

T.C.
BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARIYLA BESLENEN ANAHTARLAMALI
RELÜKTANS MOTORUN PERFORMANS ANALİZİ

Dilan DEMİR AKTAŞ

EKİM 2018

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARIYLA BESLENEN ANAHTARLAMALI
RELÜKTANS MOTORUN PERFORMANS ANALİZİ

Hazırlayan
Dilan DEMİR AKTAŞ

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Serhat Berat EFE

Jüri Üyeleri
Prof. Dr. Sabir RÜSTEMLİ
Dr. Öğr. Üyesi Serhat Berat EFE
Dr. Öğr. Üyesi Musa YILMAZ

EKİM 2018

Dilan DEMİR AKTAŞ tarafından hazırlanan “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarıyla Beslenen Anahtarlama Relüktans Motorun Performans Analizi” adlı tez çalışması 26/10/2018 tarihinde yapılan sınavla aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Sabir RÜSTEMLİ

(Başkan)

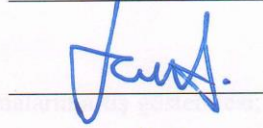
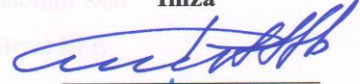
Dr. Öğr. Üyesi Serhat Berat EFE

(Danışman)

Dr. Öğr. Üyesi Musa YILMAZ

(Üye)

İmza



Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun 02.10.2019 gün ve 01.1.06 Sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Fatih Ahmet ÇELİK

Enstitü Müdür V.

ÖZET

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARIYLA BESLENEN ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTORUN PERFORMANS ANALİZİ

Dilan DEMİR AKTAŞ

Yüksek Lisans Tezi

Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Serhat Berat EFE

Ekim 2018, 46 sayfa

Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynakları üzerine yapılan çalışmaların artış göstermesi; birçok alanda olduğu gibi endüstriyel ve makine sanayiinde de tercih edilmesine neden olmaktadır. Motor sürücülerinde teknolojisindeki gelişmelerle birlikte, klasik elektrik makinelerine alternatif olarak düşünülen Anahtarlama Relüktans Motorlar (ARM), aynı güçteki klasik makinelerden daha ucuz ve basit yapılı olmasından dolayı daha avantajlı hale gelmiştir.

Bu tez çalışmasında bir Fotovoltaik (FV) Sistem ve Rüzgâr Enerjisi Sistemi (RES) ile oluşturulan hibrit bir enerji üretim sistemi tarafından beslenen ARM'nin, depolama üniteli ve depolama ünitesi olmadan doğrudan beslenme durumundaki performans analizi yapılmıştır. Analiz sisteminin fiziksel olarak kurulumunun yapılmasının ardından motorun depolama ünitesinden beslenme durumundaki davranışı belirlenmiştir. Daha sonra, bu çalışmanın temel amacı kapsamında, motor, hibrit sistemden doğrudan beslenmiş ve çeşitli yük durumlarına göre ARM'nin çalışma performansı gözlenmiştir.

Kurulan bu sistem, endüstriyel sanayide ve tarımsal sulamada tercih edilmesi durumunda alınacak verim ve motorun potansiyeli açısından incelenmiş, elde edilen sonuçlar sistem grafikleri üzerinden yorumlanarak planlama ve sistem mühendisleri için öneriler sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Anahtarlama Relüktans Motor, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Fotovoltaik Sistem, Rüzgâr Enerjisi Sistemi.

ABSTRACT

PERFORMANCE ANALYSIS OF SWITCHED RELUCTANCE MOTOR FED BY RENEWABLE ENERGY SOURCES

Dilan DEMİR AKTAŞ

Master Thesis

Bitlis Eren University Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electric and Electronic Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Serhat Berat EFE

October 2018, 46 pages

As the studies on renewable energy sources are increased in recent years, such systems are preferred in many areas like industrial and machine industry. The Switched Reluctance Motor (SRM), which is considered as an alternative to conventional electric machines, has become more advantageous with the developments in motor-drive technology, because it is cheaper and simpler than the conventional machines of the same power.

In this thesis, performance analysis of a SRM which was fed by a hybrid system that consist of photovoltaic (PV) system and wind energy system (WES), was performed with and without storage unit conditions. The behavior of the SRM with storage unit was determined after physical installation of analysis system. Then, as the main purpose of this study, the motor was fed directly from the hybrid system and the operating performance of SRM was observed according to the various load cases.

Installed system was investigated in terms of efficiency and motor performance if preferred in industry and agricultural irrigation, results were reviewed by using obtained system graphs, suggestions were presented for planning and system engineers.

Keywords: Switched Reluctance Motor, Renewable Energy Sources, PV System, Wind Energy System

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőması sırasında, tez konusunun belirlenmesinden baőlayarak son aőamaya kadar her konuda benden yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Serhat Berat EFE'ye őükranlarımı sunarım.

Bu günlere gelmemde büyük emekleri olan annem Yasemin, babam Abdullah'a, yoğun çalışma temposunda benden maddi ve manevi desteğini esirgemeyen eőim Abdullah'a, varlıkları ile birer motivasyon kaynağı olan ablam Elif, yeğenim Mustafa'ya ve kardeőim Kadir'e teşekkür ederim.

Ayrıca bu tez çalışmasında BEBAP 2017.09 ve BEBAP 2018.06 numaralı projeler kapsamında verdikleri desteklerden dolayı Bitlis Eren Üniversitesi Bilimsel Araőtırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederim.

ÖNSÖZ

Teknolojik gelişmeler, nüfus artışı, dışa bağımlılığın azaltılmak istenmesi, enerji fiyatlarındaki artış ve yenilenemez enerji kaynaklarının hızla tüketilmesi, YEK'e yönelimi zorunlu kılmıştır. Bu sebeplerden ötürü kullanılacak YEK'in sınırsız, sürdürülebilir ve çevre dostu olması gerekmektedir. Bu özellikteki YEK'ten olan rüzgâr ve güneş enerjisi en çok tercih edilen sistemlerdir. Son yıllarda güç elektroniği ve bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerle kontrol ve sürücü devre tasarımları geliştirilen ARM ve YEK ile gerçekleştirilen çalışmalarda başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Klasik elektrik makinelerinden daha basit yapılı, maliyetinin az olması ve yüksek güçlerde çalıştırılabilmesi, bu uygulamalarda ARM'nin tercih edilmesinde etkilidir.

Bu tez çalışmasında FV ve RES ile oluşturulmuş bir hibrit enerji üretim sistemi ile beslenen ARM'nin depolama üniteli performansı ve depolama ünitesiz doğrudan beslenmesi durumunda analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara bağlı olarak bölgemizde ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yaygın olan tarımsal sulama, endüstri ve sanayii için yenilenebilir enerjiyle beslenen motorun performansı karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	i
TEŞEKKÜR	iii
ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
KISALTMALAR DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM	7
3.1. Anahtarlamaalı Relüktans Motorlar (ARM).....	7
3.1.1. ARM'nin Yapısı	7
3.1.2. ARM'nin Çalışması	10
3.1.3. ARM'nin Karakteristik Özellikleri	11
3.1.3.1. ARM Endüktans ve Momentinin Rotor Konumu ile İlişkisi	11
3.1.3.2. ARM'de Moment Analizi	13
3.1.3.3. ARM'de Enerji Dönüşümü	15
3.1.3.4. ARM'de Tork-Hız Karakteristiği	16
3.1.3.5. ARM Eşdeğer Devresi ve Temel Denklemler	18
3.1.3.6. ARM'nin Kullanım Alanları	20
3.2. Yenilenebilir Enerji Sistemleri.....	21
3.2.1. Fotovoltaik Sistemler	21
3.2.2. Rüzgâr Enerjisi Sistemleri	25
3.3. Yardımcı Yazılım ve Cihazlar.....	28

4. BULGULAR	30
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	33
5.1. Depolama Üniteli Sistem	33
5.2. Depolama Ünitesiz Sistem	35
4. KAYNAKLAR	40
ÖZGEÇMİŞ	46



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Faz ve kutup sayılarına göre bir devirdeki darbe sayısı	9
3.2. Ulaşılan en yüksek hücre verimleri.....	23



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. 8/6 ARM kesiti	8
3.2. a-fazı yüz yüze konum ve akı haritası	11
3.3. Rotor konumu, üretilen endüktans, sargı akımları ve üretilen moment	12
3.4. Bir faz için endüktans, tork ve akım eğrileri	13
3.5. Akım ve halkalanma akısı arasındaki doğrusal olmayan ilişki	14
3.6. Enerji dönüşüm grafiği	15
3.7. Sabit akımda koenerjinin değişimi ile ani torkun değişimi	16
3.8. ARM'nin tork-hız karakteristiği	17
3.9. ARM'nin bir faz eşdeğer devresi.....	18
3.10. FV hücre üretim bandı	22
3.11. Güneş pili eşdeğer DA akım modeli.....	23
3.12. Rüzgâr türbininin iç yapısı	26
3.13. RES blok şeması.....	27
3.14. WatchPower yazılımına ait ekran görüntüsü.....	28
3.15. Fluke 435-II	29
4.1. Bitlis'in ilçelere göre güneş potansiyeli haritası.....	30
4.2. Bitlis ili yıllık global güneş ışınımı	30
4.3. Bitlis iline ait rüzgâr hız dağılımı	31
4.4. Bitlis iline ait kapasite faktörü.....	31
4.5. Kurulu hibrit sisteme ait uydu görüntüsü	32
4.6. Kurulu hibrit sistem	32
5.1. Deneysel uygulama sistemi	33
5.2. Akünün tam dolu olması durumunda ARM performansı.....	34
5.3. Akü kapasite değişimi	34
5.4. Akü kapasite değişimine göre hız.....	35
5.5. Tam ışınım ve tam rüzgâr	36
5.6. %30 yük durumunda motor hızı	36
5.7. Yük göstergesi	37
5.8. Değişken rüzgâr ve %75 ışınım.....	37
5.9. Rüzgârsız ve %60 ışınım	38

5.10. Rüzgâr türbininin devreden çıkarılması38



KISALTMALAR DİZİNİ

ARM	Anahtarlamaalı Relüktans Motor
DA	Doğru Akım
FV	Fotovoltaik
RES	Rüzgâr Enerji Sistemi
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
YEK	Yenilenebilir Enerji Kaynakları



1. GİRİŞ

Konvansiyonel enerji kaynak rezervlerinin azalması, hızlı sanayileşme ve kentleşmeye bağlı olarak enerji ihtiyacının artması, enerji fiyatlarındaki artış ve buna bağlı olarak gelecekteki üretim tüketim dengesinin tehlikede olması, YEK'e yönelimi zorunlu hale getirmiştir. Özellikle fosil yakıt kullanımına bağlı sera etkisinin artması, küresel ısınma, hammadde fiyatlarındaki artış, çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri, konvansiyonel enerji kaynak kullanımında bir takım zorlukların yaşanması YEK üzerine yapılan çalışmaların artan bir ivme göstermesinde etkili olmuştur. YEK'in avantajlarından biri de diğer enerji kaynaklarıyla birlikte hibrit sistem oluşturabilmesidir. İki ya da daha fazla farklı enerji üretim sisteminin bir arada çalıştığı sistemlere hibrit enerji sistemleri denir. Ayrıca iletim ve dağıtım cihaz gereksinimini azaltması, yerel hizmet güvenini arttırması, son kullanıcının yakınına kurulabilmesi, çeşitli kontrol tekniklerinin kullanılması ile kurulu gücü düşük olan uygulamalar için verimli bir hibrit yapı oluşturmak daha avantajlı hale gelmiştir [1]. Bu sistemler elektriksel olarak paralel bağlanıp ve enerji şebekesi ile entegre edilip güç artırımı sağlanabilir. Ulusal şebekeye bağlı ve ulusal şebekeden bağımsız olarak çalıştırılabilirler.

YEK üzerine yapılan çalışmaların artışıyla birlikte hibrit sistemler; makine ve sanayi uygulamalarında da tercih edilmeye başlanmıştır. Günümüzde öncelikli yüklerin hayati önem kazandığı sanayi bölgeleri için hibrit sistemlerin getireceği çözümlerin sağlayacağı katkının önemi aşikârdır. Sanayide üretim sürekliliğinin sağlanması hayati önem taşımaktadır. Enerji kalitesi ve sürekliliği bu sektörün vazgeçilmez ana unsurlarıdır. Bu sürekliliğin hibrit enerji üretim sistemleri ile sağlanabileceği elde edilen sonuçlar arasında en dikkat çekici sonuç olarak öne çıkmaktadır.

Son kırk yılda sürücü teknolojisindeki gelişmeler sayesinde klasik elektrik makinelerine alternatif olarak düşünülen ARM'ler diğer doğru akım (DA) motorlarına ve asenkron motorlara kıyasla yapısının basit, atalet momentinin düşük, imalatının ucuz olması ve yüksek hızlarda çalışabilmesi özelliklerinden dolayı makine sanayiinde hızla yerini almıştır [2]. ARM'ler doğrudan DA ile çalışabilmelerinden ötürü YEK ile birlikte kullanımlarında, özellikle FV sistem uygulamalarında büyük avantaj sağlamaktadır. YEK ile beslenen motor çalışmaları incelendiğinde ARM ile yapılan çalışmalar azımsanamayacak kadar çoktur. Yapılan incelemelerde ARM çalışmalarının depolama üniteli sistemlerden oluştuğu ancak doğrudan besleme üzerine çalışmaların yapılmadığı dikkat çekmektedir. Bu tez çalışmasında Bitlis Eren Üniversitesi Rahva Yerleşkesi'nde kurulu FV ve RES ile oluşturulan hibrit enerji üretim sistemi

tarafından beslenen ARM'nin depolama ünitesi ve depolama ünitesiz çalışması incelenmiştir. Tasarlanan sistemde öncelikle referans hız değeri belirlenerek tam dolu akü ve akü kapasite değişimi durumlarında motor hızı gözlemlenmiş, daha sonra bu çalışmanın temel amacı kapsamında, motor, hibrit sistemden doğrudan beslenerek, rüzgâr ve ışınım oranı değişimlerine bağlı olarak depolamasız sistem değerlendirilmiştir. Kurulan bu sistem, endüstriyel sanayide ve tarımsal sulamada tercih edilmesi durumunda alınacak verim ve motorun potansiyeli açısından incelenmiş, elde edilen sonuçlar sistem grafikleri üzerinden yorumlanarak öneriler sunulmuştur.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Harb ve arkadaşları evirici entegreli AC bağlantı tek fazlı, FV modül üzerine çalışmışlar. Bu çalışmada tek fazlı şebekeye bağlı FV uygulamaları için AC-bağlantılı baz modülle entegre evirici model önerilmiş. Yapılan çalışmada çift yönlü güç akışı olduğu ve depolama da dâhil olmak üzere diğer sistem gerekliliklerinin yerine geldiği görülmüştür [3].

Bayrak ve ekibi tarafından farklı sıcaklıklarda ve güneş ışınımı değerlerinde FV modülün performans analizi yapılmıştır. Geliştirilmiş modelle FV modül üzerine yapılan çalışmalarda, FV generatörün rahatlıkla kullanılabilmesi ve farklı özellik ve güçlerde FV generatörlerin modellenmesi amaçlanmıştır [4].

Rajip Datta ve V.T.Ranganathan yaptıkları çalışmada çift beslemeli asenkron generatörün kullanımıyla rüzgâr enerjisi dönüşüm sisteminin modelini sunmuşlardır. Çift beslemeli asenkron generatörün stator ve rotorundan birlikte güç üretimi sağlanır. Bununla birlikte, rotor devresi için güç elektroniği ve kontrol maliyetlerinin artmasıyla beraber çıkış gücünde artma meydana gelmektedir. Bu yapılandırmanın bir avantajı reaktif gücü şebeke tarafından sağlanan işletmelerde daha uygun olduğu görülmektedir [5].

Mikro şebekeler, YEK ile klasik enerji üretim santrallerinin entegrasyonu ile oluşturulan hibrit yapılardır. Özel bölgelerin enerjilendirilmesinde kolayca uygulanabilmeleri, kaliteli ve sürekli enerji sağlayabilmelerinden dolayı mikro şebekelerin kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır. Dou ve Liu, dağıtık üretim kaynakları ile oluşturulan bir mikro şebekenin geçici durum kontrolü üzerine çalışmıştır [6]. Ancak görülmektedir ki çalışma yapılan üretim kaynaklarının parametreleri mikro şebeke tanımına uymamaktadır. Zira yapılan tasarımda kaynakların güçleri MVA'lar mertebesinde tanımlanmıştır.

Yapılan çalışmaların çok büyük bir kısmının teorik platformda kalması, araştırmacıları klasik yöntemler üzerinde düzenlemeler yaparak yeni yöntemler oluşturma yoluna itmiştir. Bu tip çalışmalardan birinde Abdelaziz vd. farklı kaynak ve yükler içeren izole bir mikro şebekenin diferansiyel eşitliklerini oluşturmuş ve Newton yöntemi ile çözmüşlerdir [7].

Liu vd. (2010) yaptığı çalışma, birbirlerine bağlı olarak çalışan bir AA ve bir DA şebekesi içeren mikro şebeke yapısı üzerinedir [8]. AA şebekesi; rüzgâr türbini, dizel üreteçler ve sıradan AA yüklerden, DA şebekesi ise FV paneller, yakıt pili ve DA yüklerinden oluşmuştur. Sistemde AA ve DA olmak üzere iki bara mevcuttur ve bu baralar her iki şebeke tarafından da beslenmektedir. Tüm yapıların modellenmesinden sonra çeşitli yük ve üretim senaryoları için benzetim programı çalıştırılmıştır. Şebeke bağlantılı durum ve izole durum için çalıştırılan

sistemin sonuçları, hibrit yapıların hem şebeke bağlantılı hem de izole olarak çalıştırılabileceğini göstermiştir.

Liu vd. (2009) yapmış olduğu diğer bir çalışmada ise, bağımsız mikro şebekeler için Newton – Raphson güç akışı çözümü temelli yeni bir güç akışı hesaplama modeli geliştirmiştir [9]. Bu model salınım barası olmayan şebekenin uyumlu çalıştırılmasını sağlamak amaçlı tasarlanmıştır. Salınım barasına sahip şebekeler için olan geleneksel güç akışı yöntemleri ile karşılaştırıldığında elde edilen sonuçların uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Orjini 1824 yılına dayanan ARM ilk olarak Davidson tarafından 1838 yılında İskoçya’da bir lokomotifin hareket ettirilmesinde kullanılmıştır. Günümüzdeki ARM’lerin temel özelliklerini taşıyan ilk ARM patenti 1972 yılında ABD’de Bedford ve Hoft tarafından alınmıştır [10].

1960’lı yılların sonlarına kadar çok küçük güçlerde imal edilen ve üzerinde pek durulmayan ARM’ler, yarı iletken teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak tekrar gündeme gelmiştir. 1970’li yıllarda ucuz ve hızlı elektronik güç anahtarlarının, anahtarlama döngülerini sağlayan yüksek performanslı mikroişlemcilerin ve yüksek güçlerde değişken relüktanslı motorların üretilmesi ile relüktans motorlar üzerine yapılan çalışmalar artmıştır. 1980 yılında, Lawrenson ve arkadaşları ARM’lerin değişken hızlı uygulamalarda kullanılabileceğini göstermişlerdir. ARM ticari amaçlı olarak ilk kez 1983 yılında Oulton Drives Ltd. lisansı ile Tasc Drives tarafından İngiltere’de üretilmeye başlanmıştır [11].

ARM’lerle ilgili kapsamlı çalışmalar 1967 yılında İngiltere’de Leeds Üniversitesinde ve daha sonra 1973 yılında Nottingham Üniversitesinde başlamıştır[12].

İlk ARM’ler 1974 yılında Ford Motor şirketinde çalışan Unnewehr ve Koch tarafından üretilmiş, daha sonra ise 1978 yılında Bausch tarafından üretilmiştir [13].

Belliwali, Chakravarti ve Raju doğrudan FV su pompalama sistemine bağlı ARM’nin matematiksel modeli ve benzetimi üzerinde çalışmışlardır. Sistem bir FV dizisiyle çalışan bir santrifüj su pompasını çalıştıran ARM’den oluşmaktadır. Bu çalışmada sistemdeki FV dizisi motor giriş akımını kontrol ederek daima maksimum güç noktasında çalıştırılmak istenmiş ve FV dizisinin maksimum güç noktası takibini sağlamak için bir kontrol sistemi tasarlanmıştır [14].

Zou ve ekibi ARM’ye dayalı bir FV takip sistemi için yeni kontrol yöntemi üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmada üç fazlı kavisli ARM’ye dayanan FV enerji üretimi için güneş panelinin açısı yer değiştirmesini düzenleyen yeni bir yöntem önerilmiştir. İzleme sisteminin mekanik yapısı ve eğimli ARM’nin matematik modelleri tasarlanmış ve detaylandırılmıştır. Motorun temel elektromanyetik özellikleri ve tork çıkışı analiz edilip, motorun iki kontrol modu

simüle edilmiş ve eş benzetim yöntemi ile açı yanıtı ve izleme yönteminin etkinliği doğrulanmıştır [15].

Wang ve ekibi FV pompa uygulamaları için yenilenebilir enerji beslemeli ARM üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmada maksimum güç noktası kontrolüne dayalı bir FV kaynaklı ARM sistemi önerilmiştir. Bu sistemde sadece FV motor sürücü modu, sadece batarya motor sürücü modu, batarya şarj modu ve hibrit motor sürücü modu olarak dört çalışma modu bulunmaktadır. FV dizisinin maksimum güç noktası izleme kontrolü, belirli bir hız veya tork altında sabit gerilim izleme yöntemi kullanılarak elde edilebilir. Geleneksel dönüştürücülerden daha az güç cihazıyla, sistem verimliliği hala geliştirilmektedir. Önerilen topoloji ve kontrol stratejisi, birçok endüstriyel pompa uygulaması için büyük potansiyeller gösteren simülasyon ve deney sonuçları ile onaylanmıştır. Bu yeni enerji ARM sistemi FV su pompalarında yaygın olarak kullanılabilir [16].

Ronanki ve Parthiban yaptıkları çalışmada ARM'nin ana problemleri olan yüksek tork dalgalanması, akustik gürültü ve titreşim problemlerini azaltmak için, 3.5 kW 8/6 ARM'lik yeni bir doğrudan tork kontrolü önermişlerdir. Simülasyon sonuçlarına göre motorun tork çıkışı histeresis bandı ile iyi bir şekilde düzenlenmiştir. Önerilen sistem, güneş araçları, güneş enerjili su pompalama sistemi ve engebeli ve yalıtılmış alanlarda bulunan zemin değirmenleri gibi güneş uygulamaları için uygunluğunu garanti etmektedir [17].

Mishra ve Singh çalışmalarında ARM kullanarak tek kademeli FV generatörle çalışan su pompası için çözüm önermektedir. Makalede sistem tasarımının detayları ve değişen çevresel koşullar altında performansının analizi tartışılmıştır. Önerilen sistemin uygunluğu MATLAB benzetimi ve test sonuçları bir donanım prototipinde kullanılarak doğrulanmıştır. Önerilen sistem simüle edilmiş, deneysel cevapları analiz edilmiş ve tüm çevre koşullarında tatmin edici bulunmuştur [18].

Bir başka çalışmada Mishra ve Singh anahtarlamalı bir relüktans motor sürücüsü içeren verimli ve düşük maliyetli bir solar FV generatör tabanlı su pompalama sisteminin tasarımı ve geliştirilmesine odaklanmıştır. Bu topoloji MATLAB / Simulink platformunda tasarlanmış ve modellenmiştir. Farklı çevresel koşullar altında performansını doğrulamak için bir laboratuvar prototipi geliştirilmiştir. Sistem; motorun yumuşak kalkışı, maksimum güç noktası takibinde verimin %99 dan yüksek olmasıyla beklentiyi karşılamıştır [19].

Indragandhi ve arkadaşları FV tabanlı su pompalama uygulamaları için PID kontrol cihazı kullanan Anahtarlamalı Relüktans Motorunun hız kontrolü üzerine çalışmışlardır. FV dizisi, Cuk konvertör kullanan ARM'ye bağlı su pompalama şemasına hizmet etmiş ve

modellenmesi MATLAB / Simulink ortamı kullanılarak simüle edilmiştir. Yansıtılan yapının çalışması, dalgalanan çevresel koşullar için oldukça iyi tanımlanmıştır [20].

Mianhua dört fazlı anahtarlama relüktans motorun geniş bir yelpazede uygulanması için doğrudan tork kontrol metodu araştırmış, dört fazlı anahtarlama serbest motor akısı vektörünün yapısal yöntemleri ve gerilim vektörünün seçim prensibi ortaya koymuştur. Bu çalışmada akı bağlantı yapısı, gerilim vektör seçimi ve anahtarlama kuralı dört fazlı anahtar dayanma motoru için ileri sürülmüştür ve dört fazlı anahtar relüktans motoru için doğrudan tork kontrol sistemi gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçları, tork dalgalanmalarının etkili bir şekilde kontrol edildiğini, dört-anahtarlı relüktans motor için doğrudan tork kontrol sistemi tarafından iyi dinamik ve statik kontrol performanslarının elde edildiğini göstermektedir. Bu çalışmadaki temel yöntemler, herhangi bir faz anahtarlama relüktans motoru için uygundur ve herhangi bir faz anahtarlama relüktans motorunun doğrudan tork kontrolü için temel oluşturur [21].

Zaafraane ve ekip arkadaşları Lineer Anahtarlama Relüktans Motorun (LARM) dezavantajlarından pozisyon ve kuvvet dalgası üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmada bir PI kontrolörü, histerezis kontrol cihazı ve kuvvet dağılımı fonksiyonu kullanılarak hız kontrolü üzerine bir çalışma rapor edilmiştir. Bu kontrol tekniğinin, yüksek hassasiyetli uygulama durumunda çok güvenilir olduğu, düzleştirilmiş bir harekete ve kuvvet dalgalanmalarını azaltmaya izin verdiği rapor edilmiştir [22].

Hasegawa, Nakamura ve Ichinokura yardımcı sargılar ve kalıcı mıknatıslarla yeni bir Anahtarlama Relüktans Motor üzerine yaptıkları çalışmada motor torkunun, yardımcı sargıları heyecanlandırarak geliştirdiği ve verimliliğin de %3 arttığını rapor etmişlerdir. Ayrıca, önerilen makinenin yüksek verimlilikte bir generatör olarak çalışabileceği belirtilmiştir [23].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Özel bölgelerin enerjilendirilmesinde kolayca uygulanabildikleri, kaliteli, kesintisiz ve temiz enerji sağlayabildikleri için hibrit sistemlerin kullanımı artan bir ivme göstermektedir. Bu tez çalışmasında FV ve RES ile oluşturulan hibrit enerji üretim sistemi tarafından beslenen ARM'nin akü kapasite değişim durumuna bağlı olarak depolama üniteli sistemin, rüzgâr ve ışıının oranı değişimlerine bağlı olarak da depolamasız sistemin analizi yapılmıştır. Bu nedenle öncelikle kullanılacak motorun, kurulu iki enerji üretim sisteminin, yardımcı yazılım ve cihazların detaylı olarak anlatılması gerekmektedir.

3.1. Anahtarlamalı Relüktans Motor (ARM)

Relüktans motorlar; dönebilen kısımlarının akı yolunun relüktansını azaltma eğilimi prensibiyle moment üreten elektrik makineleridir. ARM'ler basit bir yapıya sahip olup stator ve rotorları laminasyonlardan oluşmaktadır [24]. Son yıllarda ARM'ye yönelimin artma sebepleri, çalışma ortamından bağımsız olması, yazılım ve tasarımının teknolojik gelişmelerle paralel olarak geliştirilmesi, güvenilir ve kararlı olması, yapısının basit ve ucuz olması, yüksek hızlarda çalıştırılabilmesi ve bakım onarım masraflarının az olması şeklinde sıralanabilir [25,26,27].

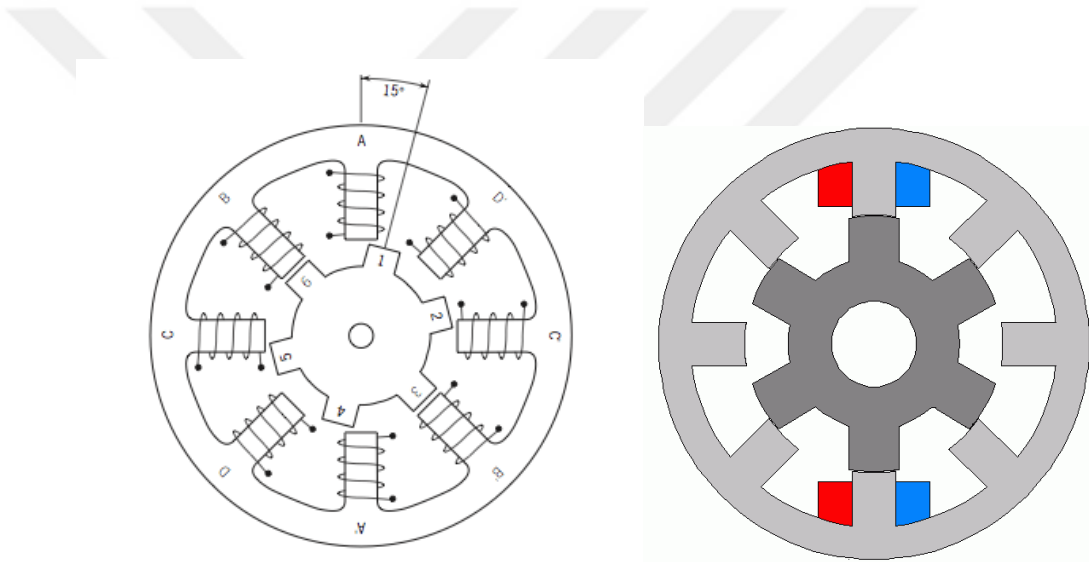
Bu bölümde ARM'lerin yapısı, çalışma prensibi ve temel motor denklemleri verilmiştir. Öncelikle ARM yapısı ve çalışma prensibi açıklanarak ARM'lerin özellikleri, eşdeğer devresi ile temel motor denklemleri ve parametreleri verilmiştir.

3.1.1. ARM'nin Yapısı

Mekaniksel olarak ARM oldukça basit yapıda bir elektrik makinasıdır. ARM'ler bir çeşit senkron motor olup ve rotorlarında sargı, mıknatıs ya da kısa devre halkası içermeyip saç paketi ya da masif demirlerden oluşmaktadır. Bu motorların stator ve rotoru yüksek geçirgenlikli manyetik malzemeden yapılır [18]. Demir kayıplarını önlemek amacıyla stator ve rotor nüveleri bir tarafı silisli saçların preslenmesi ile elde edilir. ARM'lerde sargılar stator kutupları etrafında yoğunlaştırılmıştır. Bunun sebebi manyetik alan kuvvetinden daha fazla faydalanmaktır. Sargıların yalnızca statorda bulunması motorun soğutma işleminin daha verimli bir şekilde yapılmasını sağlamaktadır. Statorda bulunan sargılar karşılıklı kutuplarda, aynı eksen ve yönde, seri bağlı sargılardır. ARM'lerde stator sargılarına daha geniş yer sağlamak amacıyla; stator

kutupları dar, rotor kutupları ise daha geniş tutulmaktadır. Bunun nedeni, uyarılan stator fazının oluşturduğu manyetik alandan daha fazla yararlanabilmektir [28].

Relüktans motorların dönebilmesi için stator ve rotor kutup sayılarının eşit olmaması gerekmektedir. Kutup sayılarının eşit olduğu ARM'lerde kalkınma torqu üretilemez, motorun kalkınabilmesi için stator ve rotorun geometrik şekillerinin değişmesi ya da daha fazla denetim algoritmalarının eklenmesi gerekir. ARM'lerde genellikle stator kutup sayısı, rotor kutup sayısından daha fazladır. Stator kutup sayısının ve sargıların fazla olması manyetik alan gücünü etkileyen faktörlerdir. Stator kutup sayısının (n_s), rotor kutup sayısına (n_r) oranına göre (n_s/n_r) göre kutuplar bir fazlı ARM'lerde 2/2, 4/4, 6/6, 8/8; iki fazlı ARM'lerde 4/2, 8/4; üç fazlı ARM'lerde 6/4, 8/6, 12/8, 18/12 ve dört fazlı ARM'lerde 8/6, 16/12 şeklinde olabilir. Şekil 3.1'de 8/6 ARM kesitleri verilmiştir.



Şekil 3.1. 8/6 ARM kesiti

ARM'de faz sayısı,

$$m = \frac{n_s}{2N_{wPP}} \quad (3.1)$$

Şeklinde formüllenebilir. Bu formülde;

m: ARM'nin faz sayısı

N_{wPP} : Bir fazı oluşturan çift kutup sayısı

n_s : Stator kutup sayısını göstermektedir.

Motorun bir devir yapması için gerekli darbe sayısı S ile gösterilirse,

$$S = m.n_r \quad (3.2)$$

olur.

Herhangi bir fazdaki anahtarlama frekansı,

$$f_1 = \frac{n}{60} . n_r \quad (3.3)$$

yazılabilir. f_1 'in birimi Hertz (Hz)'dir. Saniyedeki darbe sayısı,

$$f = m.f_1 \quad (3.4)$$

şeklinde hesaplanır. Adım açısı için,

$$\varepsilon = \frac{360^\circ}{s} \quad (3.5)$$

yazılabilir [29].

Anahtarlama Relüktans Motorda stator kutup sayısı (n_s) ve rotor kutup sayısına (n_r) bağlı hesaplanan adım açısı (ε) değeri ve bir devirdeki darbe sayısı (S) Çizelge 3.1'de verilmiştir [30].

Çizelge 3.1. Faz ve kutup sayılarına göre bir devirdeki darbe sayısı

m	n_s	n_r	n_{wPP}	ε°	S
3	6	4	1	30	12
3	12	8	2	15	24
3	18	12	3	10	36

Stator ve rotor kutuplarının sayısı, faz sayısı ve her stator kutbunun diş sayısı dikkate alınması gereken başlıca tasarım parametreleridir. ARM uygulamalarında yüksek hız için $n_r < n_s$; yüksek moment istenen uygulamalar için ise n_r, n_s ye yakın seçilir [31].

ARM'de titreşimler sonucu oluşan gürültüyü azaltmak için n_r ve n_s artırılır. Buna bağlı olarak eşdeğer moment için kutuplara etki eden radyal kuvvet küçülür ve gürültü azalır. Ancak artan kutup sayıları ile birlikte anahtarlama frekansı f_1 'e bağlı demir kayıplarında artış meydana

gelir. Bununla birlikte n_r ve n_s arttığı sürece fazların akı yolları kısılacacağı için demir kayıplarında azalma olmaktadır [30].

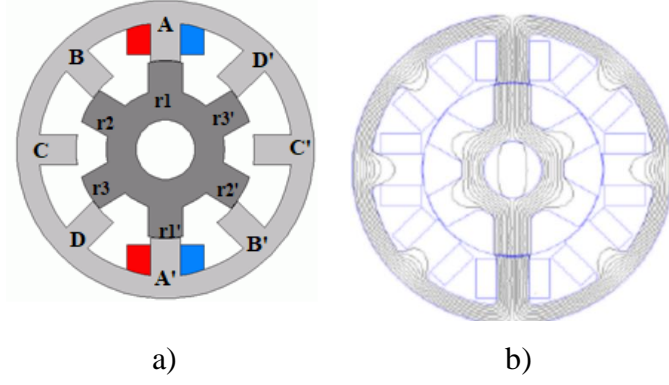
ARM'de üretilen moment endüktans ve akıma bağlı olarak değişmektedir. n_r ve n_s nin küçük olması endüktanstaki değişimi artırır ve büyük momentlerin üretilmesi sağlanır. Stator ve rotor kutup sayıları arttıkça en düşük faz endüktansı değeri ile en büyük faz endüktansı değeri arasındaki fark azalmakta ve dolayısıyla aynı faz akımı için üretilen moment azalmaktadır [31].

ARM'de elektriksel enerjinin mekanik enerji olarak kullanımını relüktans kuvveti ile olmaktadır. Sürekli döndürme momenti, n_r nin n_s ye göre durumu izlenerek doğru zamanlama ve faz sargılarının sırasıyla anahtarlanması ile olmaktadır. ARM ve step motorlar, genel olarak tek bir stator kutbu etrafında sarılan her faz sargısının, kısa kutup adımlı sarılmasıyla elde edilmektedir. Böylece fazlar arasındaki manyetik kuplaj tamamen ortadan kaldırılmakta ve moment uyarılan fazların öz endüktansın değişim oranı ile üretilmektedir. Herhangi bir fazda oluşan arıza motorun dönmesini engellememektedir [32].

3.1.2. ARM'nin Çalışması

ARM, elektromıknatıstaki gibi rotor kutbunun statorda uyarılan sargı kutbu tarafından çekilerek manyetik relüktansın en küçük olacağı konuma getirilmesiyle döner. Stator kutuplarının sırasıyla uyarılması ve her uyarılda diğer rotor kutuplarının çekilmesiyle rotor dönmeyi sürdürür. Bu işlem, uyarma akımı düzenli olarak aynı yönde uygulandığında kullanılacak kontrol devresinde akım yönünde değişime gerek olmayacağından, konvertördeki yarı iletken anahtar sayısı diğer elektronik kontrollü motorlara göre yarı yarıya azalır [11,25]. Bu da konvertör tasarımı aşamasında maliyeti azaltan önemli bir özelliktir.

Şekil 3.2 (a)'daki motorda ilk anda ve rotor kutupları r_1 ve r_1' ile stator kutupları A ve A' nın aynı ekseninde olduğu (yüzyüze konum) kabul edilirse, A fazının enerjili olduğu bu durumda akı dağılımı Şekil 3.2 (b)'deki gibi olur [33,34]. Daha sonra B-fazına akım uygulanırsa, B ve B' stator kutupları ile r_2 ve r_2' rotor kutupları içinde akı üretilir. Bu akı, rotor kutuplarını B ve B' stator kutuplarına doğru çekmeye çalışır.



Şekil 3.2. a) a-fazı yüz yüze konum b) a-fazı yüz yüze konum akı haritası

B fazı enerjilendirilip kutuplar aynı eksene geldiklerinde, A fazının akımı kesilir ve bunun sonucunda statorun B sargısı uyarılır, r_2 ve r_2' kutupları B ve B' stator kutuplarına doğru saat dönüş yönünde çekilir.

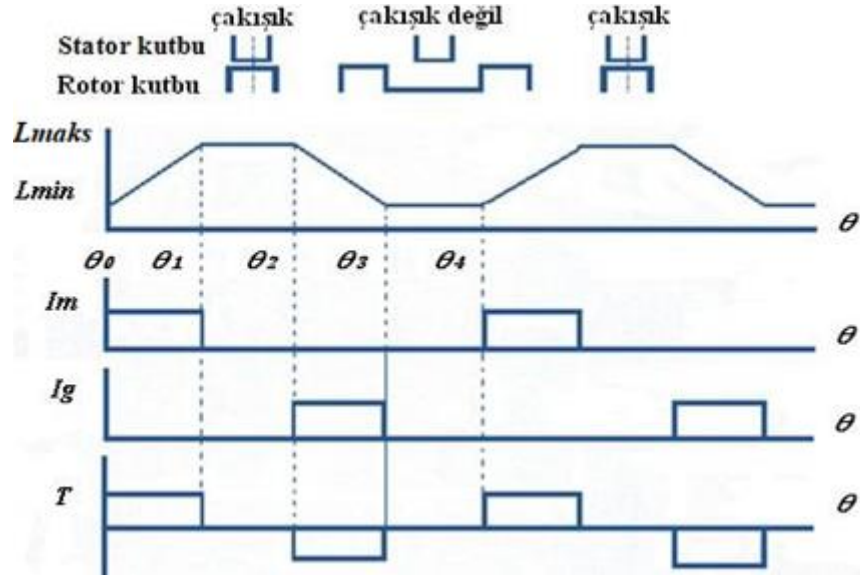
Bir stator fazı uyarıldığında uyarılmış faza en yakın konumda olan rotor kutbu manyetik akı devresinin relüktansını en küçük değerine getirmek için enerjilenen stator kutbuna doğru çekilir. Yani herhangi bir fazının uyarılması sonucu rotor kutupları ile uyarılan statorun kutupları aynı eksene gelir. Rotoru 90° döndürebilmek için A-B-C-D sırasına göre dört fazın uyarılması gerekir. Rotorun bir devirlik hareket etmesi için, her fazın akımlarının rotor kutup sayısı kadar uyarılması gerekir. Akımların A-B-C-D sırasında değil de A-D-C-B sırasına göre uyarılması rotorun ters yöne dönmesini sağlar. Stator fazları kesintisiz dönüş sağlamak amacıyla, belirlenen sıralamada anahtarlar devreleriyle ardı ardına enerjilendirilirler. Böylece motor uyarma yönünde dönmeye devam eder [32].

3.1.3. ARM'nin Karakteristik Özellikleri

Bu bölümde ARM'lerin karakteristik özellikleri verilmiştir. Bu özellikler altı alt başlık altında detaylı bir biçimde incelenmiştir.

3.1.3.1. ARM Endüktans ve Momentinin Rotor Konumu ile İlişkisi

ARM'de rotor konumu, üretilen endüktans, sargı akımları ve üretilen moment eğrileri Şekil 3.3'te verilerek analizi yapılmıştır.



Şekil 3.3. Rotor konumu, üretilen endüktans, sargı akımları ve üretilen moment

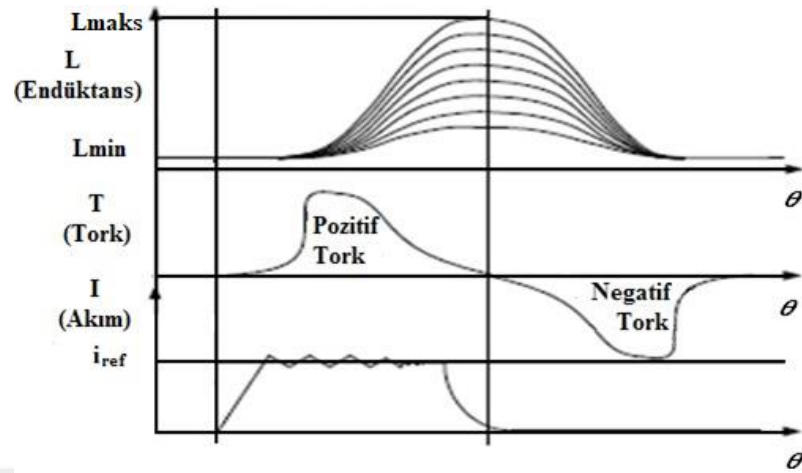
$\theta_0 - \theta_1$: θ_0 'da rotor kutuplarının stator kutuplarına yanaşmaya başladığı ve dönmeye bağlı olarak endüktansın maksimum değerine doğru lineer olarak artarak, θ_1 'de stator ve rotor kutuplarının tamamen çakıştığı ana kadar devam ettiği ve maksimum değeri olan L_{max} 'a ulaştığı bölgedir. Eğer makina motor olarak çalıştırılmak isteniyorsa, fazlar bu bölgede uyarılmalıdır.

$\theta_1 - \theta_2$: Rotor ve stator kutuplarının tamamen çakışık olduğu bölgedir. Rotor ile statorun bu konumuna “Yüz yüze (Aligned) Konum” denir. Bu konumda manyetik relüktansın minimum değerinde olmasından ötürü ters orantılı olan fazın endüktansı maksimum değerini alır. Rotorun yüz yüze bulunduğu konumda stator kutup sargılarından akım geçirilmesi halinde bir moment üretilmez. Bu bölge genellikle motorun moment üretimine katkısı olmaması nedeni ile “ölü bölge” olarak adlandırılır. θ_1 'den θ_2 'ye kadar $L=L_{max}$ ve $T=0$ 'dır.

$\theta_2 - \theta_3$: θ_2 'den θ_3 'e kadar endüktans minimum değerine doğru lineer olarak azalarak, minimum değeri olan L_{min} 'e iner. Eğer makina generatör olarak çalıştırılmak veya frenlenmek isteniyorsa fazlar bu bölgede uyarılmalıdır.

$\theta_3 - \theta_4$: θ_3 'den θ_4 'e kadar rotor ve stator kutupları çakışmamaktadır. Rotor ile statorun bu konumuna “Ortalanmış (unaligned) Konum” denir. Bu konum, rotorun kararsız olduğu bir durumdur. Bu konumda faz endüktansı en küçük değerini alarak, $L=L_{min}$ değerinde sabit kalmaktadır. Bunun nedeni rotor ve stator arasındaki hava aralığının büyük olmasından ötürü relüktansın maksimum değerini almasıdır. Ortalanmış konumdan uzaklaşan rotor yüz yüze konuma gelebilmek için bir moment meydana getirecektir [31,35].

Şekil 3.4'te ARM'de bir faz için, endüktans değişimi, faz sargısından geçen akım, üretilen pozitif ve negatif tork gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Bir faz için endüktans, tork ve akım eğrileri

3.1.3.2. ARM'de Moment Analizi

Stator fazlarından herhangi birisi enerjilendirildiğinde, o faz ile bir rotor kutbunun yüz yüze konumda olmaması koşulu ile rotoru minimum relüktans konumuna çeken bir moment üretilir. Bu moment, rotoru enerjilenen faz endüktansının arttığı yönde döndürmeye çalışır. Dönme hareketi, stator akım yönünden bağımsız olarak endüktansın maksimum değerinde olacağı pozisyona kadar sürer [31,36].

Moment, her zaman rotoru relüktansın minimum olacağı konuma doğru hareket ettirecek yöndedir. Pozitif momentin üretilmesi, yalnızca ortalananmış konum ve bir sonraki yüz yüze konum arasındaki rotor pozisyonlarında gerçekleşir. Yani pozitif moment faz endüktansının arttığı yönde üretilir. Momentin işaret değiştirmesi, rotor faz endüktansının arttığı yönün tersine döndüğü anlamına gelir. Bu durum frenleme ya da generatör çalışma olarak adlandırılır [37].

Generatör çalışmayı önlemek için yüz yüze konuma en yakın konumda akım sıfırlanır. Rotor kutbuna etki eden kuvvetin teğet kuvvet bileşeni ve normal kuvvet bileşeni olmak üzere iki bileşeni vardır. Rotorda momenti teğet kuvvet bileşeni üretir. Statorda titreşim meydana getiren bileşen ise normal kuvvet bileşenidir. Çakışık konumda moment üretilmediği için teğet kuvvet bileşeni sıfır olurken normal kuvvet bileşeni maksimum değerine ulaşır [38].

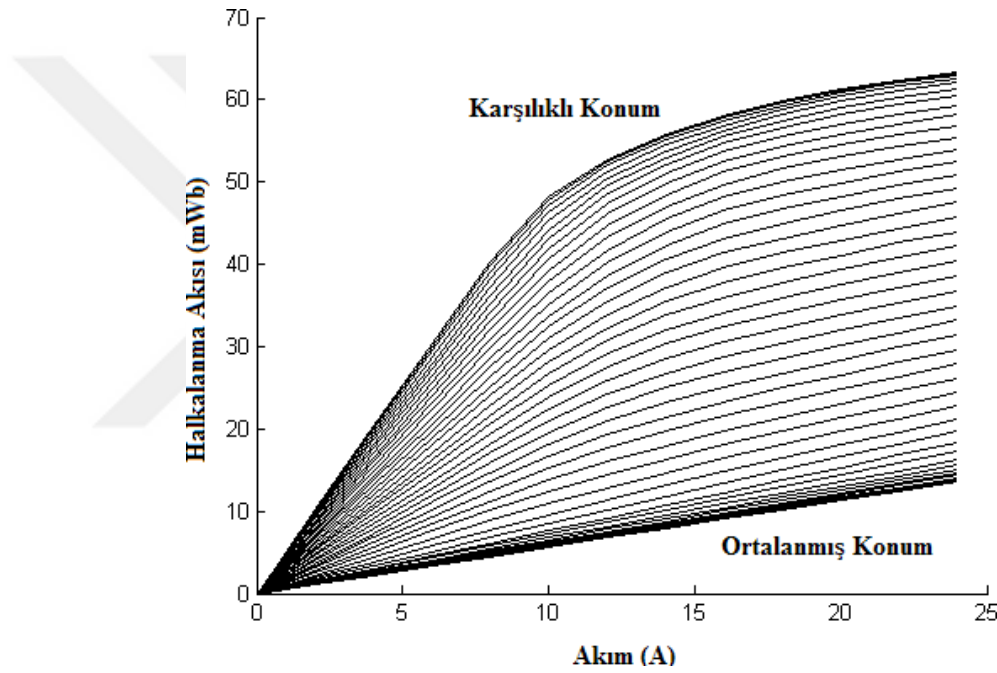
Üretilen moment;

$$T = \frac{1}{2} i^2 \frac{\partial L}{\partial \theta} \quad (3.6)$$

olur. T: moment, i: faz akımı, L: faz endüktansı, θ : dönüş açısıdır.

Eşitlik 3.6'dan görüleceği üzere makinanın ürettiği toplam moment, doymanın ihmal edilmesi durumunda faz akımının karesi ile orantılıdır.

Mıknatıslanma eğrisinde, ortalanmış konumda yüz yüze konumda olduğu gibi gözle görülür bir doyma etkisi görülmez. Bunun nedeni ortalanmış konumda yüksek oranda kaçak akıların meydana gelmesidir. Şekil 3.5'te gösterilmiş mıknatıslanma eğrisinin yüksek akı seviyelerinde, ortalanmış ve yüz yüze konumlara ait eğriler birbirlerine yakınsarlar fakat kesinlikle kesişmezler.



Şekil 3.5. Akım ve halkalanma akısı arasındaki doğrusal olmayan ilişki

Doymanın ARM performansına etkisi aşağıda olduğu gibi açıklanabilir[24]:

- ✓ Doyma verilen akım değerine göre, akı yoğunluğunu ve buna bağlı olarak ARM'den elde edilebilecek moment miktarını sınırlar.
- ✓ Verilen ARM çıkış gücü için gerekli evirici gücünü azaltarak eviricinin daha küçük ve daha ucuz olmasını sağlar.

Anahtarlamalı relüktans motorun iki sakıncası vardır. Bunlar; momentte dalgalanma ve akustik gürültüdür. ARM çalışırken radyal kuvvetlerden dolayı statorunda titreşimler meydana gelir ve bu kuvvetler akustik gürültüye sebep olur. ARM'de oluşan akustik gürültü seviyesi diğer elektronik kontrollü sürücülere göre daha yüksektir [38,39]. Stator titreşimleri, relüktans

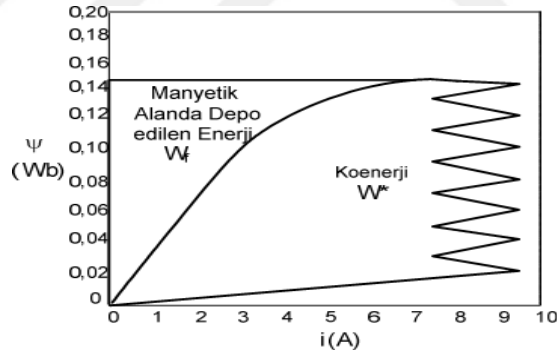
motorun moment üretiminden kaynaklanmaktadır. ARM’de rüzgâr kaynaklı, elektronik, mekanik ve manyetik alan kaynaklı dört farklı gürültü meydana gelir. Bu gürültüyü azaltmak için sunulan çözümlerin bir kısmı ARM’nin geometrik yapısı üzerinde yoğunlaşırken elektronik olarak uygulanan gerilimin, faz akımlarının, iletim ve kesim açılarının kontrolüyle gürültü azaltılmaya çalışılmıştır [38].

3.1.3.3. ARM’de Enerji Dönüşümü

ARM’de rotorun herhangi bir konumundan diğerine hareket ettiği andaki bir faz için ani tork koenerjinin değişimi ile orantılı olarak eşitlik 3.7’de verildiği gibi hesaplanır;

$$T_e = \left[\frac{\partial W^*(\theta, i_{a,b,c,d})}{\partial \theta} \right]_{i=\text{sabit}} \quad (3.7)$$

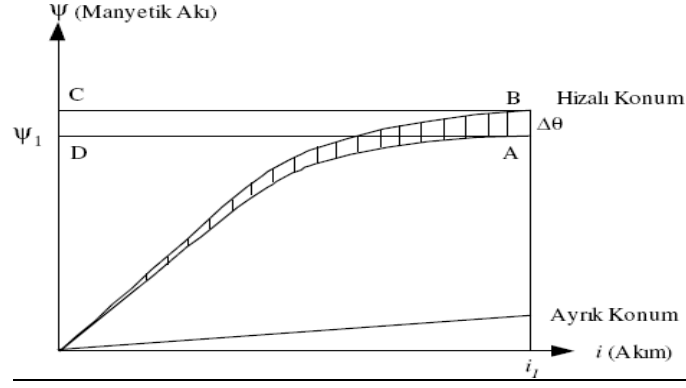
Burada; T_e , tork; θ , rotor pozisyonu; W^* , koenerji ve $i_{a,b,c,d}$, faz akımlarıdır. Koenerji herhangi bir rotor konumunda, manyetik akı eğrisinin altında kalan alandır. Şekil 3.6’daki enerji dönüşüm grafiğinde herhangi bir pozisyondaki koenerji gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Enerji dönüşüm grafiği

Koenerji, akıma ve konuma bağlı olan manyetik akının Ψ integrali alınarak eşitlik 3.8’de verilen şekilde hesaplanabilir. Şekil 3.7’de rotorun sabit akımda A’dan B’ye doğru $\Delta\theta$ aralığı kadar yer değiştirmesi gösterilmiştir.

$$W^*(\theta, i) = \int_0^i \psi(\theta, i) di \quad (3.8)$$



Şekil 3.7. Sabit akımda koenerjinin değişimi ile ani torkun değişimi

Bu durumda manyetik alanda meydana gelen enerji dönüşümü;

$$\Delta W_e = ABCD \quad (3.9)$$

Manyetik alanda depo edilen enerjideki değişiklik ise,

$$\Delta W_f = OBC - OAC \quad (3.10)$$

olur. Yapılan mekanik iş eşitlik 3.11 - 3.15 ile verilen adımlarla hesaplanır.

$$\Delta W_m = T\Delta\theta \quad (3.11)$$

$$\Delta W_m = \Delta W_e - \Delta W_f \quad (3.12)$$

$$\Delta W_m = ABCD - (OBC - OAD) \quad (3.13)$$

$$\Delta W_m = (ABCD + OAD) - OBC \quad (3.14)$$

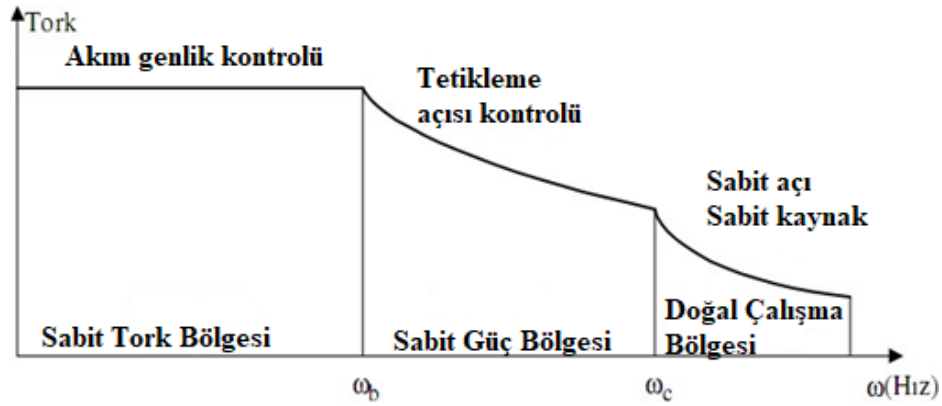
$$\Delta W_m = OAB \quad (3.15)$$

Kaynaktan elde edilmiş olan enerjinin tamamı mekanik işe dönüşmemektedir. Bunun bir kısmı manyetik alanda depo edilmektedir. Manyetik alanda depo edilen bu enerji A'dan B'ye hareket süresince enerji dönüşümü için kullanılmamaktadır [34].

3.1.3.4. ARM'de Tork-Hız Karakteristiği

ARM'lerin tork-hız eğrileri üretici firma tarafından belirlenmemiştir. Tork-hız eğrileri motora uygulanan denetim şekline göre değişiklik göstermektedir. Şekil 3.8'de görüldüğü gibi motor

hızına göre bir ARM'nin akım genlik kontrolünde sabit tork, tetikleme açısı kontrolünde sabit güç ve sabit açı sabit kaynahta doğal çalışma bölgeleri oluşmaktadır [40].



Şekil 3.8. ARM'nin tork-hız karakteristiği

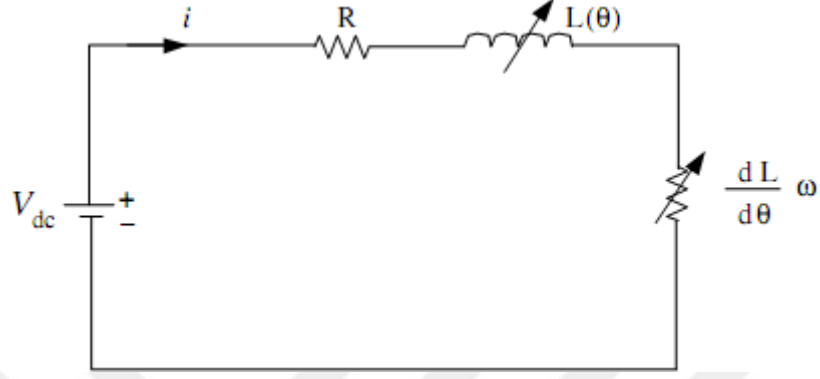
Sabit Tork Bölgesi: Taban hız ω_b 'nin altındaki hızlarda, konvertör tetikleme açısı sabit tutularak motor torkunun minimum dalgalanma ile maksimum değere çıkması sağlanmaktadır. Motor faz akımlarının genlik kontrolü ile motorun ortalama torku denetlenmektedir. Motor stator fazları sıralı bir şekilde enerjilendirilmektedir ve böylece bir anda sadece bir faz iletimde olmaktadır. Bu durumun istisnası olarak komütasyon periyotlarında iki faz geçici olarak aktif olabilir. Bu şekilde tork kontrollü çalışmada faz akımı regülatör tarafından kontrol edilmektedir.

Sabit Güç Bölgesi: Taban hız ω_b 'nin üzerindeki hızlarda faz akımlarını kontrol etmek için kullanılan akım regülâtörü yeterli olamamaktadır. Çünkü bu çalışma bölgesinde zıt emk yükselmekte ve zorlama gerilimi sabit akım sağlamak için yeterli olmamaktadır. $T \cdot \omega$ değerini sabit hale getirilebilmek için motor hızı arttırılmalıdır. Motor hızını arttırmak için motor hızına bağlı bir fonksiyon ile konvertör tetikleme açısı değiştirilmelidir.

Doğal Çalışma Bölgesi: Motor hızı ω_c hızından büyük olduğunda, konvertör tetikleme açısı maksimum değerini alabilmektedir. Bunun sonucunda $T \cdot \omega^2$ değeri seri doğru akım motorlarında olduğu gibi yaklaşık sabit olmaktadır ve ARM doğal tork-hız karakteristiği ile çalışabilmektedir [12].

3.1.3.5. ARM Eşdeğer Devresi ve Temel Denklemler

ARM'lerin çalışma prensibi hareketli, çıkık kutuplu rotorun, bulunduğu manyetik devre içerisindeki akının, minimum relüktans konumuna kadar kuvvet uygulanarak çekilmesi şeklinde gerçekleşmektedir. ARM'nin bir faz eşdeğer devresi Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. ARM'nin bir faz eşdeğer devresi

ARM'de bir faz için gerilim denklemi;

$$V = R.i + \frac{\partial \psi(\theta, i)}{\partial t} - M(\theta) \frac{di'}{dt} \quad (3.16)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada;

V : DA kaynak gerilimi

R : stator sargı direnci

Ψ : manyetik akı,

i : faz akımı

$M(\theta)$: karşılıklı endüktans

θ : rotor pozisyon açısı

i' : bir önce uyarılan sargı akımını göstermektedir.

Doyum ihmal edilirse manyetik akı eşitliği

$\Psi = L(\theta).i$ olduğuna göre Eşitlik 3.16 yeniden düzenlenirse;

$$V = R.i + \frac{d(L(\theta), i)}{dt} - M(\theta) \frac{di'}{dt} \quad (3.17)$$

olacaktır.

Burada,

$L(\theta)$: faz endüktansını göstermektedir.

Türevsel ifade parçalara ayrıldığında ise Eşitlik 3.17;

$$V = R.i + L(\theta) \frac{di}{dt} + i \frac{dL(\theta)}{dt} - M(\theta) \frac{d\theta}{dt} \quad (3.18)$$

şeklini alır. Karşılıklı endüktans değeri en küçük endüktanstan küçüktür. Dolayısıyla karşılıklı endüktanslar ihmal edilebilir.

Bu durumda;

$$V = R.i + L(\theta) \frac{di}{dt} + i \frac{dL(\theta)}{dt} \quad (3.19)$$

olur. Aynı zamanda,

$$\frac{dL(\theta, i)}{dt} = \frac{dL(\theta, i)}{d\theta} \cdot \omega \quad (3.20)$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{di}{d\theta} \cdot \omega \quad (3.21)$$

dir. Belirtilen, ω : açısal hızdır. Bu durum kararlı çalışma söz konusu olduğunda geçerlidir. Bu durumda, Eşitlik 3.19 yeniden düzenlenirse;

$$V = R.i + L(\theta) \frac{di}{dt} \cdot \omega + i \frac{dL(\theta)}{d\theta} \cdot \omega \quad (3.22)$$

olur.

ARM'nin dinamik davranışını Eşitlik 3.23'deki gibi yazabiliriz.

$$T_e = J \frac{d\omega^2}{dt^2} + B \frac{d\omega}{dt} + T_L \quad (3.23)$$

Rotor konumunun türevi alınarak açısal hıza bağlı eşitliği;

$$T_e = J \frac{d\omega}{dt} + B\omega + T_L \quad (3.24)$$

Şeklinde ifade edilebilir. Burada;

T_e : motora ait tork

J : toplam atalet momenti

B : sürtünme katsayısı

T_L : yük torkunu göstermektedir.

Yukarıda belirtilen denklemlerin doğruluğu motor endüktansının doğru elde edilmesine bağlıdır [41].

3.1.3.6. ARM'nin Kullanım Alanları

ARM'nin 2 beygirden 420 beygire kadar geniş bir güç aralığında kullanım alanı bulmaktadır. Bilgisayar alanında yüksek hız ve düşük moment gerekliliğiyle hard disk sürücüsü ve yazıcı motorunda, yüksek verimli çamaşır kurutucularında, havacılık alanında, jet motoru yol vericilerinde, yüksek moment ve dayanıklılık ihtiyacı sebebiyle madencilik alanında, otomotiv alanında elektrikli araçlarda hub motoru olarak, kapı hareket düzeneklerinde ve kompresörlerde yaygın olarak kullanılmaktadırlar [42, 43, 44]. Bu uygulamalar şu şekilde detaylandırılabilir:

- ✓ Elektrikli taşıtlar: Elektrikli lokomotifler (12/14, 720 kW, 900 d/d), geleneksel dişli kutusunun kullanıldığı dizel otomotivde dişli kutusuz olarak (36/42, 3-faz, 166 kW, 109 d/d, 14550 Nm, giriş gerilimi 1 kV DA, 46,6 Nm, başlangıç momenti 424 Nm), araçlar ve rüzgâr türbinleri için yol verici.
- ✓ Ev ve meskenler: Çamaşır makinası (giriş gerilimi 220 V, 50 Hz, 1200 d/d hızdaki çıkış gücü 450 W, çalışma aralığı 300-1200 d/d, 8/10, 4 kg, ucuz), su pompası (giriş gerilimi 220 v, 50 Hz, 5600 d/d hızdaki çıkış gücü 250 W, çalışma aralığı 3000-6500 d/d, 8/10, ucuz), ağaç işleme makinaları (çıkış gücü 1,5 kW, 1500-6000 d/d).
- ✓ Bir-faz uygulamaları: Mutfak aletlerinde, klimaların hava üfürücülerinde, soğutucu ve ısıtıcı pompalarının kompresörlerinde, küçük aletler, süpürgeler, fanlar.

Askeri uygulamalar: Jet uçaklarında pompa motoru, türbin motorlarında generatör, uçak kanatçıkları motoru [44].

Bu tez çalışmasında tercih edilen ARM'ye ait parametreler:

Motor tipi: Anahtarlamalı Relüktans Motor(DVR)

Nominal Çalışma Çıkış Gücü: 1.25-1.5 kW(2 HP 220V)

Güç Kaynağı Aralığı: 115 V-230 V / 50 Hz-60 Hz

Güç Faktörü Düzeltmesi: PF³0.95

Hız Aralığı: 50-5500 rpm

Tuşlarla yumuşak hız ayarı

Kontrolör tuş panosunda kayıt fonksiyonu ile 4 ön ayarlı hız, menüde toplam 10 ön ayarlı hız

Adaptif katsayılarla PI hız kontrolü

Önceden yüklenmiş 3 katsayı eğrisi: yumuşak, normal ve sert

PI hız kontrol katsayısını geliştirmek için interia ölçümünü yükler

Tork ve hız rampası fonksiyonu

Aşırı yükleme koruması

Düşük gerilim / PFC arıza koruması

3.2. Yenilenebilir Enerji Sistemleri

YEK, tabiat tarafından sürekli olarak yeri doldurulan kaynaklar olarak tanımlanır. IEA yenilenebilir enerji çalışma grubu tanımına göre yenilenebilir enerji, sürekli olarak yenilenen ve doğal süreçlerden elde edilen enerji çeşididir. Bu tanımlardan da anlaşılacağı gibi YEK doğada var olan ve kendini yenileyerek sürekliliğini devam ettiren, dünya var oldukça da temin edilebilecek olan temiz enerji kaynaklarıdır [45].

Her ülkenin kendi konumunu ve politikasını ülkesel önceliklerine ve kaynak potansiyellerini dikkate alarak geliştirmeleri gerekmektedir. YEK'in enerji tüketilen her yerde kullanılmasının gelecekte bir zorunluluk haline gelmesi beklenmektedir. Beklenmesi gereken diğer bir durum ise, enerjinin temiz, güvenilir ve ekonomik bir şekilde temin edilmesinin devletler tarafından vazgeçilmez enerji politikası olarak benimsenmesidir. Türkiye'nin üyesi olmaya çalıştığı AB, 2020 yılında yenilenebilir enerjilerin toplam enerji içindeki payını %20 ye, ulaşımda tüketilen enerji içindeki payını ise %10'a çıkarmayı hedeflemektedir. Aynı şekilde yine AB 2020 yılında toplam elektrik tüketiminin yaklaşık olarak %35'ini ısı ihtiyacının yaklaşık %25'ini ve ulaşımdaki yakıt ihtiyacının yaklaşık %10'unu, toplam enerjinin ise %20'den fazlasını YEK'den sağlamayı hedeflemiştir. Bu doğrultuda, 2020 yılında rüzgâr için 180000MW, hidrolik için 120000MW, biyokütle için 50000MW ve jeotermal için 2000MW kurulu güçlere ulaşmayı hedeflemektedir [45].

YEK'in en büyük sorunu bilindiği gibi süreksizlik problemidir. Bu süreksizlik probleminin birçok YEK birlikte kullanılarak çözülebileceği düşünülmektedir. Başlıca YEK, rüzgâr, güneş, jeotermal, biyoenerji, hidrolik, hidrojen ve deniz tabanlı enerjidir. Bu tez çalışmasında FV sistem ve RES kullanılmıştır.

3.2.1. Fotovoltaik Sistemler

FV modüller, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürebilen alternatif enerji üretim araçlarıdır [46]. FV paneller sıkıştırılmış iki ayrı ince yarı iletken malzemeden oluşan kristallerin içinden güneş ışınlarının geçmesi sonucunda alt ve üst yarı iletkenler arasında elektrik akımı meydana getirerek elektrik üretir [47]. Bir FV sistem ana hatlarıyla FV modül, evirici ve yükten oluşmaktadır. FV sistem bileşenlerinden FV modüller, FV eşdeğer devresini oluşturan diyotların birbirleriyle seri ve paralel olarak bağlanmasıyla gerçekleşir. Doğrudan yüke bağlanan FV modüllerde, yüke uygulanan gerilim ve gücü ayarlayabilmek için ara bağlantı birimleri gerekir.

Ara bağlantı birimleri aynı zamanda FV modülünün çıkış gücünü sürekli olarak maksimum değerinde tutabilmek için de gereklidir [46].

FV paneller, FV hücrelerin seri ve paralel bağlanmaları ile istenilen gerilim ve güç değerlerinde oluşturulan yapılardır. Panellerin seri ve paralel bağlanması ile de FV sistemler elde edilir. FV hücreler yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine çeviren yarı iletken malzemelerden yapılan araçlardır. FV hücre alanları genellikle 100cm^2 civarında, kalınlıkları ise 0,1-0,4mm arasındadır. Şekil 3.10'da FV hücre ve FV hücrelerden oluşan FV panel üretim bandı gösterilmektedir [48].



Şekil 3.10. FV hücre üretim bandı

FV hücreler çeşitli maddeler kullanılarak yapılabilir. En çok kullanılan maddeler kristal silisyum, galyum arsenit, amorf silisyum, kadmiyum tellürid, bakır indiyum diselenidoptik yoğunlaştırıcı hücrelerdir.

1 cm^2 'lik hücre alanı için laboratuarlarda ulaşılan en yüksek hücre verimleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Ulaşılan en yüksek hücre verimleri

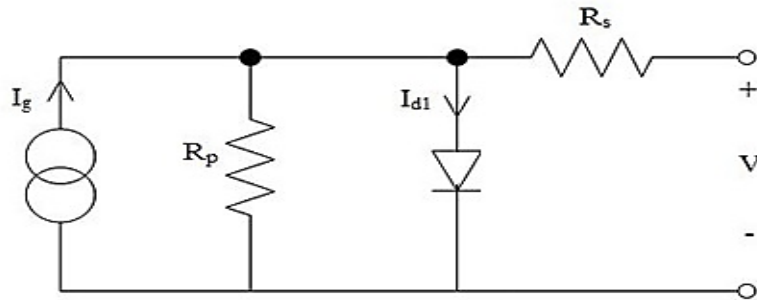
Hücre Tipi	Ulaşılan Verim
Kristalsi Güneş Hücresi	%24.5
Polikristalsi	%19.8
Amorfsi	%12.7
Çok Katlı Güneş Hücreleri	%40

Son yıllarda Si güneş hücrelerinin yerini alabilecek verimleri aynı fakat üretim teknolojileri daha kolay ve ucuz olan güneş hücreleri üzerinde çalışmalar yoğunlaştırılmıştır. Bunlar; polimer yapılı plastik hücreler, titanyum dioksit hücreler ve kuantum güneş hücreleri gibi yeni teknolojilerdir [48].

Elektrik enerjisine ihtiyaç duyulan her alanda güneş hücreleri kullanılabilir. Bir FV sistem uygulamaya bağlı olarak, akümülatörler, eviriciler, akü şarj denetim aygıtları çeşitli elektronik destek devrelerinden oluşmaktadır [45].

FV paneller seri ve paralel bağlanarak istenilen çıkış geriliminde ve güçte diziler elde edilebilir [38]. Bir FV hücresinin çalışma prensibi klasik p-n jonksiyonlu diyotun çalışma prensibine çok benzemektedir. Fotonlar jonksiyona ulaştığında, absorbe edilen fotonun enerjisi yarıiletken malzemenin elektron yapısına aktarılır. Oluşan boşluk bölgesinde yük taşıyıcılar oluşur. Jonksiyon bölgesindeki elektrik yükü taşıyıcıları bir potansiyel fark oluşturur ve eğer uçlar dışarı alınarak harici bir devre oluşturulursa bu devre üzerinden bir akım akmaya başlar. Devreden geçen akım I olmak üzere $I^2 \cdot R_{devre}$ elektrik enerjisine dönüşen güçtür. Geriye kalan ve elektrik enerjisine dönüşmeyen foton gücü FV hücresinin sıcaklığını artırır [48].

Literatürde FV hücrelerin modellenmesi ile ilgili çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bununla beraber, yapılan araştırmalar sonucunda elde edilen en yaklaşık model olarak tek diyotlu yapı ön plana çıkmaktadır. Çoklu kristal yapıdaki tipik bir FV hücresinin tek diyotlu modeli Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Güneş hücresinin eşdeğer DA akım modeli

Şekil 3.11.'de verilen yapının matematiksel modeli denklem 3.25'te verilmiştir.

$$I_{FV} = I_g - I_{d1} \left[e^{\frac{q(V+IR_s)}{kT}} - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (3.25)$$

Burada V; hücrenin uç gerilimi, I_{FV} ; çıkış akımı, k; Boltzmann sabiti, T; Kelvin cinsinden mutlak ortam sıcaklığı ve q; elektron yüküdür [48].

Güneş hücreleri verimlerine bağlı olarak güneş ışınımı altında 1 - 1.5 Watt arasında güç üretebilmektedir. Tek bir diyottan elde edilebilecek akım değeri 2 - 2.5 Amper; gerilim değeri ise 0.5 ile 0.6 Volt arasındadır. Bu nedenle yüksek güce sahip modüller elde edilmesi için bu hücreler arasında seri ve paralel bağlantılar kurulur. Bu yöntemle oluşturulan yapı, literatürde güneş paneli olarak tanımlanmaktadır. Güncel durumda 300W gücünde paneller üretilmekte ve piyasaya sunulmaktadır [48].

Hibrit sistemimizde kullanılan FV paneller ve evirici ünitesine ait özellikler:

FV Paneller:

TERA SOLAR TRP-150B

Maksimum Güç(P_M): 150W

Maksimum Akım(I_M): 8,30A

Maksimum Gerilim(V_M): 18,04V

Açık Devre Gerilimi(V_{OC}): 22,59V

Kısa Devre Akımı(I_{SC}): 8,73A

Ağırlık: 12,5 kg

Boyutlar: 1480x680x35 mm

Evirici Ünitesi:

VP-3000

Çalışma Sıcaklık Aralığı: -10 - 50°C

Evirici Modu:

Anma Gücü: 3000VA/2400W

DC Giriş: 24 VDC, 100 A

AC Çıkış: 230VAC, 50/60 Hz, 13A, 1φ

AC Şarj Modu:

AC Giriş: 230VAC, 50/60 Hz, 16.9A, 1φ

DC Çıkış: 27VDC, 15/25A

AC Çıkış: 230VAC, 50/60 Hz, 13A, 1φ

Solar Şarj Modu:

Anma Akımı:50A

Sistem Gerilimi:24VDC

Çalışma Gerilim Aralığı:30-32VDC

Maksimum Solar Gerilimi(VOC):80VDC

3.2.2. Rüzgâr Enerjisi Sistemleri

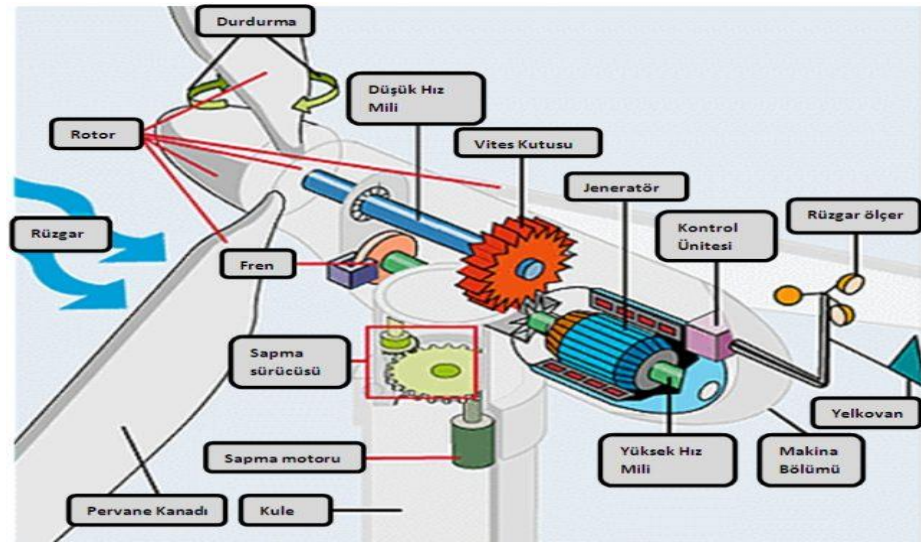
Rüzgâr enerjisi; kaynağı güneş olup, elektrik üretirken doğaya sera gazı ya da zararlı bir gaz salınımı olmayan, tamamen doğal, yenilenebilir ve sonsuz bir güçtür. Rüzgâr, güneşin yer yüzeyini farklı ısıtmasından kaynaklanmaktadır. Bu sıcaklık ve basınç farkı hava hareketine neden olur. Güneşten dünyaya gelen enerjinin yaklaşık %2 kadarı rüzgâr enerjisine dönüşmektedir. Rüzgâr; meteorolojik olarak basınç değişiminin olduğu, engebesiz tepe ve vadiler, kıyı şeritleri gibi yerlerde meydana gelmektedir. Bir hava kütlelerinin mevcut durumundan fazla ısınarak atmosferin yukarısına doğru yükselmesi ve yükselen hava kütlelerinin yerine soğuk hava kütlelerinin yerleşmesi hareketine rüzgâr adı verilmektedir. Oluşan hava akımının kinetik enerjisini bir türbin yardımı ile elektrik enerjisine dönüştüren sistemlere RES denir. Rüzgâr enerjisi uygulamalarında; değişken enerji üretimi, ilk yatırım maliyetinin yüksek olması, kapasite faktörlerinin düşük olması gibi dezavantajlarının yanında genel üstünlükleri şu şekilde sıralanabilir;

- * Rüzgâr atmosferde serbest ve bol miktarda bulunur.
- * Çevre dostu, temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır.
- * Güvenilir bir enerji kaynağıdır. Tükenmez ve zamanla fiyatının artma riski yoktur.
- * Günümüzde maliyeti güç santralleriyle rekabet edebilecek düzeydedir.
- * İşletme ve bakım maliyetleri düşüktür.
- * İstihdam yaratır.
- * Hammadde yönünden dışa bağımlılık yaratmaz.
- * Tesis teknolojisi ve işletilmesi göreceli olarak basittir.
- * Kısa sürede işletmeye alınabilir [45].

Rüzgâr türbinleri, hareket halindeki havanın kinetik enerjisini önce mekanik enerjiye daha sonra elektrik enerjisine dönüştüren makinelerdir ve rüzgâr enerji santrallerinin temel yapı elemanlarıdır. Türbinler dönüş eksenlerinin doğrultusuna göre yatay eksenli ya da düşey eksenli olarak üretilebilirler. En çok tercih edileni yatay eksenli rüzgâr türbinleridir. Yatay eksenli rüzgâr türbinlerinin çalışma prensibine göre, dönme eksenleri rüzgâr yönüne paralel ve kanatları rüzgâr yönüne dik şekildedir. Bu tip rüzgâr türbinleri bir, iki, üç veya çok kanatlı yapılmaktadır.

Yatay eksenli rüzgâr türbinleri; rüzgârın önce rotora çarpması koşulunda up-wind yani ileri veya önden rüzgârlı türbin, önce kuleye dokunup sonra rotora gelmesi durumunda down-wind geri veya arkadan rüzgârlı türbin adını alırlar. Düşey eksenli rüzgâr türbinleri; eksenleri rüzgâr yönüne dik ve düşey, kanatları ise düşey vaziyettedir. Düşey eksenli rüzgâr türbinlerinde rüzgârın esme yönü değiştiğinde yatay eksenli rüzgâr türbinlerinde olduğu gibi pozisyon değiştirmesi olmaz. Elektrik üretim amaçlı şebeke bağlantılı rüzgâr türbinleri genellikle 3 kanatlı, yatay eksenli ve up-wind türü rüzgâr türbinleridir [45].

Günümüzdeki teknolojik gelişmelerle 1,0-6,0 MW gücünde yatay eksenli rüzgâr türbinleri kullanılmaktadır. Bir rüzgâr türbini, çevredeki engellerin rüzgâr hız profilini değiştirmeyeceği yükseklikte bir kule üzerine yerleştirilmiş gövde ve rotor kısımlarından oluşur. Kanatlar ve göbek kısmı rotor olarak adlandırılır. Üç kanatlı yeni nesil rüzgâr türbinlerinin kanat çapları 100 m değerine ulaşmıştır. Modern rüzgâr türbinlerinin rotor göbekleri (hub) yer seviyesinden 60-100 m yükseklikte bir kule üzerinde bulunur. Bir rüzgâr türbininden elde edilecek enerji miktarı birinci dereceden türbin hub yüksekliğindeki rüzgâr hızına bağlı olmaktadır. Türbin hub yüksekliğinin artırılması sonucu rüzgâr hızının artacağı gerçeği dikkate alındığında hub yüksekliğinin artırılması, mevcut rüzgâr gücünden maksimum düzeyde yararlanılmasını sağlayacaktır. Şekil 3.12’de bir rüzgâr türbininin içyapısı gösterilmiştir [45].

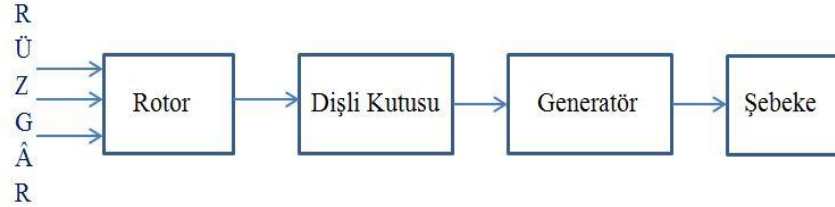


Şekil 3.12. Rüzgâr türbininin içyapısı

Rotor düşük devirli bir ana mile bağlıdır. Rüzgârın kinetik enerjisi rotor tarafından mekanik enerjiye çevrilir ve düşük devirli ana milin dönüş hareketi gövde içersindeki iletim sistemine (dişli kutusu vb.), oradan generatöre aktarılır. İletim sistemi, generatör ve yardımcı

üniteler gövde içersinde yer alır. Bir rüzgâr türbininde tanıtılan elemanlar dışında; frenleme düzenleri, kontrol-kumanda sistemleri, yönlendirme motoru ve mekanizması, anemometre ve rüzgârgülü gibi ölçüm cihazları bulunur.

Asenkron generatörlü bir RES'in blok şeması Şekil 3.13'de gösterilmiştir [48].



Şekil 3.13. RES blok şeması

Rüzgâr türbinlerinin teorik çalışmalarda kullanılması için oluşturulan benzetimler matematiksel yapı temeli üzerine kuruludur. Bu nedenden dolayı ki rüzgâr türbini tasarlanırken matematiksel eşitliklerin iyi analiz edilmesi gerekmektedir. Bir rüzgâr türbininden elde edilecek güç eşitlik (3.26) ile ifade edilir:

$$P_m = \frac{1}{2} \rho A V^3 C_p(\lambda, \beta) \quad (3.26)$$

Burada ρ havanın özgül yoğunluğunu (kg/m^3), A kanat süpürme alanını (m^2), V rüzgâr hızını (m/s), C_p güç dönüşüm katsayısını, λ kanat uç-hız oranını, β ise radyan cinsinden kanatların eğim açısını ifade etmektedir. Bu eşitlik detaylandırılacak olursa;

$$C_p(\lambda, \beta) = c_1 \left(\frac{c_2}{\lambda_i} - c_3 \beta - c_4 \right) e^{\frac{-c_5}{\lambda_i}} + c_6 \lambda \quad (3.27)$$

Eşitlik (3.26)'da tanımlanan c sabitleri için; $c_1 = 0.5176$, $c_2 = 116$, $c_3 = 0.4$, $c_4 = 5$, $c_5 = 21$ ve $c_6 = 0.0068$ değerleri kullanılır. Eşitlikteki diğer parametreler için

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + 0,08\beta} - \frac{0,035}{\beta^3 + 1} \quad (3.28)$$

$$\lambda = \frac{\omega r}{V} \quad (3.29)$$

$$A = \pi r^2 \quad (3.30)$$

ifadeleri elde edilir. Burada ω türbinin dönüş hızı (rad/s) ve r de türbin kanadının yarıçapıdır (m). Bir türbin için,

$$T_m = \frac{P_m}{\omega} \quad (3.31)$$

eşitliği bilindiğinden türbin rotorundan elde edilecek mekanik tork ifadesi (3.32) eşitliği ile verilmektedir [48].

$$T_m = \frac{1}{2\omega} \rho \pi r^5 C_p (\beta, \lambda) V^3 \quad (3.32)$$

Sistemde kullanılan Rüzgâr Türbinine ait özellikler:

Rüzgâr Türbini:

FD1.7-500 Wind Turbine Generator

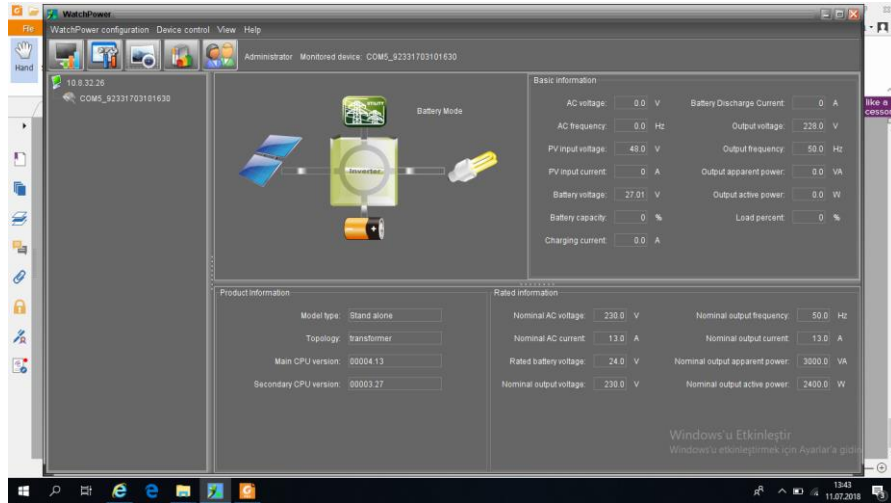
Anma Gücü:500W

Anma Gerilimi:24V

Anma Kanat Hızı:12m/s

3.3. Yardımcı Yazılım ve Cihazlar

Bu çalışmada ölçümlerin alınıp yorumlanmasında bazı yazılım ve cihazlardan yararlanılmıştır. Kullanılan yazılımlardan WatchPower aynı anda seri port üzerinden birden fazla cihaz takip edilen evirici izleme yazılımıdır. Bu program yardımıyla sistemdeki elektriksel parametreler incelenmiştir. Şekil 3.14 ile WatchPower yazılımına ait ekran görüntüsü aracılığıyla sistem çalışması gösterilmiştir.



Şekil 3.14. WatchPower yazılımına ait ekran görüntüsü

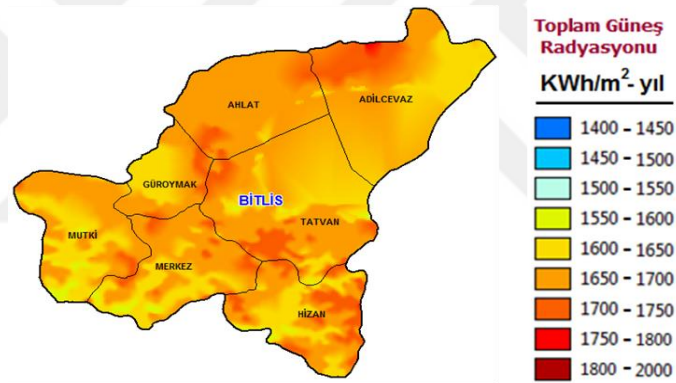
Sistemde güç kalitesi ve enerji analizörü olarak Şekil 3.15 ile gösterilen Fluke 435-II kullanılmış, alınan ölçümler Power Log programı üzerinden görüntülenerek yorumlanmıştır.



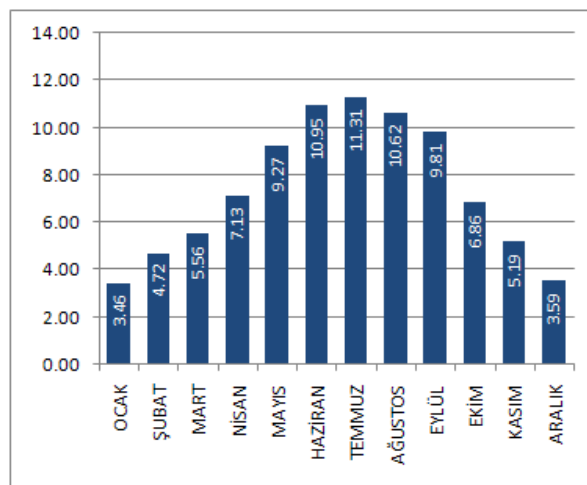
Şekil 3.15. Fluke 435-II

4. BULGULAR

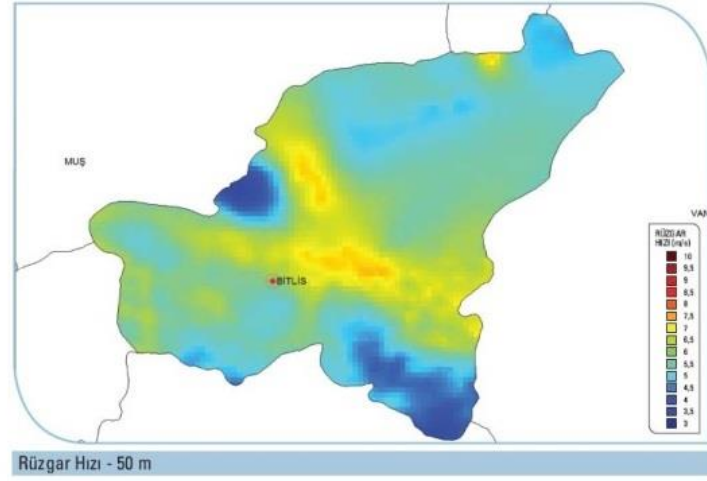
YEK'in yaygın kullanılmaya başlanması ve dolayısıyla bu tip sistemlerin farklı uygulamalarının olması, bu tez çalışmasının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Araştırmalar sonucu YEK ile beslenen ARM'li çalışmaların oldukça fazla olduğu ancak depolama ünitesiz çalışmaların bulunmadığı gözlemlenmiştir. Makine sanayiinde yaygınlaşan depolama birimine sahip olmayan teknolojinin azaltılmış bakım, artırılmış dayanıklılık, güvenilirlik ve düşük işletme maliyeti sağladığı kanıtlanmıştır. Bölgemizin tarımsal sulama için elverişli olması ve bu alanda yapılan ARM'li çalışmalar da göz önünde bulundurulduğunda depolama ünitesiz sistem tasarlanıp karşılaştırma yapılması planlanmıştır. Bitlis iline ait; güneş enerjisi potansiyeli haritası, yıllık global güneş ışınımı, rüzgâr hız dağılımı ve kapasite faktörü dağılımı haritaları sırasıyla Şekil 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4 ile gösterilmiştir [45].



Şekil 4.1. Bitlis ili güneş enerjisi potansiyeli haritası

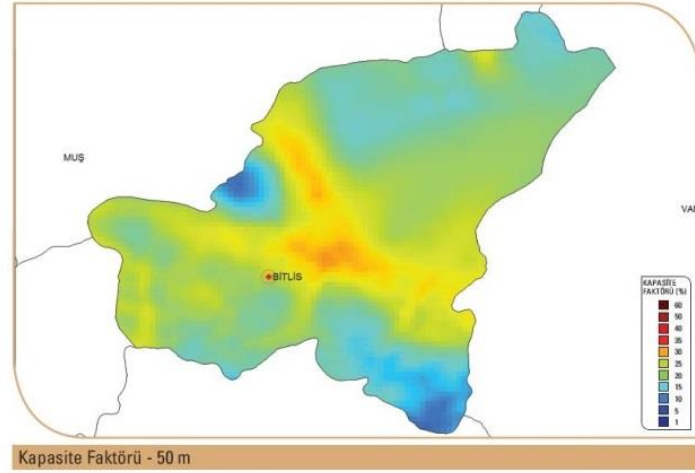


Şekil 4.2. Bitlis ili yıllık global güneş ışınımı



Ekonomik RES yatırımı için 7 m/s veya üzerinde rüzgar hızı gerekmektedir.

Şekil 4.3. Bitlis iline ait Rüzgâr hız dağılımı



Ekonomik RES yatırımı için %35 veya üzerinde kapasite faktörü gerekmektedir.

Şekil 4.4. Bitlis iline ait kapasite faktörü dağılımı

Rüzgâr ve güneş kaynak bilgileri baz alınarak kurulmuş olan hibrit sisteme ait; Google Earth uygulamasından alınan konum ve sistemin görüntüsü sırasıyla Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 ile verilmiştir.



Şekil 4.5. Kurulu hibrit sisteme ait uydu görüntüsü



Şekil 4.6. Kurulu hibrit sistem

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada 1 fazlı, 8/6 kutuplu, 220 V, 1.5 kW gücündeki bir ARM yenilenebilir enerji kaynaklarıyla beslenmiş, yüksüz ve yük altında, farklı iklim koşulları için motorun hız performans analizi yapılmıştır.

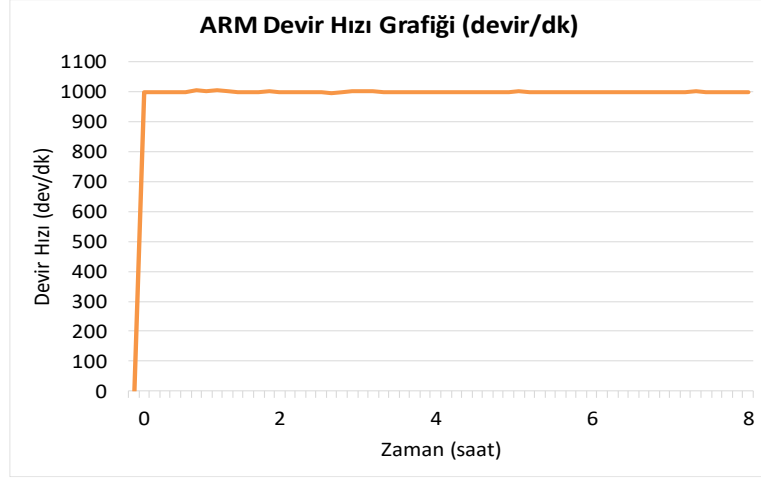
5.1. Depolama Üniteli Sistem

Motor deneme amaçlı ilk olarak 3500 dev/dk hızında çalıştırılmış ve kararlı bir karaktere sahip olduğu kanıtlandıktan sonra bu çalışma için referans değer 1000 dev/dk olarak belirlenmiştir. ARM'li uygulama sistemi Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



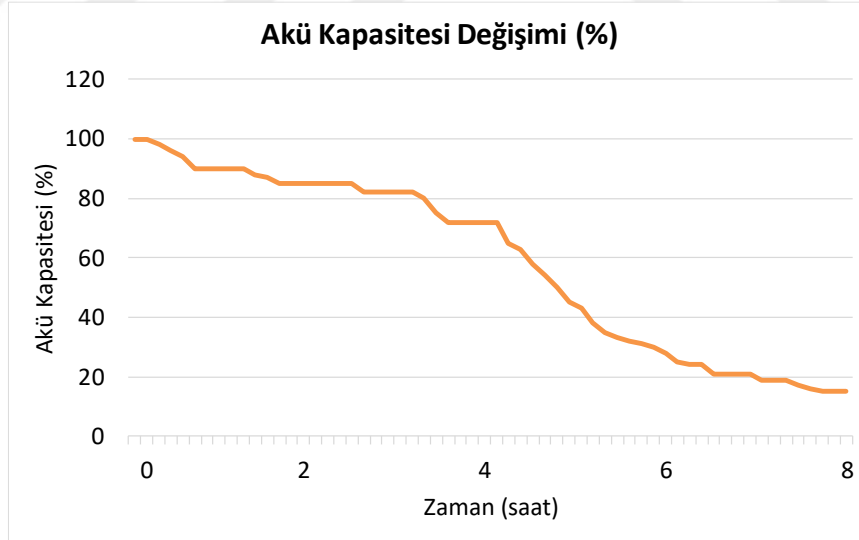
Şekil 5. 1. Deneysel uygulama sistemi

Bu çalışmada ARM'nin yüksüz ve yük altında, farklı iklim koşulları için hız performans analizi yapılmıştır. Şekil 5.2'de hibrit sistem tarafından beslenen enerji depolama ünitesi ile enerjilendirilen, yüksüz durumdaki ARM'nin devir hızı grafiği gösterilmiştir.

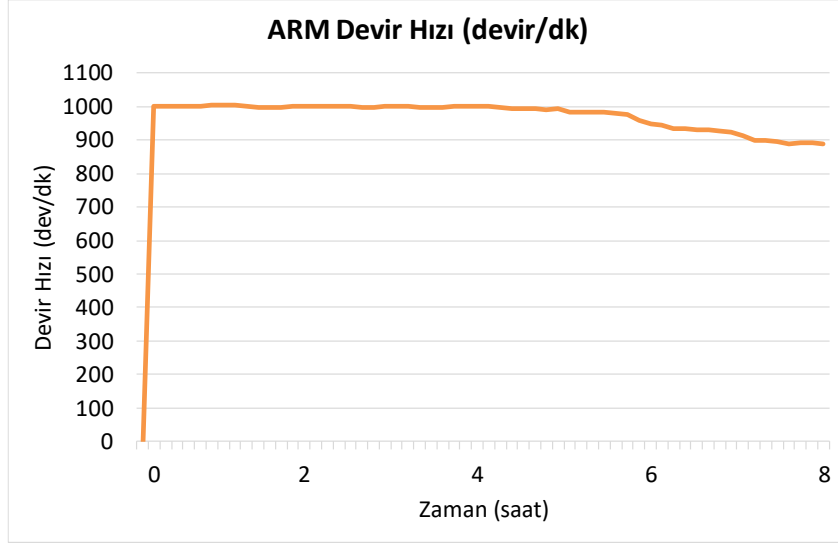


Şekil 5. 2. Akünün tam dolu olması durumunda ARM performansı

Grafikten anlaşılacağı üzere motor depolama ünitesinden beslendiğinde hız açısından kararlı bir karaktere sahip olmaktadır. Yüksüz durumda referans değerinde hız sabittir. Sistemin enerji üretim sistemleri devreden çıkarılarak depolama ünitesinin beslemesi kesildiğinde depolama ünitesi kapasitesi ile motor hızı değişimi sırasıyla Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 5. 3. Akü kapasite değişimi

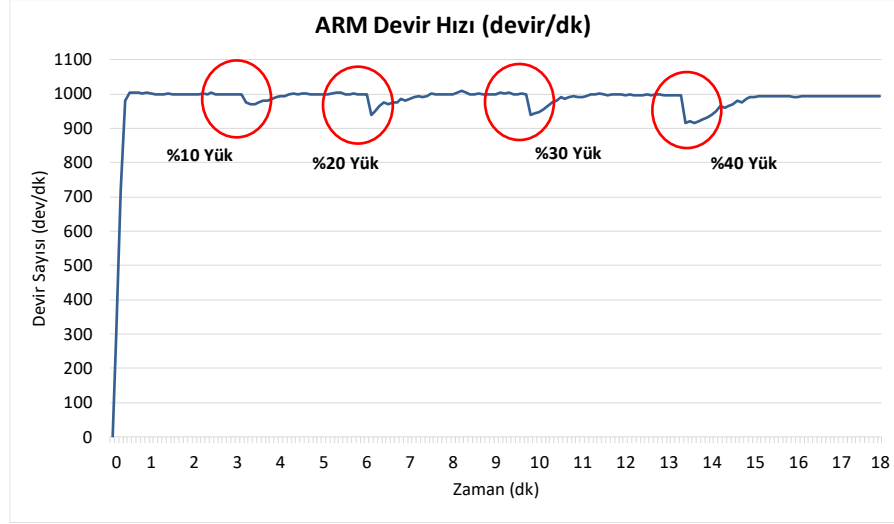


Şekil 5. 4. Akü kapasite değişimine göre hız

Grafikler bağlantılı olarak incelendiğinde depolama kapasitesinin yaklaşık %50 olduğu andan itibaren motor hızının düşüş karakteri göstermeye başladığı anlaşılmaktadır. İstenen verimin sağlanabilmesi için depolama ünite sayısı arttırılmalı ya da daha büyük kapasitede bir akü tercih edilmelidir. Ancak bu da maliyeti arttıracığı için tercih edilecek depolama sisteminin yeniden incelenmesi ve değiştirilmesi gerekmektedir. Bu durum depolama ünitesinin seçiminde detaylı analiz yapılmasının önemini bir kez daha ortaya çıkarmaktadır.

5.2. Depolama Ünitesiz Sistem

Bu çalışmanın temel amacı olan depolamasız sistem performansının incelenmesi için, hibrit sistem depolama biriminden ayrılmış ve doğrudan hibrit sistem tarafından beslenen ARM'nin yük oranına, rüzgâr ve ışıma bağlı olarak analizi yapılmıştır. Şekil 5.5'te tam ışıma ve tam rüzgâr durumunda %10, %20, %30 ve %40 yük durumları için sistemin devir hızı-zaman grafiği gösterilmektedir.



Şekil 5. 5. Tam ışınım ve tam rüzgâr durumunda devir hızı değişimi

Tam ışınım ve tam rüzgâr durumunda yüksüz durumda motorun akü ile beslenen sistem ile benzer süre içerisinde istenen hıza ulaştığı tespit edilmiştir. Motor 1000 dev/dk hızına ulaştıktan sonra %10 oranında yüklenmiş ve hızda ilk anda düşüş gözlenirse de motor hızını korumuş ve yeniden 1000 dev/dk hızına ulaşmıştır. Kademe kademe arttırılan yüke rağmen motor tam ışınım ve tam rüzgâr durumunda %40 yükte hızını korumuştur. Bölgemize ait güneş ve rüzgâr haritaları göz önüne alınarak Bitlis ilinde kurulacak sistemden istenen verimin alınacağı aşikârdır. Tam ışınım ve tam rüzgâr durumunda %30 yüklü durumdaki motor hızı ve yük göstergesi Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’de verilmiştir.

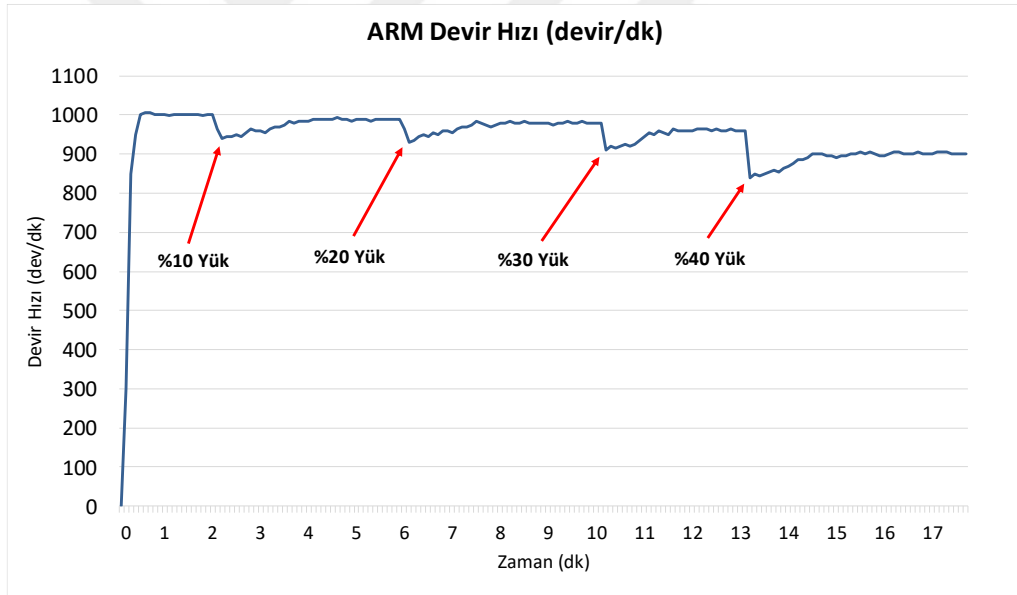


Şekil 5. 6. %30 yük durumunda motor hızı



Şekil 5. 7. Yük göstergesi

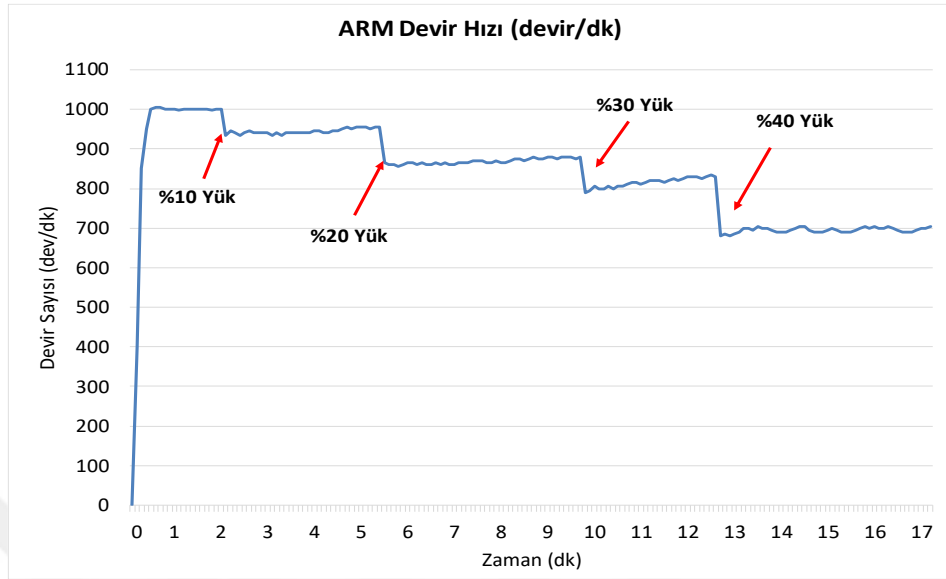
Değişken rüzgâr ve %75 ışınım durumunda %10, %20, %30 ve %40 yük durumları için sistemin devir hızı-zaman grafiği Şekil 5.8'de verilmiştir



Şekil 5. 8. Değişken rüzgâr ve %75 ışınım durumunda devir hızı değişimi

Grafikten görüleceği üzere, %10 oranında yüklenen motorun tam ışınım ve rüzgâr durumuna göre toparlanma süresi uzasa da istenen performans sağlanmıştır. Yük kademe kademe %10 oranında arttırılarak hızdaki değişim gözlenmiştir. Son olarak %40 oranındaki yük durumunda motor hızında yalnızca %10 oranında düşüş gözlenmektedir. Depolama üniteli sistemle kıyaslandığında akü kapasitesinin %50 olduğu durumda yüksüz motorun göstermiş olduğu performans ve %40 yüklü %75 ışınım ve değişken rüzgâra sahip aküsüz sistem aynı performansa sahiptir denilebilir. Bu durumda verim analizi yapmak gerekirse aküsüz sistemin

verimi azımsanamayacak büyüklüktedir. Rüzgârsız ve %60 ışınım durumunda devir hızı değişimi Şekil 5.9’da gösterilmiştir.



Şekil 5. 9. Rüzgârsız ve %60 ışınım durumunda devir hızı değişimi

Rüzgâr türbininin devreden çıkarıldığı ve %60 ışınım ile yüksüz durumda motor referans hızına ulaşmıştır. %40 oranındaki yük durumunda motor hızı küçük salınımlar göstermekle birlikte 700 dev/dk da sabitlenmiştir. Depolama ünitesiz sistemde yaşanan hız düşüşlerini önlemek amacıyla; sisteme entegre edilecek akıllı bir yük kontrol sistemi; devir sayısı düşüşlerine bağlı olarak yük atma işlemini gerçekleştirerek ya da ışınımına bağlı yük atma gerçekleştirilerek hız optimizasyonu sağlanabilir. Rüzgâr türbininin devreden çıkarıldığı sistem Şekil 5.10 ile gösterilmiştir.



Şekil 5. 10. Rüzgâr türbininin devreden çıkarılması

Çeşitli yük karakterleri için motor hızında yaşanan ani düşüşler göz önüne alındığında, hem hibrit sistemi hem de motoru korumak amacıyla motor tam yük durumunda çalıştırılmamış, yüklenme belirli sınırlarda tutulmuştur. Tam ışınım ve tam rüzgâr durumu ile tam dolu depolama üniteli durum karşılaştırıldığında, motorun her iki sistem için neredeyse aynı performansa sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu durum, maliyet açısından depolama ünitesiz sistemin daha avantajlı olduğunu göstermektedir. Değişken rüzgâr ve %75 ışınım durumu için grafik incelendiğinde sistem %40 yüklü olmasına rağmen hızında yalnızca %10 düşüş yaşanmıştır. Elde edilen deneysel verilere göre; YEK ile beslenen ARM'nin tarımsal sulama açısından uygunluğu kanıtlanmıştır. Sistemde depolama birimi bulunmamasının azaltılmış bakım, artırılmış dayanıklılık, güvenilirlik ve düşük işletme maliyeti gibi avantajlar sağladığını söylemek mümkündür. Ancak bölgemizdeki mevsim şartları, güneşlenme süresi ve rüzgâr haritası göz önünde bulundurulduğunda depolama ünitesiz sistem için verimi arttıracak, yüklenme durumlarındaki hız düşüşlerini optimize edecek akıllı sistemler üzerinde çalışılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Çetin E, Ahmet Y, Öner Y, Öztürk HK, 2007. Aydınlatmada Fotovoltaik-Hidrojen Hibrit Enerji Kaynağı Kullanımı. IV. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, 13-15 Aralık 2007, İzmir, s: 12-23.
- [2] Miller, T J E, 1989. Brushless Permanent Magnet and Reluctance Motor Drives. Clarendon Press. Oxford.
- [3] Harb S, Zhang H, Balog R.S, 2013. AC-Link, Single Phase, Photovoltaic Module Integrated Inverter. 2013 Twenty-Eighth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 17-21 March 2013, USA.
- [4] Bayrak G, Cebeci M, 2012. 3,6kw Gücünde Fotovoltaik Generatörün Matlab Simulink İle Modellenmesi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 28(2): 198-204.
- [5] Rajib D, Ranganathan VT, 2002. Variable Speed Wind Power Generation Using Doubly Fed Wound Rotor Induction Machine-A0 Comparison With Alternative Schemes. IEEE Transaction on Energy Conversion, 17 (3): 414- 420.
- [6] Dou CX, Liu B, 2012. Transient control for micro-grid with multiple distributed generations based on hybrid system theory. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 42 (1): 408-417.
- [7] Abdelaziz MMA, 2012. A Novel and Generalized Three-Phase Power Flow Algorithm for Islanded Microgrids using a Newton Trust Region Method. IEEE Transactions On Power Systems, 28 (1): 190-201.
- [8] Liu X, Wang P, Loh PC, 2010. A Hybrid AC/DC Micro-Grid. 2010 Conference Proceedings IPEC, 27-29 Oct. 2010, Singapore, s: 746-751.
- [9] Liu YH, Wu ZQ, Lin S, Brandon NP, 2009. Application of the Power Flow Calculation Method to Islanding Micro Grids. 2009 International Conference on Sustainable Power Generation and Supply, 6-7 April 2009, China, s: 1-6.

- [10] Miller, TJE, 2001. Electronics Control of Switched Reluctance Machines. Newnes PES, Oxford.
- [11] Miller, TJE, 1993. Switched Reluctance Motors and Their Control. Magna Physics Publishing and Clarendon Press. Oxford.
- [12] Miller, TJE, 2001. Electronic Control of Switched Reluctance Machines. Newnes Power Engineering Series, Oxford.
- [13] Çınar M.A, 2008. Elektrikli Taşıtın Tekerlek Tahriği İçin Geliştirilen Dışı Rotorlu Anahtarlama Relüktans Motor Tasarımı ve Analizi. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [14] Belliwali S, Chakravarti A, Raju AB, 2011. Mathematical Modelling and Simulation of Directly Coupled PV Water Pumping System Employing Switched Reluctance Motor. IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies, 1-3 Dec. 2011, India, s: 1-5.
- [15] Zou Y, Cheng E, Cheung N, Pan J.F, 2013. Design and Simulation of a Novel Gesture Control Method for PV Tracking System Based on Switched Reluctance Motor. 2013 5th International Conference on Power Electronics Systems and Applications(PESA), 11-13 Dec. 2013, Hong Kong, s: 1-5.
- [16] Wang X, Gan C, Hu Y, Cao W, Chen X, 2014. Renewable Energy-fed Switched Reluctance Motor for PV Pump Applications. 2014 IEEE Conference and Expo Transportation Electrification Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific), 31 Aug.-3 Sept. 2014, Beijing, s:1-6.
- [17] Ronanki D, Parthiban P, 2012. PV-Battery Powered Direct Torque Controlled Switched Reluctance Motor Drive. 2012 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, 27-29 March 2012, Shanghai, s: 1-4.
- [18] Mishra AK, Singh B, 2016. A Single Stage Solar PV Array Based Water Pumping System Using SRM Drive. 2016 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, 2-6 Oct. 2016, USA, s:1-8.

- [19] Mishra AK, Singh B, Solar PV Powered SRM Driven Water Pumping System using Landsman Converter. 2016 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES), 14-17 Dec. 2016, India, s: 1-6.
- [20] Indragandhi V, Selvamathi R, Arunkumari T, 2017. Speed Control of a Switched Reluctance Motor Using PID Controller for PV Based Water Pumping Applications. International Conference on Innovations in Power and Advanced Computing Technologies [i-PACT2017], 21-22 April 2017, India, s: 1-4.
- [21] Mianhua W, 2011. Four Phase Switched Reluctance Motor Direct Torque Control. 2011 Third International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, 6-7 Jan. 2011, Shangshai, s: 1-4.
- [22] Zaafrane W, Kediri J, Rehaoulia H, 2013. Speed Control of Linear Switched Reluctance Motor. 2013 World Congress on Computer and Information Technology (WCCIT), 22-24 June 2013, Sousse, s: 1-7.
- [23] Hasegawa Y, Nakamura K, Ichinokura O, 2012. A Novel Switched Reluctance Motor With the Auxiliary Windings and Permanent Magnets. IEEE Transactions on Magnetics, 48 (11): 1-4.
- [24] Krishnamurthy M, Edrington CS, Emadi A, Asadi P, Ehsani M, Fahimi B, 2006. Making the case for applications of switched reluctance motor technology in automotive products. IEEE Transactions on Power Electronics, 21 (3): 659-675.
- [25] Krishnan R, 2001. Switched Reluctance Motor Drives: Modeling, Simulation, Analysis, Design and Applications. CRC Press. New York.
- [26] Akhter HE, Sharma VK, Chandra A, Al-Haddad K, 2002. Starting performance of switched reluctance motor with fixed turn-off angle control scheme. IEEE 2002 28th Annual Conference of the Industrial Electronics Society, 5-8 Nov. 2002, Spain, s:1-3
- [27] Hossain SA, Husain I, 2005. Modeling, Simulation and Control of Switched Reluctance Motor Drives. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 52 (6): 1625-1634.

- [28] Özođlu Y, 1999. Anahtarlamalı Relüktans Motorunda Kutup Başlarına Şekil Vererek Moment Dalgalanmasının Azaltılması. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [29] Miller TJE, 2002. Optimal Design of Switched Reluctance Motors. IEEE Trans. Ind. Electronics, 49 (1): 15-27.
- [30] Omaç Z, Kürüm H, Selçuk AH, 2007. 18/12 Kutuplu Anahtarlamalı Relüktans Motor Tasarımı, İncelenmesi ve Kontrolü, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 19 (3): 339-346.
- [31] Mutlu Ü, 2006. Anahtarlamalı Relüktans Motor Sürücü Devre Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- [32] Polat, K, 2010. Anahtarlamalı Relüktans Motor için Mikrodenetleyici ile Ekonomik Bir Sürücü Gerçekleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [33] Sezen, S., 2006. Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) ile Analizi Yapılmış Yüksek Güçlü Anahtarlamalı Relüktans Motorun Yeni Bir Bulanık Mantık Algoritması Kullanılarak Hız Denetimi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [34] Bal G, 2004. Özel Elektrik Makinaları. Seçkin Yayıncılık. Ankara.
- [35] Polloc C, Williams BW, 1990. Power Converter Circuits for Switched Reluctance Motors with the Minimum Number of Switches. IEE Proceedings B - Electric Power Applications , 137 (6): 373-384.
- [36] Skvarenina, TL, 2002. The Power Electronics Handbook Industrial Electronics Series. CRC Press. New York.
- [37] http://www.elektrikrehberi.net/teknik_yazilar/reluktan_motorlari.asp (Erişim tarihi: 10.06.2018)

- [38] Vijayraghavan, P, Krishnan, R, 1998. Noise in Electric Machines: A Review. Conference Record of 1998 IEEE Industry Applications Conference. Thirty-Third IAS Annual Meeting (Cat. No.98CH36242), 12-15 Oct. 1998, USA, s: 1-7.
- [39] Pollock C, Wu CY, 1997. Acoustic Noise Cancellation Techniques for Switched Reluctance Drivers. IEEE Trans. Ind. Application, 32 (2): 477- 484.
- [40] Güvenç U, 2005. Anahtarlamalı Relüktans Motorun Denetimi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [41] Krishnan R, Mang X, Bharadwaj AS, 1990. Design and Performance of Microcontroller Based Switched Reluctance Motor Drive System, Electric Machines and Power Systems. CRC Press. New York.
- [42] Low TS, Lin H, Chen SX, Chang KT, 1995. Design and analysis of 4-phase (in-hub) mini-switched reluctance motor for spindle motor in hard disk drive. Proceedings of 1995 International Conference on Power Electronics and Drive Systems. PEDS 95, Singapore, s: 645-650.
- [43] Asgar M, Afjei E, Behbahani A, Siadatan A, 2015. A 12/8 double-stator switched reluctance motor for washing machine application. Power Electronics, Drives Systems & Technologies Conference (PEDSTC2015), 3-4 Feb. 2015, Iran, s: 168-172.
- [44] Kiyota K, Chiba A, 2012. Design of Switched Reluctance Motor Competitive to 60-kW IPMSM in Third-Generation Hybrid Electric Vehicle. 2011 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, 17-22 Sept. 2011, USA, s:2303-2309.
- [45] <http://www.yegm.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 15.07.2018)
- [46] Çelik A, Kılıç IMK, 2008. Fotovoltaik Sistem Eğitimi İçin Bir Simulink Araç Kutusu Tasarım ve Uygulaması, e-Journal of New World Sciences Academy, 3(3):499-514.

- [47] <http://www.elektrikde.com/G%C3%BCnsten-Elektrik-%C3%9Cretimi-fotovoltaik-Paneller.html> (Erişim Tarihi: 22.07.2018)
- [48] Efe SB, 2014. Mikro Őebekelerde Güç Akış Analizi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.



ÖZGEÇMİŞ

25.05.1991 tarihinde Bitlis'in Tatvan ilçesine doğdum. İlk ve Orta öğrenimimi Tatvan'da tamamladım. 2011 yılında Fırat Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünü okumaya hak kazandım. Buradaki öğrenimimi 2014 yılında tamamladım. Mayıs 2015-Ağustos 2016 yılları arasında Vangözü EDAŞ Bitlis İl Müdürlüğü'nde mühendis olarak çalıştım. Mayıs 2017-Aralık 2017 yılları arasında Mostar Grup Enerji AŞ'de Hat Bakım grup mühendisi olarak çalıştım. Halen Öz-Cihan Elk. İnş. San. Tic. Ltd. Şti.'nde proje mühendisi olarak çalışmaktayım. Ayrıca Anadolu Üniversitesi Çalışma Ekonomisi ve Endüstri İlişkileri 1. Sınıf öğrencisiyim. 2016 Eylül ayından itibaren Bitlis Eren Üniversitesinde yüksek lisans öğrenimi görmekteyim.

Dilan DEMİR AKTAŞ