 32 No 1, May/June 1996.

Roger C.Dugan, Mark F. McGranaghan, H. Wayne Beaty, " Electrical Power Systems Quality", McGraw-Hill, 1996

S.Ahmed-Zaid, M.Taleb. and V.V.V.Price, "First Order Induction Machine Models Near Voltage Collapse", International Workshop on Bulk Power System Voltage Phenomena: Voltage Stability and Security, Deep Creek Lake, Maryland, pp.403-410, 4-7 August 1991

Sandhu, K. S., Chaudry, V. "Steady State Modelling of Induction Motor Operating with Unbalanced Supply System" WSEAS Transactions on Circuits and Systems, Vol. 8, pp 197-206, February 2009

Sang-Yun Yun; Jae-Chul Kim. An Evaluation Method of Voltage Sag using a Risk Assessment Model in Power Distribution Systems. Elsevier Science LTD, Electrical Power and Energy Systems 25, pages pp. 829\_839, 2003.

Sarıgül, A " Santrifüj Pompalarda Enerji Verimliliği, Yüksek Lisan Tezi İstanbul,2010

Sarioğlu, M. K., Gökağan M., Boğosyan S. "Asenkron Makineler Ve Kontrolü" Birsen Yayınevi, İstanbul, 2003

Sarioğlu, M.K., Gökasan, M. ve Boğosyan, S. (2003), Asenkron Makinalar ve Kontrolu, Birsen Yayınevi, 2003.

Sarma, G. “Power System Analysis & Design” Second Edition, Boston, 1994

Semizöğlu. H., Asenkron Motorun Frekans eviricileri İle Kontrolü Yüksek Lisans Tezi, Gebze,2007

Sevgi, L. “EMC, Güç Kalitesi ve Harmonik Analizi” Endüstri & Otomasyon, Haziran 2005.

US Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, Motor Tip Sheet #5. “Replace V-Belts with Cogged or Synchronous Belt Drives”, September 2005

Benşeten YAKUT, Y., Güneş Gözeleri ile Beslenen Hız Kontrollü Asenkron Motor Sürücü Sisteminin Gerçeklenmesi ve Sulama Sistemine Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Diyarbakır ,2009

Yıldız, N.Ş., Elektrik Dağıtım Sistemlerinde Elektrik Enerjisinde Kalitenin Yükseltilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sivas ,2006

Yörür, K., Elektrik İletim Hatlarının Güç Kalitesi Parametrelerinin Yazılımla Hesaplanması ve Değerlendirilmesi Yüksek Lisans Tezi, Ankara ,2008

Yumurtacı Z. Santifürj Pompalarda Enerji Verimliliği ve Uygulamaları,2011

Valentine R., “Motor Control Electronics Handbook”, McGraw Hill, New York, A.B.D., 1998.

Vithayathil, J., (1995), Power Electronics: Principles and Applications, McGraw-Hill, Inc.,1995, ISBN 0-07-067555-4.

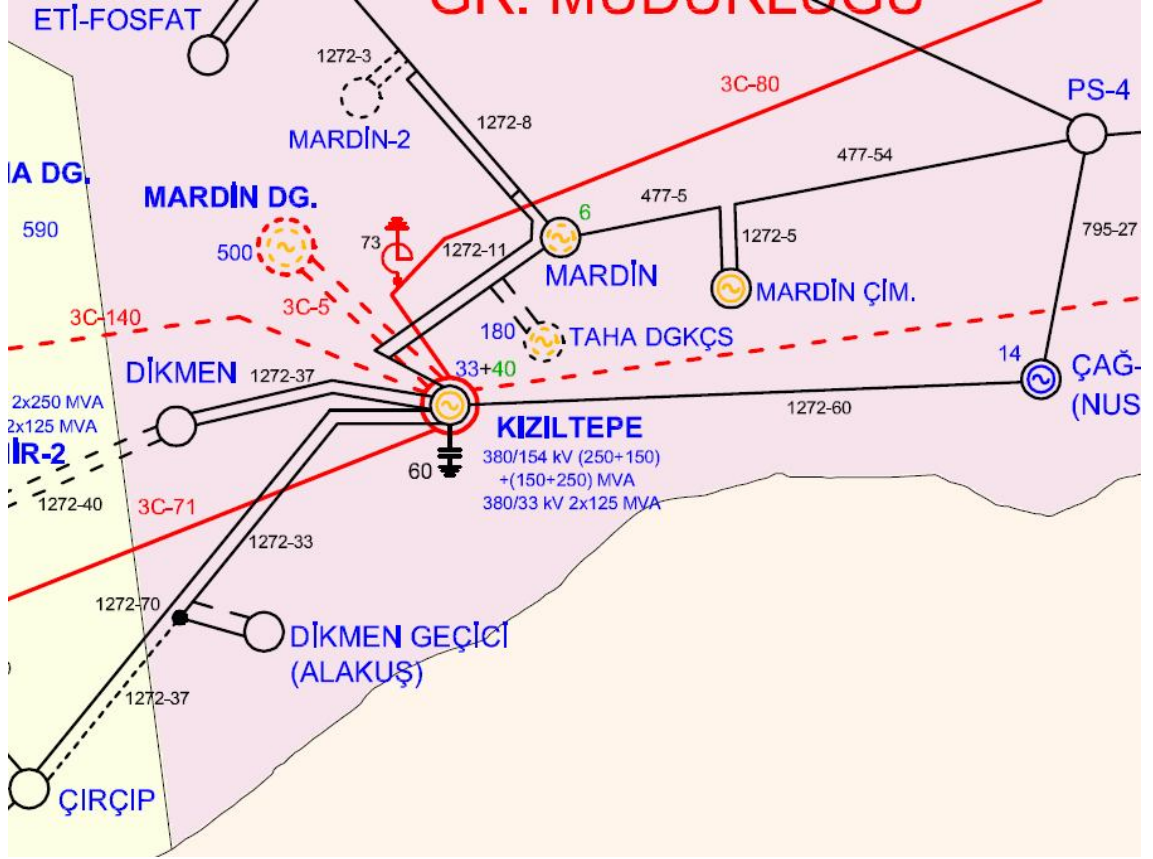
Williams, J. E. “Operation of Three-Phase Induction Motors On Unbalance Voltages” AIEE Transactions, pt. III-A, Power Apparatus and Systems, Vol. 73, pp. 125-133, April 1954



## EKLER

### EK 1

Kızıltepe Bölgesi'nin elektrik tek hat şeması



## EK 2

110 kW (150 hp) asenkron motorun parametreleri

Configuration	Parameters	Advanced
Nominal power, voltage (line-line), and frequency [ Pn(VA), Vn(Vrms), fn(Hz) ]:		
[1.1e+005 400 50]		
Stator resistance and inductance [ Rs(ohm) Lls(H) ]:		
[0.02155 0.000226]		
Rotor resistance and inductance [ Rr'(ohm) Llr'(H) ]:		
[0.01231 0.000226]		
Mutual inductance Lm (H):		
0.01038		
Inertia, friction factor, pole pairs [ J(kg.m <sup>2</sup> ) F(N.m.s) p() ]:		
[2.3 0.05421 2]		
Initial conditions		
[1 0 0 0 0 0 0]		

### EK 3

a) Altı adımlı AC sürücü ve b) uzay vektör AC sürücülerin konvertör, dc bara ve kontrol birimlerinin parametreleri

<b>Rectifier</b> <b>Snubbers</b> Resistance (ohm): <input type="text" value="5e3"/> Capacitance (F): <input type="text" value="100e-9"/> <b>Thyristors</b> On-state resistance (ohm): <input type="text" value="1e-3"/> Forward voltage (V): <input type="text" value="1.3"/>	<b>Dc Bus</b> Inductance (H): <input type="text" value="1e-3"/> Capacitance (F): <input type="text" value="4000e-6"/> <b>Braking chopper</b> Resistance (ohm): <input type="text" value="8"/> Chopper frequency (Hz): <input type="text" value="4000"/>	<b>Inverter</b> <b>Switches</b> Device type: <input type="text" value="IGBT / Diodes"/> On-state resistance (ohm): <input type="text" value="1e-3"/> Forward voltages (V) Main device: <input type="text" value="1.7"/> Diode: <input type="text" value="1.7"/> Turn-off characteristics Fall time (s): <input type="text" value="1e-6"/> Tail time (s): <input type="text" value="2e-6"/> <b>Snubbers</b> Resistance (ohm): <input type="text" value="1e3"/> Capacitance (F): <input type="text" value="20e-9"/>
---	--	---

<b>DC bus control</b> Voltage sensor cutoff frequency (Hz): <input type="text" value="30"/> Network frequency (Hz): <input type="text" value="60"/> DC bus negative deviation (V): <input type="text" value="20"/> DC bus positive deviation (V): <input type="text" value="20"/> <b>PI regulator</b> Proportional gain: <input type="text" value="0.5"/> Integral gain: <input type="text" value="5"/> <b>Bus voltage limits (V)</b> Minimum: <input type="text" value="30"/> Maximum: <input type="text" value="280"/>	<b>Six step generator</b> <b>Speed ramps (rpm/s)</b> Acceleration: <input type="text" value="2000"/> Deceleration: <input type="text" value="-2000"/> <b>Output frequency limits (Hz)</b> Minimum: <input type="text" value="0"/> Maximum: <input type="text" value="120"/> Volts / Hertz ratio: <input type="text" value="5"/> Zero speed crossing time (s): <input type="text" value="0.5"/>
--	--

a)

<b>Rectifier</b> <b>Snubbers</b> Resistance (ohm): <input type="text" value="10e3"/> Capacitance (F): <input type="text" value="20e-9"/> <b>Diodes</b> On-state resistance (ohm): <input type="text" value="1e-3"/> Forward voltage (V): <input type="text" value="1.3"/>	<b>DC Bus</b> Capacitance (F): <input type="text" value="2000e-6"/> <b>Braking chopper</b> Resistance (ohm): <input type="text" value="8"/> Chopper frequency (Hz): <input type="text" value="4000"/> Activation voltage (V): <input type="text" value="340"/> Shutdown voltage (V): <input type="text" value="320"/>	<b>Inverter</b> <b>Switches</b> Device type: <input type="text" value="IGBT / Diodes"/> On-state resistance (ohm): <input type="text" value="1e-3"/> Forward voltages (V) Main device: <input type="text" value="1.2"/> Diode: <input type="text" value="1.2"/> Turn-off characteristics Fall time (s): <input type="text" value="1e-6"/> Tail time (s): <input type="text" value="2e-6"/> <b>Snubbers</b> Resistance (ohm): <input type="text" value="500"/> Capacitance (F): <input type="text" value="1e-9"/>
---	--	--

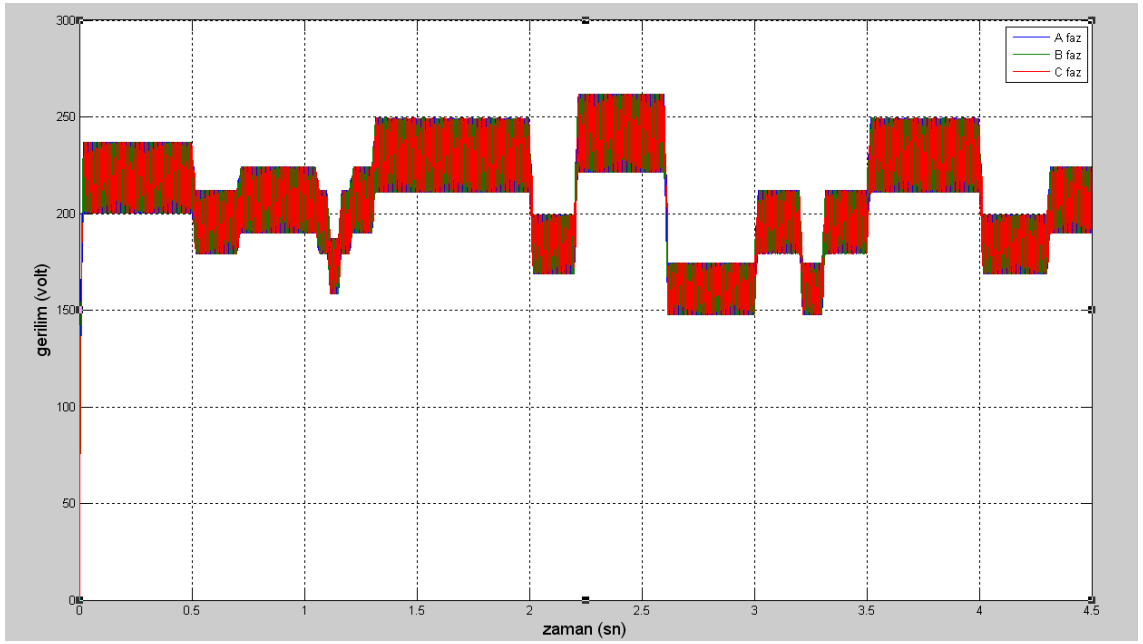
<b>Speed controller</b>			
<b>Speed ramps (rpm/s)</b>		<b>Output limits</b>	
Acceleration: <input type="text" value="2000"/>	Deceleration: <input type="text" value="-2000"/>	Controller: <input type="text" value="-25"/>	Maximum: <input type="text" value="25"/>
<b>PI regulator</b>		Frequency (Hz): <input type="text" value="0.05"/>	<input type="text" value="100"/>
Proportional gain: <input type="text" value="9"/>	Integral gain: <input type="text" value="10"/>	Voltage (V): <input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="360"/>
Sampling time (s): <input type="text" value="100e-6"/>	Sensor cutoff frequency (Hz): <input type="text" value="100"/>	Voltz / Hertz ratio: <input type="text" value="3.2"/>	Zero speed crossing time (s): <input type="text" value="0.4"/>

<b>SVM generator</b>		
SVM switching frequency (Hz): <input type="text" value="4500"/>	DC bus voltage sensor cutoff frequency (Hz): <input type="text" value="50"/>	Sampling time (s): <input type="text" value="20e-6"/>

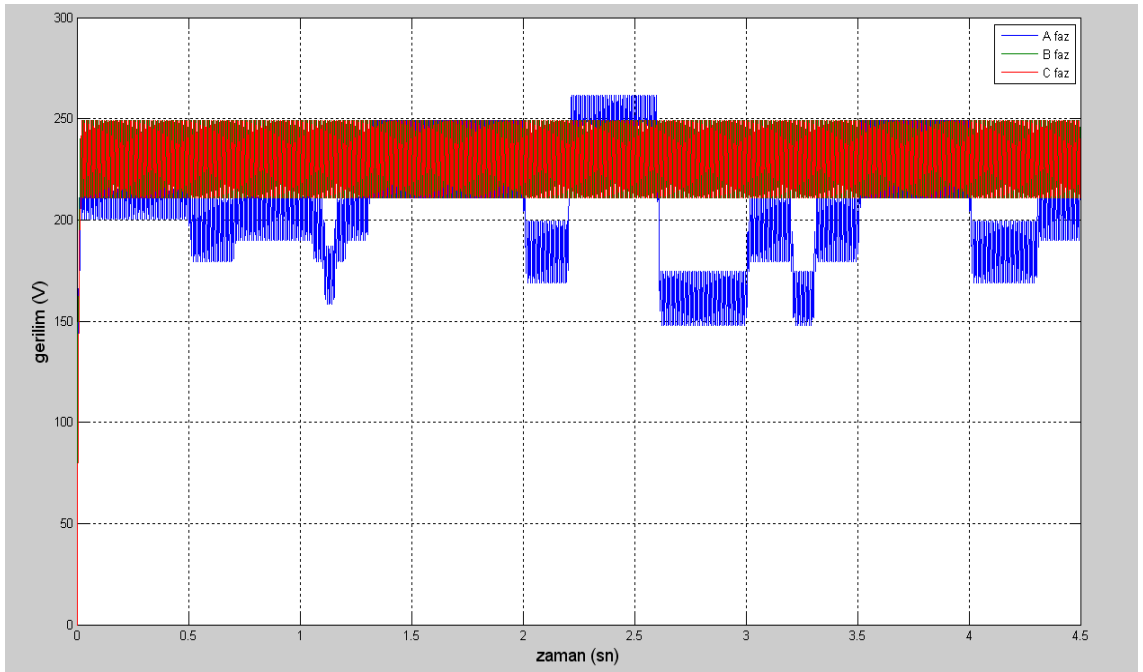
b)

#### EK 4

a) Üç faz dengesiz ve b) tek faz dengesiz giriş gerilimi rms değerleri



a)



b)





## ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı: Halil İbrahim AYDINÖZ

Doğum Yeri: Diyarbakır

Doğum Tarihi: 21.12.1987

Medeni Hali: Bekar

Yabancı Dili: İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise: Ziya Gökalp Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi/ Diyarbakır, 2005

Lisans:Dicle Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği /Diyarbakır,2009

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl:

Batman Üniversitesi

Araştırma Görevlisi (2010-2011), Batman

TEİAŞ Batı Akdeniz Yük Tevzi İşletme Müdürlüğü, Kepez/ANTALYA

İşletme Mühendisi(2011- Halen)

Yayımları (SCI ve diğer makaleler)

1- Aydınöz,H.İ., Gümüş, B. Kızıltepe Ovasında Tarımsal Sulamanın İletim ve Dağıtım Şebeke Kalitesi Üzerine Etkileri, Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu 2013 (EVK 2013), 23-24 Mayıs 2013, Kocaeli. S,49-53

2- Aydınöz,H.İ., Gümüş, B. Kızıltepe Ovasında Tarımsal Sulamadan Kaynaklanan Gerilim Dalgalanmalarının Asenkron Motorlar Üzerine Etkileri, Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu 2013 (EVK 2013), 23-24 Mayıs 2013, Kocaeli. S,146-150