



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ FOTOVOLTAİK
GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNİN BATARYA
OTONOMU VE
SİSTEMİN EKONOMİK ANALİZİ

Serbülent GÜR
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

ŞUBAT-2023
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNİN BATARYA OTONOMU VE SİSTEMİN EKONOMİK ANALİZİ

Serbülent GÜR

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Zeliha ÜSTÜN ARGON

2023, 33 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Zeliha ÜSTÜN ARGON

Doç. Dr. Yasin Ramazan EKER

Doç. Dr. Emre ASLAN

Off-Grid güneş enerji santralleri, güneşten elde edilen enerjiyi fotovoltaik paneller vasıtasıyla gerekli olduğunda kullanılmak üzere bir batarya grubuna depolayan sistemlerdir. Herhangi bir bölgede bireysel ya da ortak kullanılacak off-grid bir santral kurmak yüksek maliyetler gerektirmekte dolayısı ile bu tür sistemlerde ilk yatırım masraflarının geri kazanılması ve sistemin mümkün olduğunca kısa sürede kârlı duruma geçmesi öncelikli olarak beklenilmektedir. Bu sistemlerde, bataryalar bir süre düzenli çalıştıktan sonra enerji depolama verimlerini yitirmekte ve kullanıcılar bu süreçten ekonomik olarak olumsuz etkilenmektedir. Mevcut çalışmada bahsedilen sorunlara çözüm bulabilmek amacı ile, standart bir sistem ile batarya otonomu içeren bir sistemin batarya ömürleri karşılaştırılmış ve PV off-grid bir güneş enerji santralinin batarya otonomunu sağlayacak sistemin deneysel olarak tasarımı yapılmıştır. Çalışma sonunda elde edilen veriler kullanılarak sistemin ekonomik analizi gerçekleştirilmiştir. Bu değerler ışığında standart bir batarya sisteminin ekonomik anlamda sürekli zarar ettiği, batarya otonomu içeren bir sistemin ise aksine daha verimli çalıştığı ve kısa sürede kendini amorti ettiği görülmüştür. Ayrıca temel seviyede bir yazılım ve donanım eklemesi ile sistem verimliliğinin artırılacağı da tespit edilmiştir. Sonuç olarak geliştirilen sistemin batarya kullanılan en basit elektrikli araçlardan en karmaşık santrallere kadar farklı uygulamalarda tercih edilebileceği ve sistemsel geri kazanım sürelerinin de önemli ölçüde azaltılabileceği görülmektedir.

Anahtar kelimeler: Batarya otonomu, Off-grid sistemi, PV off-grid güneş santrali, PV sistem ekonomik analizi

ABSTRACT

MS THESIS

**BATTERY AUTONOMOUS of PHOTO VOLTAIC OFF-GRID SOLAR
ENERGY SYSTEMS and ECONOMIC ANALYSIS of SYSTEM**

Serbülent GÜR

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN ENERGY SYSTEMS ENGINEERING**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Zeliha USTUN ARGON

2023, 33 Pages

Jury

Asst. Prof. Dr. Zeliha USTUN ARGON

Assoc. Prof. Dr. Yasin Ramazan EKER

Assoc. Prof. Dr. Emre ASLAN

Off-Grid solar power plants store the energy obtained from the sun via photovoltaic panels in a battery group. The stored energy is used when there is no sun. Installing an off-grid power plant to be used individually or jointly in any place requires high costs. In such systems, the main expectation is to recover the initial investment costs of the system and to make the system profitable. However, after the systems work regularly for a while, the batteries lose their energy storage capacity. In this case, the installed system negatively affects the users economically. In this study, the battery lifespans of a standard system and a system with battery autonomy were compared, and the system that would provide battery autonomy of a PV off-grid solar power plant was experimentally designed. The economic analysis values of the system were calculated with the data obtained at the end of the study. In the light of these values, it has been seen that a system with battery autonomy works more efficiently and pays for itself in a short time, although a standard system is constantly losing. In addition, it has been determined that system efficiency can be increased by adding a basic level of software and hardware. As a result, it has been seen that the developed system can be used in different applications from the simplest electric vehicles using batteries to the most complex power plants, and the recovery times can be significantly reduced.

Keywords: Battery autonomy, Off-grid system, PV off-grid solar power plant, PV system economic analysis

ÖNSÖZ

Geleceğin artan enerji ihtiyaçlarına cevap verebilmek için birçok farklı enerji kaynağı kullanılmaktadır. Bunlardan çok uzun yıllardır popülerliğini yitirmemiş olan fosil yakıtlar ve enerji elde eden sistemler ilk sırada yer almaktadır. Fakat fosil yakıtlarda görülen rezerv problemleri ve bunun yanı sıra çevreye verilen zarar da göz önünde bulundurulduğunda alternatif enerji kaynaklarına olan ihtiyaç artmaktadır. Alternatif enerji kaynaklarından güneş enerjisinin kullanımı son yıllarda belirgin bir şekilde artış göstermiştir. Güneşten çok farklı şekillerde enerji elde etmek mümkündür. Tüm bu yöntemlerin içinde fotovoltaik paneller vasıtasıyla elde edilen elektrik enerjisi yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır. Fakat güneşten sağlanan enerji akışının sürekli olmayışı elde edilen enerjinin depolanmasını zorunlu kılmaktadır. Bu çalışmada enerji depolayan bataryaların ömürlerinin kısıtlı olması sorununa bir çözüm bulabilmek amacı ile sisteme bir batarya otonomu eklenerek sistemin ekonomik analizi yapılmış ve batarya kullanım sürelerinin artırılması için yazılım ve donanımsal geliştirmeler gerçekleştirilmiştir.

Serbülent GÜR
KONYA-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Enerji Kaynakları	3
2.1.1. Yenilenemez (tükenir) enerji kaynakları	4
2.1.2. Yenilenebilir (tükenmez) enerji kaynakları	4
2.1.3. Fotovoltaik güneş panelleri.....	5
2.2. Batarya Yönetim Sistemleri.....	8
3. MATERYAL VE METOD	10
3.1. Batarya	10
3.2. Yazılım (Software)	13
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA	16
4.1. Farklı Koşullarda Gerçekleştirilen Deneyler	16
4.1.1 Deney I.....	16
4.1.2. Deney II	16
4.1.3. Deney III	17
4.1.4. Deney IV	17
4.2. Sistemin Ekonomik Analizi	19
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	25
EK-1	27
KAYNAKLAR	32

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Ω	: direnç Birimi
η	: verim
I	: akım
P	: güç
R	: direnç
T	: sıcaklık
U	: gerilim

Kısaltmalar

PV	: fotovoltaiik
GES	: güneş enerji santrali
DC	: doğru akım
MPPT	: maksimum güç noktası takibi
BMS	: batarya yönetim sistemi
DOD	: deşarj derinliği
Off Grid:	şebekeden bağımsız

1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesi, sanayinin ilerlemesi, dünya nüfusunun artışı enerjiye olan ihtiyaç artışını da beraberinde getirmektedir. Enerjiye olan talebin sürekli artması, fosil yakıtların çevreye verdiği ciddi zararlar ve küresel ısınma nedeniyle insanlar temiz, alternatif ve daha ekonomik enerji kaynaklarına yönelmektedir. Yenilenebilir enerjiyi kısaca özetlemek gerekirse; enerji üretimi için doğal süreçlerden yararlanılan, kullanılan kaynakların tükenme hızından çok daha hızlı bir sürede kendini yenileyebilen enerji kaynaklarıdır (Anonim 2020a). Fosil yakıtların dışında yer alan su, rüzgâr ve güneş gibi enerji kaynakları başlıca alternatif enerji kaynakları arasında yer almaktadır. Aynı zamanda bu kaynaklar yenilenebilir enerji kaynaklarıdır.

Yenilenebilir enerji kaynakları doğa temelli kaynaklar oldukları için çevreye zarar vermemekte, aynı zamanda kendilerini yeniden üretebilmektedirler. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kaynağından alınıp başka bir enerji türüne dönüştürülmesi gerekmektedir. Örneğin güneş enerjisinin fotovoltaik paneller vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülmesi, rüzgâr ya da akarsuların enerjisinin bir türbin vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülmesi bunun en yaygın örneklerindedir. Yenilenebilir enerji kaynağından enerjinin elde edilmesi yani bir güneş panelli elektrik santrali ya da rüzgâr türbini kurmak ciddi yatırımlar gerektirmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynağından elde edilen enerjinin depolanması ya da anında kullanımı durumu söz konusudur. Enerjinin üretildiği anda kullanıma sunulması durumunda sistemde bir enerji depolama elemanına gerek duyulmamaktadır. Fakat enerjinin depolanması gerektiği durumlarda depolama elemanları için fazladan harcama yapmak gerekmektedir. Örneğin on-grid güneş enerji santralinden elde edilen elektrik hiçbir depolamaya ihtiyaç duymadan şebekeye gönderilerek kullanıma hazır duruma geldiği için sistemde enerjiyi depolamaya gerek kalmamaktadır. Fakat off-grid güneş enerji santrallerinde elde edilen enerjinin mutlaka depolanması gerekmekte, bu nedenle enerjinin depolanması gereken sistemlerde maliyetler oldukça yükselmektedir.

Özellikle piyasada kullanılan enerji depolamasını denetleyen standart sistemler ile derlenen yerel ya da büyük çaplı off-grid santrallerdeki enerji depolama elemanları yani bataryalar çok kısa sürelerde ömürlerini tamamladıkları için ekonomik olma özelliklerini yitirmektedirler. Bu eksikliğin giderilmesi için bataryaların hangi şartlar altında çalışmalarının istenildiği iyi bilinmeli ve bu bataryaların çalışma şartlarına cevap verecek

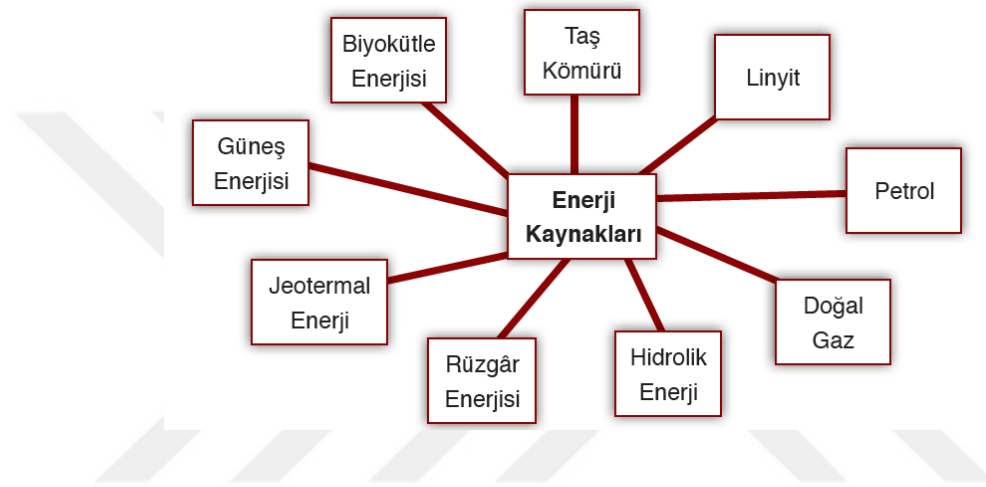
sistemler geliştirilmelidir. Bu çalışmada bu sorunun çözülmesi amacı ile bir yapay zekâ yazılım ve donanımına çalışma amacı kodlanarak sistemde kullanılan bataryaların kullanım süreleri önemli ölçüde artırılmıştır.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

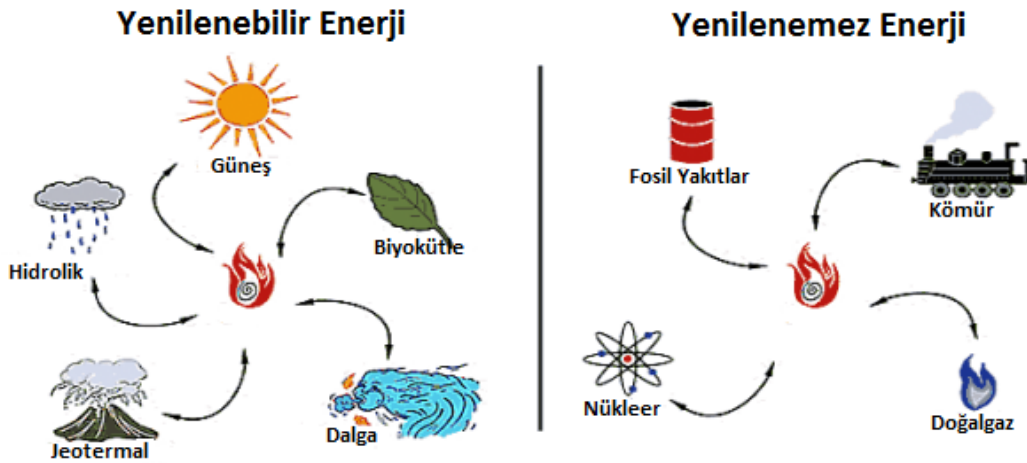
2.1. Enerji Kaynakları

Enerji kaynakları, ekonomik anlamda değişik yöntemlerle enerji elde edilen kaynaklardır. Enerji kaynakları değişik şekillerde sınıflandırılmaktadır. Enerji kaynakları dönüştürülebilirliklerine göre birincil ve ikincil enerji kaynakları, kullanılışlarına göre ise yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları olarak gruplandırılmaktadır (Anonim 2020b).



Şekil 2.1. Enerji kaynakları (Anonim 2020b)

Kullanılışlarına göre enerji kaynakları Şekil 1.1’de görüldüğü gibi sınıflandırılırken bu kaynakların doğadaki yenilenebilirlikleri ve tükenebilirlikleri göz önüne alınmaktadır. Bu nedenle enerji kaynakları yenilenebilir ve yenilenemez kaynaklar olarak ikiye ayrılmaktadır. Enerji kaynakları, isimlerinden de anlaşılacağı üzere yenilenemeyenler yani tükenenler, yenilenebilenler yani süreklilik arz eden kaynaklardır (Anonim 2020c).



Şekil 2.2. Yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları (Anonim 2020c)

2.1.1. Yenilenemez (tükenir) enerji kaynakları

Yenilenemez enerji kaynakları, kısa bir gelecekte tükenebileceği öngörülen enerji kaynakları olup fosil kaynaklılar ve çekirdek kaynaklılar olmak üzere iki farklı şekilde sınıflandırılmaktadır. Kömür, ham petrol, doğalgaz gibi fosil yakıtları ve uranyum en bilinen türleridir (Koç ve Şenel 2013).

2.1.2. Yenilenebilir (tükenmez) enerji kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları; oldukça uzun sayılabilecek bir süre tükenmeden kalabilecek, kendisini yenileyebilen kaynakları ifade etmektedir (Şenel 2012).

ABD Enerji Bakanlığı (NREL, 2001), yenilenebilir enerjiyi doğa tarafından sürekli olarak yeri doldurulan güneş, rüzgâr, su, jeotermal ve hidro gibi enerji kaynaklarının kullanılmasıyla elde edilen enerji olarak tanımlamaktadır (Gök,2013).

Yenilenebilir enerji kaynakları, yenilenebilir oluşları, en az düzeyde çevresel etki yaratmaları, işletme ve bakım masraflarının az olması ve ulusal nitelikleri ile güvenilir enerji sağlama özellikleri ile dünya ve ülkemiz için önemli bir yere sahiptir (Külekçi, 2009).

Güneş temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Güneşin çekirdeğinde yer alan enerjinin füzyon süreci sonrasında açığa çıkan ışıma enerjisi güneş enerjisi olarak tanımlanır. Günümüzde güneş enerjisinden güneş kolektörleri, güneş santralleri ve güneş pilleri olarak tanımlan üç farklı şekilde faydalanılmaktadır. Güneş kolektörleri çoğunlukla sıcak su temininde kullanılmaktadır. Güneş pilleri ise (fotovoltaik güç

sistemleri) küçük güçte ve modüler olarak kurulabilme özellikleri nedeniyle uzun yıllardır elektrik şebekesi olmayan yerlerde enerji ihtiyacının karşılanması amacıyla ile şebekeden bağımsız küçük güç birimleri olarak ve şebekeye bağlı enerji santrali olarak da kullanılmaktadır (MMO, 2012).

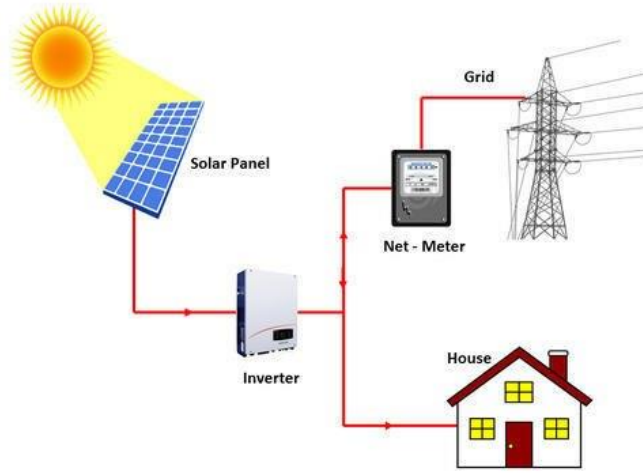
2.1.3. Fotovoltaik güneş panelleri

Güneş hücreleri (fotovoltaik hücreler), yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş hücreleri alanları genellikle 100 cm² civarında, kalınlıkları ise 0,1-0,4 mm arasındadır. Güneş hücrelerinin fotovoltaik (PV) ilkeye dayalı olarak çalışmakta, yüzeylerine ışık düştüğünde uçlarında elektrik gerilimi oluşmaktadır. Hücrenin ürettiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir (Atalay, 2018). PV paneller ile yapılan güneş enerji santralleri enerji ihtiyacının temiz ve yenilenebilir bir şekilde elde edilmesinde büyük rol oynamaktadır. Aynı zamanda PV paneller hem kişisel kullanıma hem de genel kullanıma uygun olduğu için tercih edilmektedir.

PV paneller ile yapılan güneş enerji santralleri temelde iki gruba ayrılmaktadır.

- On-grid güneş enerji santralleri
- Off-grid güneş enerji santralleri

On-grid güneş enerji santrallerinde güneş enerjisi PV paneller vasıtasıyla doğru akıma çevrilir. Elde edilen bu doğru akım alternatif tek faz ya da alternatif 3 faz elektrik enerjisine çevrilerek şebekeye verilir. Yani bu sistemlerde güneşten elde edilen elektrik enerjisinin depolanması söz konusu değildir. Bu elektrik enerjisi elde edildiği an depolanmadan şebekeye verilir. Bu nedenle bahsedilen sistemlerde batarya ihtiyacı yoktur. Bu sistemlerin kurulum maliyetleri off-grid sistemden daha düşüktür. Aynı zamanda bu sistemler kısa sürelerde kendini amorti edebilmektedir. Fakat güneşin olmadığı durumlarda herhangi bir elektrik elde edilmesi söz konusu olmamaktadır.



Şekil 2.3. On-grid (şebekeye bağımlı) sistemin şematik gösterimi (Anonim 2020d)

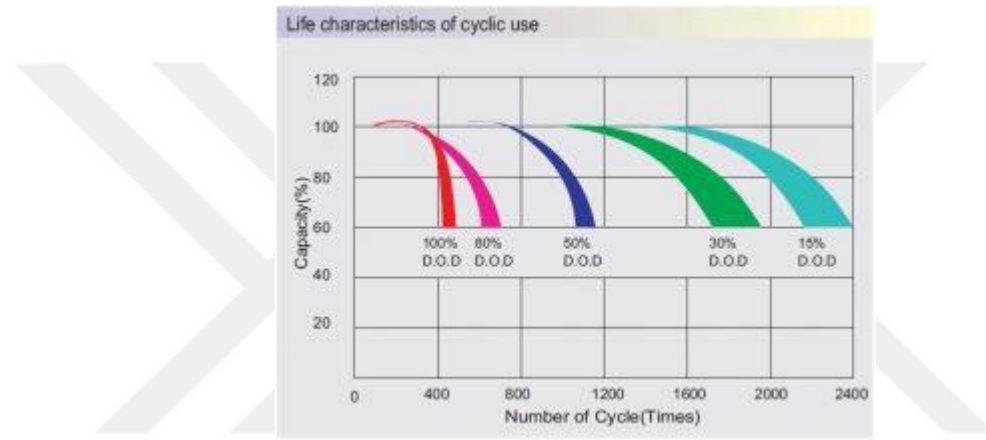
Off-grid güneş enerji sistemleri ise on-grid sistemlerin aksine elde ettikleri enerjiyi bataryalarda depolayarak istenildiği anda kullanıma sunmaktadırlar. Güneşin olmadığı zamanlarda da sürekli elektrik enerjisi sağlamaları nedeni ile off-grid sistemler oldukça fazla tercih edilmektedir. Özellikle evsel kullanımlarda bu sistemlere çok fazla rastlanılmaktadır.



Şekil 2.4. Off-grid (şebekeden bağımsız) sistemlerin şematik gösterimi (Anonim 2020e)

Off-grid güneş enerjili sistemlerde enerjiyi depolamak için batarya sistemleri kullanılmaktadır. Güneş enerjisini depolamak için en çok tercih edilen bataryalar ise jel ve lityum bataryalardır. Lityum bataryalar daha uzun ömürlü olmasına rağmen fiyatlarının yüksek olması nedeniyle daha az tercih edilmektedir.

Sıcaklık, nem gibi belirli parametreleri optimum seviyelerde tutarak jel bataryaları daha uzun süre kullanmak mümkündür. Ancak jel bataryaların döngü parametresini asıl etkileyen faktör deşarj edilmeleridir. Şekil 1.6'da jel bataryaların belirli aralıkta şarj deşarj edilmesi ile batarya ömrünün değişimi gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Jel bataryalar için deşarj durumuna göre döngü sayısı (Anonim 2020f)

Güneşten PV paneller vasıtasıyla elde edilen enerji doğrudan bataryalara gönderilememektedir. Güçlü paneller güneş ışınımına bağlı olarak 0 ile 25 volt arasında değişen bir düz akım elektrik üretmektedir ve bunun bir cihaz tarafından dengelenmesi gerekmektedir. Güneş panellerinden elde edilen elektriği batarya tepe değerlerine uygun hale getirip bataryaları şarj eden sistemlere güneş şarj kontrol sistemleri adı verilmektedir. Piyasada birçok farklı çeşit ve seçeneklerle üretilen cihazlar temelde maximum power point tracking (MPPT) özelliği ile çalışmaktadırlar. MPPT, batarya şarj olduktan sonra bataryayı şarja zorlamamaktadır. Bu şekilde bataryaların maksimum şarj gerilimini aşır zarar görmeleri önlenmektedir (Güven, 2018).



Şekil 2.6. PV sistemler için MPPT özellikli şarj kontrol ünitesi (Anonim 2020g)

Elektrik enerjisinin depolanmasında kullanılan bataryalar arasında lityum iyon ve jel bataryalar ön plana çıkmaktadır. Lityum bataryalar, kapalı hücre olması, bakım gerektirmemesi, uzun ömürlü olması, geniş aralıklı çalışma sıcaklığı alternatifleri, hızlı şarj olabilme kabiliyeti, yüksek güçlü deşarj kapasitesi, yüksek enerji verimi, yüksek özellikli enerji seviyesi ve enerji yoğunluğu ve hafıza etkisinin olmayışı gibi avantajlara sahiptir. Lityum bataryalar birçok yönden avantajlı olmasına rağmen maliyetleri yüksek olduğu için tercih edilmemektedir (Linden ve Reddy, 2002).

2.2. Batarya Yönetim Sistemleri

Batarya yönetim sistemleri ile ilgili veriler değerlendirildiğinde batarya sistemleri ile ilgili genel çalışmalar yapıldığı tespit edilmiştir. Glavin ve Hurley (2006) tarafından gerçekleştirilen ve güneş enerjisi sistemlerinde batarya uygulamalarının ele alındığı çalışmada batarya yönetim sistemleri ve bu sistemlerin batarya ömrüne etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada güneş panellerinin bataryalar için ideal bir kaynak olmadığı, bu nedenle de şarj kontrol ünitelerinin üretildiği belirtilmiştir. Şarj kontrol üniteleri en yüksek tepe nokta takip özelliğine sahip oldukları için bu sistemlerin kullanılması sayesinde batarya ömürlerine olumlu etki edeceği ele alınmıştır. Çalışmada fotovoltaik sistemlerde kullanılan farklı batarya türleri de ele alınmıştır.

Jossen ve ark. (2000) tarafından gerçekleştirilen çalışmada batarya ömürlerini etkileyen sıcaklık, nem gibi dış unsurların kontrol edilmesinden bahsedilmiş ve dış unsurların batarya ömrüne etkileri anlatılmıştır. Bu unsurların kontrol edildiği bir BMS (batarya yönetim sistemi) incelenmiştir. Dış unsurların kontrol edildiği batarya yönetim sistemlerinde batarya ömürlerinin uzadığı ortaya konulmuştur. Farklı batarya türleri için

farklı dış unsurların olabileceği ve BMS'lerin bu durumlara göre uyarlanmasının gerektiğinden bahsedilmiştir.

Das ve Agarwal (2014) tarafından hazırlanan çalışmada bataryaların yeterli miktarda şarj ve deşarjını sağlayan sistemler incelenmiştir. Bataryaların şarj değerinin üzerine çıkmadan şarj olması ve üretici tarafından belirlene deşarj değerinin altına inmeden deşarj olmasının batarya ömrünü arttırdığı benzeşim yoluyla hesaplanmıştır. Bataryaların üretim verilerine göre şarj ve deşarj edilmesinin sağlayan MPPT kontrolcülerin geliştirilmesinin gerekliliği ortaya konulmuştur.

Dunlop ve Ferhi (2001) tarafından gerçekleştirilen çalışmada güneş enerjisinden gelen değışken elektrik enerjisinin bir doğru akım düzenleyici ile dengelenmesi incelenmiştir. Florida güneş enerji merkezi ve Sandia ulusal laboratuvar işbirliği ile yapılan çalışmada batarya ömrü ile şarj durumu arasındaki bağlantılar araştırılmış ve çalışmada şarj durumunun batarya ömrünü arttırdığı ortaya konulmuştur.

Hua ve Lin (1996) tarafından hazırlanan çalışmada ise güneş panelinden gelen elektrik dalgalanmalarını dengelemek için yapılmış sistem incelenmiştir. ATI320C25 dijital sinyal işleyicisi ile yapılan sistemde bataryalara zarar veren sinyaller işlenmiş ve şarj için gerekli doğru akım elektrik elde edilmiştir. Bu sayede bataryaların ömürlerinin arttığı deneysel olarak ortaya konulmuştur.

Lalouni ve ark. (2001) tarafından gerçekleştirilen MPPT (en yüksek güç noktası) sistem ile güç eksiki izleyen sistemin bütünleşmiş hali incelenmiştir. Sistemde bulanık mantık kontrolcüsü bulunmaktadır. Bu kontrolcü sayesinde sistem daha hassas bir şekilde en yüksek güç noktasını takip edebilmekte ve dolayısı ile artan voltajlara müsaade edilmediği için bataryalar daha uzun süreli çalışabilmektedir.

Bortolini, Gamberi ve Grasianni (2014) tarafından hazırlanan çalışmada batarya ömrünün çevresel etmenlerin kontrol edilmesi ve iyileştirilmesi ile elde edilecek kazanımların ekonomik analizler incelenmiştir. Bu çalışma ile dış etkenlerin batarya ömrünü değıştirdiğini ortaya koymuştur.

Bataryalar konusunda gerçekleştirilen çalışmalar genel anlamda incelendiğinde bataryaların şarj ve deşarj değerlerinin takip edilmesi, bataryaların çalışma süreleri ve verimliliklerini artırmak konusunda yapılan araştırmaların sınırlı olduğu fark edilmiştir.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Batarya

Bataryaların şarj ve deşarjını sağlayan sistem, batarya otonomu olarak adlandırılmaktadır. Her batarya belirli değere kadar şarj olur ve belirli değere kadar deşarj olur. Batarya otonomu bataryaların şarj ve deşarj döngülerini batarya karakteristiğine uygun şekilde sağlayan sistemlerdir.

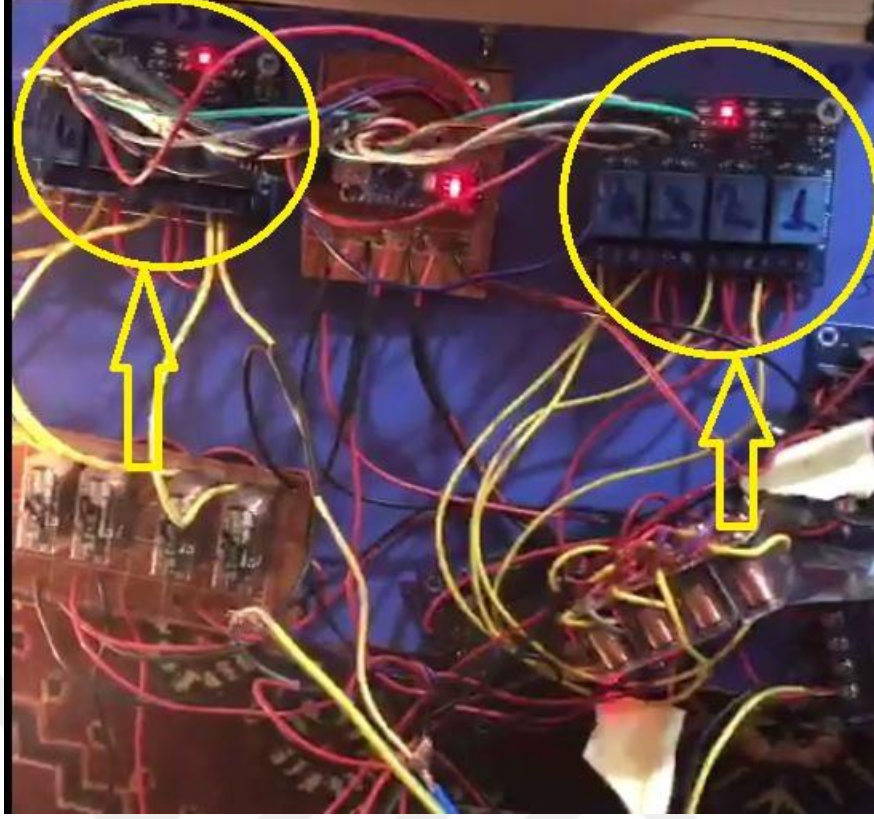
Çalışmada Huawei Outdo marka jel bataryaların özellikleri (Çizelge 3.1) ve bataryanın resmi (Şekil 3.1), 5 ve 12 volt röleler (Şekil 3.2, Şekil 3.3) kullanılmış ve materyaller iç piyasadan temin edilmiştir.

Çizelge 3.1. Huawei jel batarya

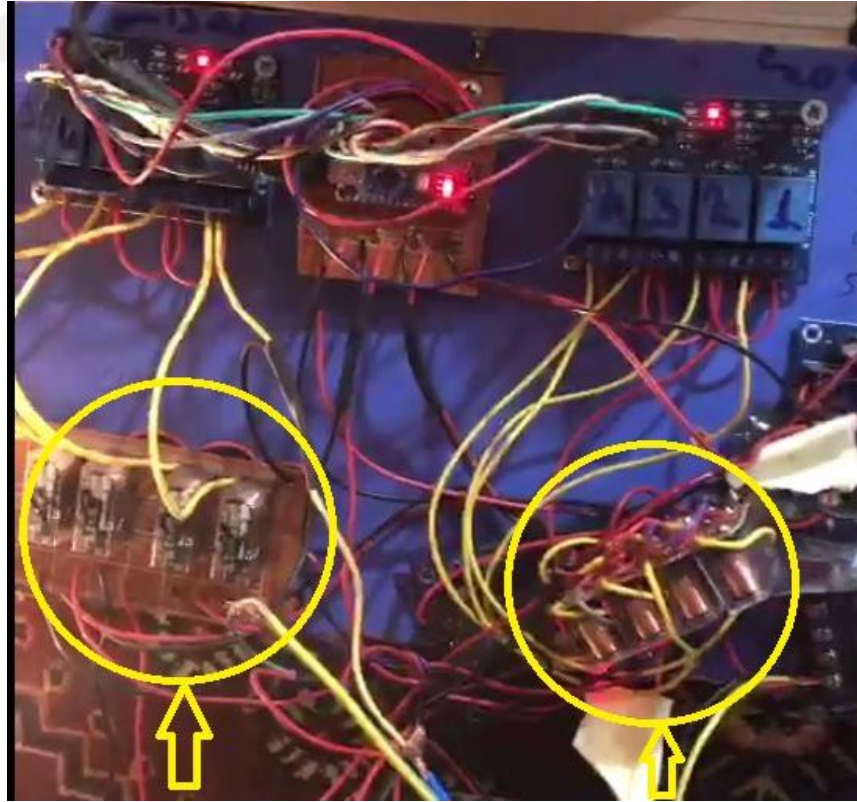
Üretici	Model	Voltaj	Akım
Huawei	Outdo ot20-12	12	20



Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan batarya outdo ot20-12 (Anonim 2020h)

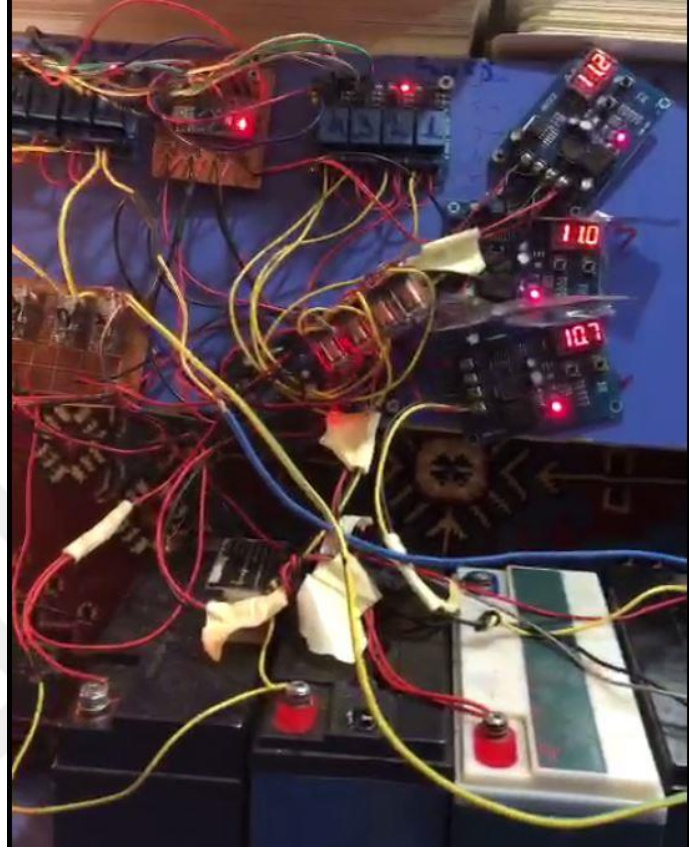


Şekil 3.2. 5 volt roleler

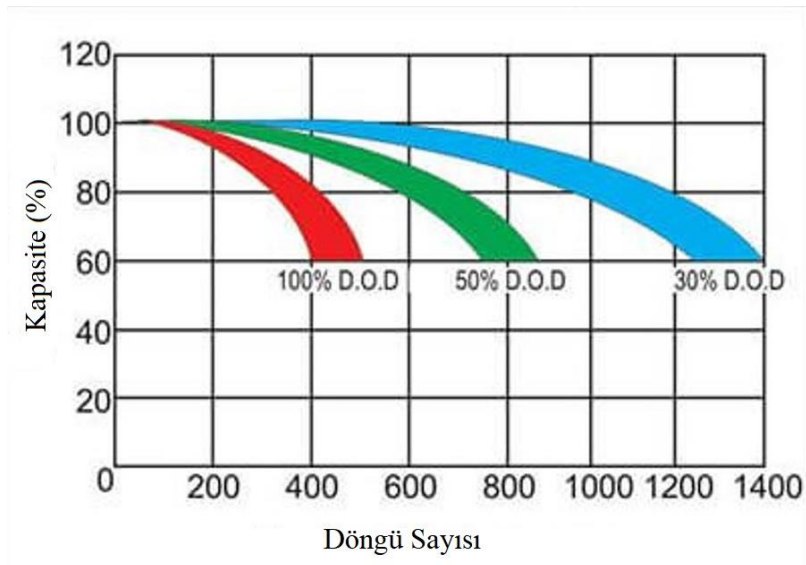


Şekil 3.3. 12 volt roleler

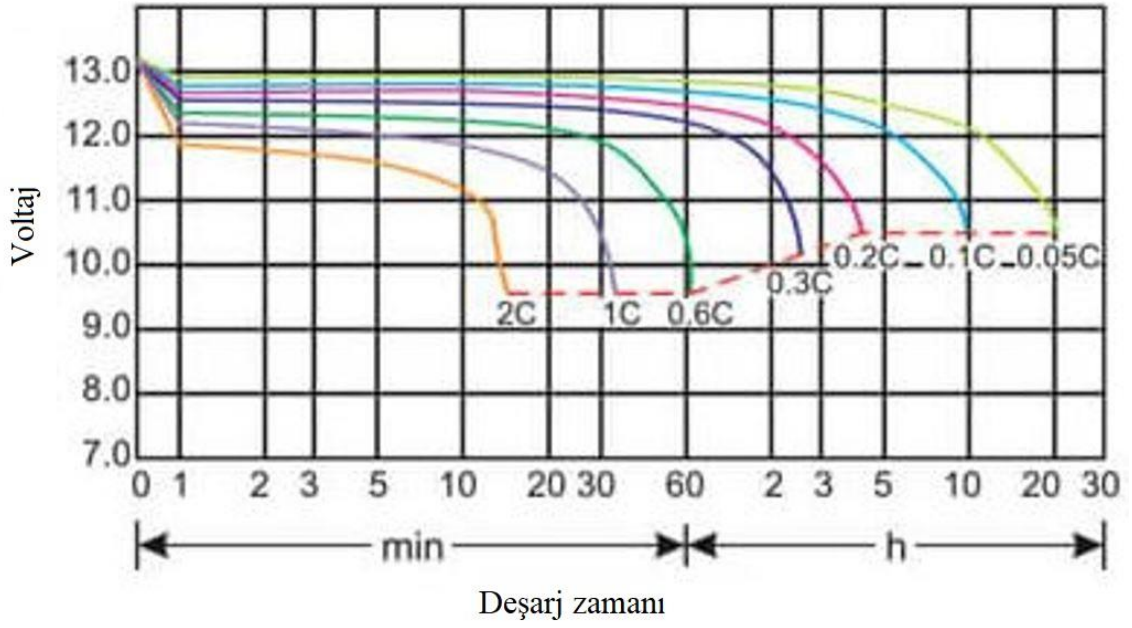
Batarya ve röleler ile bir ilk örnek oluşturulmuş (Şekil 3.4) ayrıca bataryalar ile ilgili deşarj derinliği (Şekil 3.5), deşarj aralıkları (Şekil 3.6) aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.4. Batarya otonomu ilk örnek



Şekil 3.5. Huawei jel bataryaların DOD değerleri (Anonim 2020h)



Şekil 3.6 Huawei jel bataryaların deşarj aralıkları (Anonim 2020h).

Bataryaların şarj ve deşarj değerleri (Çizelge 3.2) aşağıda verilmiştir.

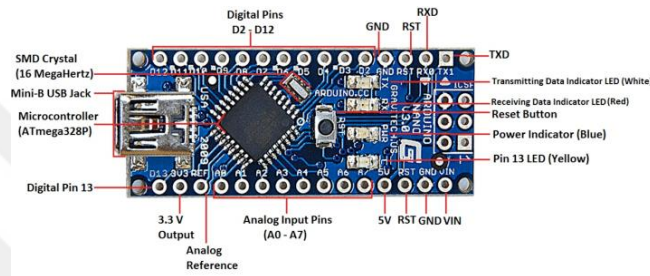
Çizelge 3.2. Jel bataryaların şarj ve deşarj değerleri (Anonim 2020h).

Şarj durumu	12 V Batarya	Hücre başı volt
% 100	12.7	2.12
% 90	12.5	2.08
% 80	12.42	2.07
% 70	12.32	2.05
% 60	12.20	2.03
% 50	12.06	2.01
% 40	11.90	1.98
% 30	11.75	1.96
% 20	11.58	1.93
% 10	11.31	1.89
% 0	10.50	1.75

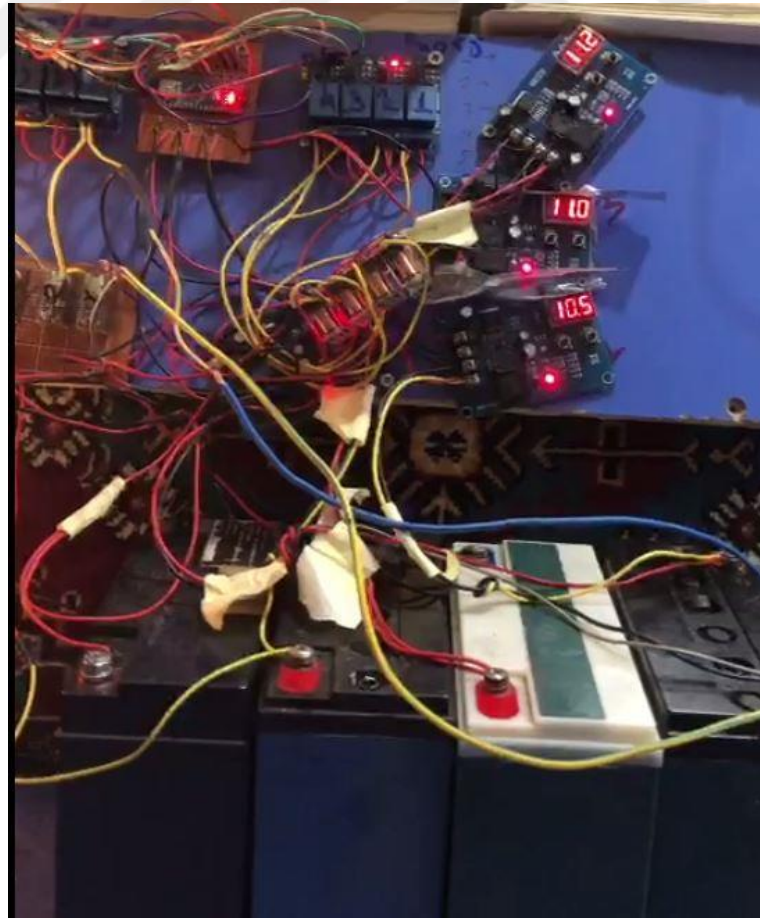
3.2. Yazılım (Software)

Bu çalışmada 4 bataryalı bir PV güneş santralinin döngüsel çalışması incelenmiştir. Burada mega328p işlemcili çipset üzerine iki farklı görev üstlenen yazılım hazırlanmıştır. İlk yazılım sistemde bir voltmetre gibi iş görecektir ve sürekli batarya voltaj değerlerini ölçecek şekilde hazırlanmıştır. Bu yazılım sürekli olarak batarya voltaj

değerlerini ölçerek diğer yazılımın ne yapacağına karar vermesine yardımcı olmaktadır. 9,9 volt değerinin altındaki her batarya boş, 14,4 voltun üzerindeki her batarya dolu olarak kabul edilmektedir. Sistem ilk bataryadan başlayarak bataryaların voltajlarını sırayla ölçmektedir. Dijital çıkışlara bağlanan 5 volt röleler bulunmakta ve bunların kontrolü yine aynı şekilde 9,9 voltun üstündeki batarya çıkışlarına bağlanarak sağlanmaktadır. Bu sayede sistemdeki her batarya mutlaka 9,9 volt değerine kadar deşarj olmaktadır. Sistemdeki bataryalar 14,4 voltun üzerine çıktığı an, yazılım bunu dolu olarak kabul edip panelden çıkarmaktadır. Bu esnada analog girişlerden elde edilen değerler ile yüke ve şarja girecek bataryalar otomatik olarak belirlenebilmektedir (Şekil 3.7 ve Şekil 3.8).



Şekil 3.7. Yazılım kontrollü işlemci boardu at328p



Şekil 3.8. Atmega328p mikro kontrolcünün yazılım ilk döngü esnasındaki durumu

AtMega328p mikro kontrolcü üzerine yazılan özel bir yazılım sayesinde sistemin otomatik kontrolü sağlanmıştır. Yazılımın kodları Ek-1 de verilmiştir.

Bu veriler kullanılarak 50 kW değerinde off-grid bir güneş enerji santralinin batarya otonomu ile ve batarya otonomu olmadan (standart MPPT) kullanılması durumunda ekonomik analizi yapılmıştır.



4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Son zamanlarda Off-grid şebekelerde oluşan batarya problemleri göz önüne bulundurulduğunda batarya yönetim sistemlerinin önemi anlaşılmıştır. Bir batarya yönetim sistemi bataryayı takip ederek aşırı şarjdeşarj durumlarına karşı korumalıdır. Bataryanın durumunu tahmin ederek performansını en üst seviyeye çıkarmalıdır.

4.1. Farklı Koşullarda Gerçekleştirilen Deneyler

Çalışma kapsamında jel bataryaların gerçek davranışlarını incelemek için farklı deneyler yapılmıştır. Bu deneylerin birçoğu birbirine paralel sonuçlar verirken, bazı deneylerde ise farklı sonuçlarla karşılaşılmıştır. Bu deneylerden elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

4.1.1 Deney I

12 volt, 20 amper 4 adet yeni batarya ile yapılan deneyde aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

- Bataryalar 9,9 volt değerine kadar beklenen sürededeşarj olmaktadır.
- Bataryalar 14,4 volt değerine kadar beklenen sürede şarj olmaktadır.
- Yük altında ani voltaj düşmesine rastlanmamıştır. ($\pm 0,5$ volt aralığını aşmamıştır)
- Yükten çıkan batarya ani voltaj yükselmesine rastlanmamıştır. ($\pm 0,5$ volt aralığını aşmamıştır.
- Bu sayede yazılım ile tam uyum içinde 4 batarya sırayla sürekli şarj vedeşarj olmaktadır (Çizelge 4.1)

Çizelge 4.1. Deney I - Kullanım sürelerine göre batarya şarj vedeşarj değerleri

Batarya	Kullanılmışlık süresi (yıl)	Yük altında boş batarya voltajı (V)	Tam dolu batarya voltajı (V)	Yük altında voltaj değişim miktarı (V)
12V 20Ah Jel	Yeni	9.9	14.4	± 0.5

4.1.2. Deney II

12 volt 20 amper 4 adet iki yıl aktif kullanılmış batarya ile yapılan deneyde aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

- Bataryalar 9,9 volt değerine kadar beklenen sürededeşarj olmamaktadır.
- Bataryalar 14,4 volt değerine kadar beklenen sürede şarj olmamaktadır.

- Yük altında ani voltaj düşmesine rastlanmıştır. (± 1 volt aralığını aşmamıştır)
- Yükten çıkan batarya ani voltaj yükselmesine rastlanmıştır. (± 1 volt aralığını aşmamıştır)
- Yazılım değerlerinde yapılan güncelleme (V2) ile tam uyum içinde 4 batarya sırayla sürekli şarj ve deşarj olmamaktadır (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. Deney II- Kullanım sürelerine göre batarya şarj ve deşarj değerleri

Batarya	Kullanılmışlık süresi (yıl)	Yük altında boş batarya voltajı (V)	Tam dolu batarya voltajı (V)	Yük altında voltaj değişim miktarı (V)
12V 20Ah Jel	2	10.9	13.4	± 1

4.1.3. Deney III

12 volt 20 amper 4 adet dört yıl aktif kullanılmış batarya ile yapılan deneyde aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

- Bataryalar 9,9 volt değerine kadar beklenen sürede deşarj olmamaktadır.
- Bataryalar 14,4 volt değerine kadar beklenen sürede şarj olmamaktadır.
- Yük altında ani voltaj düşmesine rastlanmıştır. ($\pm 1,5$ volt aralığını aşmamıştır)
- Yükten çıkan batarya ani voltaj yükselmesine rastlanmıştır. ($\pm 1,5$ volt aralığını aşmamıştır)
- Yazılım değerlerinde yapılan güncelleme (V4) ile tam uyum içinde 4 batarya sırayla sürekli şarj ve deşarj olmamaktadır (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. Deney III-Kullanım sürelerine göre batarya şarj ve deşarj değerleri

Batarya	Kullanılmışlık süresi (yıl)	Yük altında boş batarya voltajı (V)	Tam dolu batarya voltajı (V)	Yük altında voltaj değişim miktarı (V)
12V 20Ah Jel	4	11.4	12.9	± 1.5

4.1.4. Deney IV

12 volt 20 amper 4 adet ömrünün %90'ını tamamlanmış batarya ile yapılan deneyde aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

- Bataryalar 9,9 volt değerine kadar beklenen sürede deşarj olmamaktadır.
- Bataryalar 14,4 volt değerine kadar beklenen sürede şarj olmamaktadır.
- Yük altında ani voltaj düşmesine rastlanmıştır. (± 2 volt aralığını aşmamıştır)

- Yükten çıkan batarya ani voltaj yükselmesine rastlanmıştır. (± 2 volt aralığını aşmamıştır)
- Yazılım değerlerinde yapılan güncelleme (V6) ile tam uyum içinde 4 batarya sırayla sürekli şarj ve deşarj olmamaktadır (Çizelge 4.4).

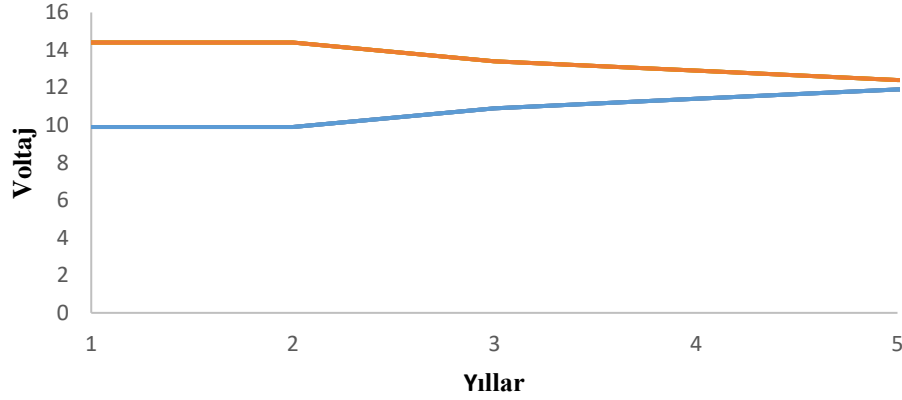
Çizelge 4.4. Kullanım sürelerine göre batarya şarj ve deşarj değerleri

Batarya	Kullanılmışlık süresi (yıl)	Yük altında boş batarya voltajı (V)	Tam dolu batarya voltajı (V)	Yük altında voltaj değişim miktarı (V)
12V 20Ah Jel	6	11.9	12.4	± 2

Üretilen ilk örnek ve yazılım çeşitli şartlarda denenmiş ve sonuçları yukarıda verilmiştir. Birinci deneyde elde edilen veriler yeni bataryaların 9,9–14,4 volt arasında istikrarlı bir şekilde çalıştığını göstermektedir. İkinci deneyde bataryaların yazılımlarındaki 9,9–14,4 volt değeri 1 volt civarında kaydığı için yazılımda dolu ve boş değerlerinin 1 volt değiştirildiğinde sistem istikrarlı çalıştığı görülmektedir. Üçüncü deneyde bataryaların yazılımlarındaki 9,9-14,4 volt değeri 1,5 volt civarında kaydığı için yazılımda dolu ve boş değerlerinin 1,5 volt değiştirildiğinde sistem istikrarlı çalışmaktadır. Dördüncü deneyde bataryaların yazılımlarındaki 9,9-14,4 volt değeri 2 volt civarında kaydığı için yazılımda dolu ve boş değerlerinin 2 volt değiştirildiğinde sistem istikrarlı çalışmaktadır (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5. Deney sonuçlarının karşılaştırılması

Deney	Batarya Durumu	Tam Boş (V)	Tam Dolu (V)
I	Yeni batarya	9,9	14,4
II	İki yıl aktif kullanılmış batarya	10,9	13,4
III	Dört yıl aktif kullanılmış batarya	11,4	12,9
IV	Altı yıl ve üstü aktif kullanılmış batarya	11,9	12,4



Şekil 4.1. Kullanım sürelerine göre batarya şarj (kırmızı) ve deşarj (mavi) değerleri Şekil 4.1'den de görüleceği üzere ürün yazılımlarının iki yılda bir defa batarya davranışlarına göre güncellenmesi, sistemin daha istikrarlı çalışmasını sağlamaktadır.

4.2. Sistemin Ekonomik Analizi

Araştırmada jel bataryalar ile oluşturulan ilk örnek ve uygulanan yazılım ile 50 kW değerinde off-grid bir güneş enerji santralının batarya otonomu ile ve batarya otonomu olmadan (standart MPPT) kullanılması durumunda ekonomik analizi yapılmıştır.

Çizelge 4.6. Ekonomik analizde kullanılan bataryaların toplam akım, gerilim ve invertör gerilimleri

Akü Gerilimi max (V)	Akü Gerilimi min (V)	Akü Sayısı	Toplam Gerilim Max (V)	Toplam Gerilim Min (V)	Akü Akımı (A)	Toplam Panel Akımı (A)	Ortalama Akü Şarj Süresi (Saat)	
14,4	9,9	70	1008	693	200	40	5,00	1. Grup Aküler
14,4	9,9	70	1008	693	200	40	5,00	2. Grup Aküler
Toplam Akü Sayısı:		140						
İnvertör Giriş Gerilimi max							1008	Volt
İnvertör Giriş Gerilimi min							693	Volt

Sistemde kullanılan invertör 70 bataryanın toplam giriş en düşük voltaj değeri olan 693 volt ile en yüksek voltaj değeri olan 1008 volt aralığında seçilmiştir (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.7. Ekonomik analizde kullanılan panellerin toplam akım ve güçleri

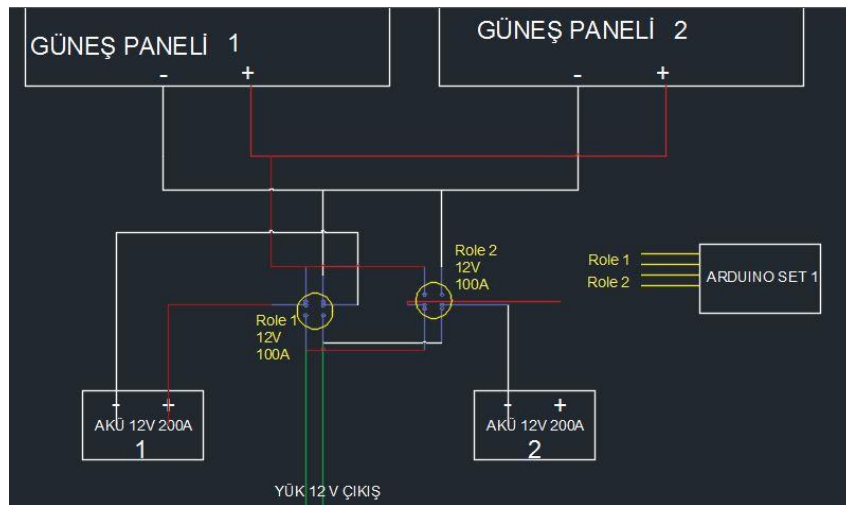
Panel Gücü (W)	Toplam Panel Gücü (W)	Panel Sayısı	Panel Akımı (A)	Grup
400 W + 400 W	800	70	40,00	1. grup
400 W + 400 W	800	70	40,00	2. grup

Sistemde kullanılan güneş panelleri 400 watt güce sahiptirler. Çiftler halinde birleştirilerek 800 watt güç elde edilmiştir (Çizelge 4.7). Sistemin ilk kurulum maliyeti de Çizelge 4.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. Sistemin yaklaşık toplam ilk kurulum maliyeti

Malzeme	Adet	Güç	Gerilim	Akım	Ortalama	
		(W)	(V)	(A)	Birim Fiyatı	Tutar
Akü	140	2400	12	200	3.000,00 ₺	420.000,00 ₺
Panel	280	250	18	20	2.000,00 ₺	560.000,00 ₺
Arduino	70				250,00 ₺	17.500,00 ₺
Yazılım	70				250,00 ₺	17.500,00 ₺
Röle ve elemanlar	140		12	80	250,00 ₺	35.000,00 ₺
Kablo	1000			100	50,00 ₺	50.000,00 ₺
Kurulum/Devreye alma	1				100.000,00 ₺	100.000,00 ₺
Montaj Ayakları	140				1.000,00 ₺	140.000,00 ₺
50 kW off-grid invertör	1	50000	600	90	90.000,00 ₺	90.000,00 ₺
Batarya Otonomu Toplam Tutar:						1.430.000,00 ₺
Standart MPPT Toplam Tutar:						1.310.000,00 ₺

Sistemin tasarımında bataryalar iki grup halinde sınıflandırılmıştır. Birinci grup bataryalar şarj olur iken, ikinci grup bataryalar yük girmektedir. Bu sayede bataryalar tam şarj ve tam deşarj değerine ulaşmaktadır. Sistemdeki şarj ve yüke girmesi gereken grupları Arduino set ve yazılım belirlemektedir ve bağlantı şeması Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Sistemin bağlantı şeması (ikililer şeklinde sürekli tekrar eder)

Şebeke elektriği kilowatt ücreti hesaplanırken 2022 yılı verileri dikkate alınmıştır. Gelecek yıllarda elektriğe gelecek zamlar göz ardı edilmiştir (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.9. Şebeke elektriği

Şebeke Elektriği (2022)								
Toplam		1						
KW	Kullanım	Saatlik	Günlük	1 Aylık				
Fiyatı	(KW)	Tutar	Tutar	Tutar	1. yıl	2. yıl	3. yıl	4. yıl
1,74 ₺	50	87 ₺	1.044 ₺	31.320 ₺	375.840 ₺	375.840 ₺	375.840 ₺	375.840 ₺

Çizelge 4.10. Birinci yılın sonunda ekonomik analiz

1. Yılın Analizi	Tutarlar	Kazanç Durumu
Standart MPPT sistem	1.310.000 ₺	934.160 ₺ ZARAR
Batarya otonomu sistem	1.430.000 ₺	1.054.160 ₺ ZARAR
Şebeke elektriği için ödenecek tutar	375.840 ₺	

Birinci yılın analize incelendiğinde; sistemin ilk kurulum tutarından bir yıllık elektrik faturası tutarı çıkarıldığında her iki sisteminde kendisini amorti edemediği görülmektedir (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.11. İkinci yılın sonunda ekonomik analiz

2. Yılın Analizi	Tutarlar	Kazanç Durumu
Standart MPPT sistem	934.160 ₺	558.320 ₺ ZARAR
Batarya otonomu sistem	1.054.160 ₺	678.320 ₺ ZARAR
Şebeke elektriği için ödenecek tutar	375.840 ₺	

İkinci yılın analize bakıldığında sistemin ilk kurulum tutarından kalan tutardan bir yıllık elektrik faturası daha düşüldüğünde her iki sisteminde kendisini amorti edemediği görülmektedir (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.12. Üçüncü yılın sonunda ekonomik analiz

3. Yılın Analizi	Tutarlar	Kazanç Durumu
Standart MPPT sistem+akü yenileme	978.320 ₺	602.480 ₺ ZARAR
Batarya otonomu sistem	678.320 ₺	302.480 ₺ ZARAR
Şebeke elektriği için ödenecek tutar	375.840 ₺	

Üçüncü yılda standart MPPT sistemimizdeki bataryalar düzenli olarak şarj ve deşarj olamadığı için ömürlerini doldurmaktadır. Bu nedenle standart MPPT sistemimizin

ilk kurulum tutarından kalan tutara batarya yenileme masrafı da eklenmiştir. Üçüncü yılın analize bakıldığında da her iki sisteminde kendisini amorti edemediği görünmektedir (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.13. Dördüncü yılın sonunda ekonomik analiz

4. Yılın Analizi	Tutarlar		Kazanç Durumu
Standart MPPT sistem	602.480 ₺	226.640 ₺	ZARAR
Batarya otonomu sistem	302.480 ₺	-73.360 ₺	KÂR
Şebeke elektrik için ödenecek tutar	375.840 ₺		

Dördüncü yılın analizine bakıldığında sistemin ilk kurulum esnasında kalan tutardan bir yıllık elektrik faturası daha çıkarıldığında standart MPPT sistemin 226.640 ₺ zarar ettiği görülmektedir. Fakat batarya otonomu içeren sistem kendisini amorti ederek 73.360 ₺ kara geçmiştir (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.14. Beşinci yılın sonunda ekonomik analiz

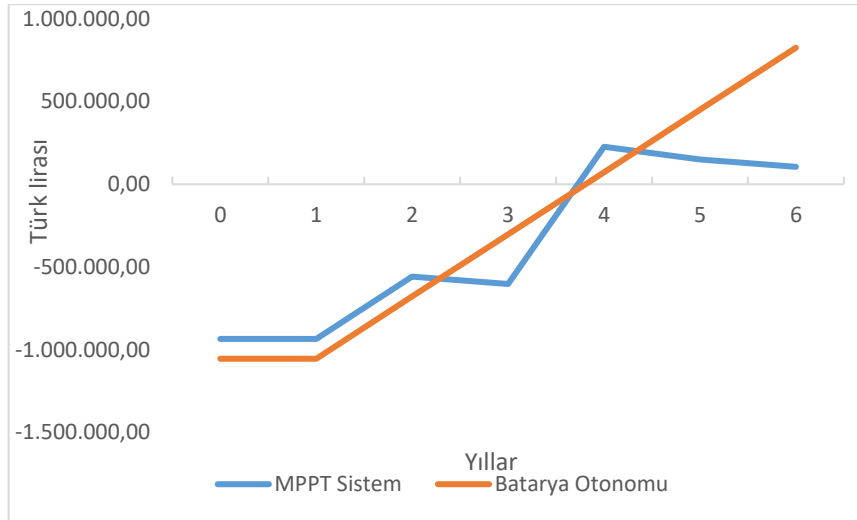
5. Yılın Analizi	Tutarlar		Kazanç Durumu
Standart MPPT Sistem	226.640 ₺	-149.200 ₺	KÂR
Batarya Otonomu Sistem	-73.360 ₺	-449.200 ₺	KÂR
Şebeke Elektrik İçin Ödenecek Tutar	375.840 ₺		

Beşinci yılın analizine bakıldığında standart MPPT sistemin 149.200 ₺, batarya otonomu içeren sistem 449.200 ₺ kar etmiştir (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.15. Altıncı yılın sonunda ekonomik analiz

6. Yılın Analizi	Tutarlar		Kazanç Durumu
Standart MPPT sistem+akü yenileme	270.800 ₺	-105.040 ₺	KÂR
Batarya otonomu sistem	-449.200 ₺	-825.040 ₺	KÂR
Şebeke elektrikli için ödenecek tutar	375.840 ₺		

Altıncı yılın analizine bakıldığında standart MPPT sistemin batarya masrafı tekrar ortaya çıktığı için 105.040 ₺ kar etmektedir. Fakat batarya otonomu içeren sistem 825.040 ₺ kar etmiştir (Çizelge 4.15). Özet olarak değerlendirmek gerekirse; Şekil 4.3.'de de görüleceği üzere, dördüncü yıldan itibaren batarya otonom sistemi kar etmeye başlamış ve bu durum süreklilik göstermiştir.



Şekil 4.3. Yıllara göre kar zarar durumları

Yiğit ve ark. (2022) tarafından kurşun asit bataryalar üzerinde bir çalışma gerçekleştirilmişler. Bu çalışmada, mevcut çalışmamızdan farklı olarak seri bağlantıda oluşan gerilim farklarının aktif ve pasif dengeleme ile çözüme kavuşturulması amaçlanmıştır. Bu çalışmada bataryanın dengeli bir şekilde şarj olması aşırı ısınmayı önlediği ve sonuç olarak batarya performansının artırıldığı görülmektedir. Fakat bu araştırma, çalışmamızda ele aldığımız bataryaların tam şarj ve deşarj edilmesi, ortam koşullarının kontrol edilmesi karakteristik özelliklerini kapsamamaktadır. Gerçekleştirdiğimiz çalışma bataryanın gerilim dengelemesi ve aşırı ısınmasının önlenmesi yanında şarj ve deşarj döngülerinin sistematik kontrolünü de yapmaktadır. Yeni alınmış bir batarya ile ömrünün bir miktarını tüketmiş bir batarya aynı değerleri vermediği için Yiğit ve ark. (2022) çalışmasında bir ara yüz ve programlanabilir bir işlemci-yazılım olmaması sistemin kullanılabilirliğini azaltmaktadır. Bu çalışma ile kıyaslandığında çalışmamızın avantajı istenildiğinde bir bilgisayar vasıtasıyla güncellenebildiği ve sonuç olarak batarya otonomu sürekli güncel tutulabilmekte ve donanım değişikliği de gerektirmediği için ek maliyet oluşturmamıştır.

Aslan ve ark. (2019) tarafından yapılan çalışmada, fotovoltaik panel destekli batarya şarj/deşarj devresi simülasyon ile tasarlanmış ve incelenmiştir. Fotovoltaik panellerden elde edilen enerjinin düzenlenmesi ve batarya şarj değer aralığında tutulması için yapılan devre tasarımı benzeşim programları vasıtasıyla değerlendirilmiştir. Bu sistemde güç elde etmek amacı ile, çalışmamızdan farklı olarak en yüksek güç ile şarj eden devre blokları kullanılmıştır. Bu sistemde elde edilen güç sürekli ve yüksek miktardadır. Diğer taraftan bu çalışma batarya sıcaklığı, şarj ve deşarj gibi değerleri

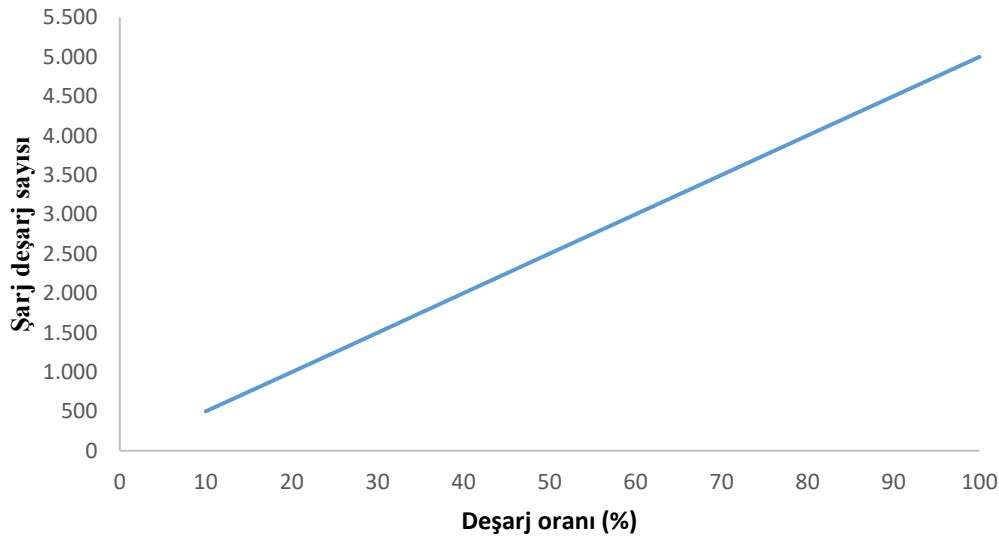
kontrol etmemektedir. Bunun yanında sistem güncellemesi gerektirdiği durumlarda donanım değişikliği maliyeti oluşacağı için sistemin ekonomik olmama gibi bir dezavantajı mevcuttur.

Kıvrak ve ark. (2020) tarafından gerçekleştirilen farklı bir çalışmada; dört hücreli batarya paketi için pasif hücre dengeleme batarya yönetim sistemi tasarlanmış ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Batarya yönetim sisteminde yazılım ve donanım ana ve yardımcı birim mantığıyla tasarlanmıştır. Batarya hücrelerinden gelen veriler okunarak ana yazılım ve donanıma iletilmektedir. Bu veriler karşılaştırılarak batarya hücrelerinin gerilim dengelemesi ve yönetimi gerçekleştirilir. Her bir hücreden akım, gerilim ve sıcaklık verileri kontrol edilerek şarj işlemi gerçekleştirilebilmektedir. Deneysel bir uygulama ile de sistemin hatasız çalıştığı gösterilmiştir. Ancak bu çalışma sadece bir bataryanın kendi içindeki hücreleri arasındaki dengeleme konusu ile sınırlı kalmaktadır. Gerçekleştirdiğimiz çalışmada ise hücresel şarj, deşarj ve sıcaklık kontrolü yapmamaktadır. Sahada kullanılan off grid sistemlerde birden fazla bataryanın üretim koşullarına uygun ortam şartlarında tam olarak doldurulması ve tam olarak boşaltılması gerekmektedir. Bu çalışma hücresel bazda hazırlandığı için çalışmamıza oluşturulan sistemin aksine yüksek gerilim ve akımlara uygun olmadığı için çalışmamıza kıyasla dezavantajlı olarak değerlendirilebilir.

Özay ve ark. (2019) tarafından gerçekleştirilen diğer bir çalışmada lityum ion batarya paketi simülasyon ortamında modellenmiştir. Seri bağlı batarya paketlerinde tüm hücreler aynı ortam koşullarında bulunamamaktadır. Bu durum hücrelerin şarj ve deşarj koşullarını etkilemektedir. Çeşitli yöntemler kullanılarak Matlab programı vasıtasıyla sistem modellemesi yapılmıştır. Fakat bu sistem yalnızca lityum iyon bataryalar için tasarlanmıştır. Gerçekleştirdiğimiz çalışmada geliştirilen batarya otonomu sistemi gerekli yazılım güncellemeleri yapılarak lityum iyon bataryaları da kapsayacak şekilde geliştirilebilmektedir ve aynı zamanda batarya otonomu ortam nem ve sıcaklık unsurlarını kontrol edebildiği için avantajlı olarak değerlendirilebilmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Batarya otonomu ile gerçekleştirilen deneyler ve ekonomik analizler incelendiğinde batarya otonomu yapılan sistemlerin dördüncü yılsonunda kara geçtiği ve kendini amorti ettiği görülmektedir. Altıncı yılsonunda ise diğer sistemlere kıyasla ciddi bir farkla kar oranının artacağı hesaplanmıştır. Ayrıca DOD (Şekil 5.1) grafiğinde görüldüğü üzere, sürekli %10 seviyesinde tutulan bir batarya 500 döngü sağlamadığı görülmektedir. Bataryalar %50 seviyesinde deşarj edilir ise döngü sayısı 2500, deşarj oranı %100 seviyelerinde olur ise yani tamamen deşarj edilip tekrar şarj edilir ise döngü sayısı yaklaşık 5000 olmaktadır. Bu rakamlarda grafik batarya otonomunun önemini işaret etmektedir. Çalışmada gerçekleştirilen analizler ve mevcut verilerin değerlendirilmesi ile eğer bataryalar üretim koşullarında belirtilen tam şarj ve tam deşarj döngülerinde kullanılırsa ömürlerinin normalin çok üzerine çıkacağı görülmektedir.



Şekil 5.1. Batarya şarj-deşarj sayısının deşarj oranına göre değişimi

Off-grid güneş enerjili tasarımlarda kârlılığını artırmak ve kısa sürede sistem ilk yatırım maliyetlerini amorti edebilmek için batarya otonomu gerektiği görülmektedir. Bir batarya yönetim sistemi bataryayı takip ederek aşırı şarj deşarj durumlarına karşı korumalıdır ve bataryanın durumunu tahmin ederek performansını en üst seviyeye çıkarmalıdır. Mevcut çalışmadan elde edilen veriler ışığında hazırlanan tabloda MPPT ve batarya otonomunun özellikleri verilmiştir. (Çizelge 5.1), yenilenebilir enerji

kaynaklarının daha uzun süre ve yüksek verimlilikte çalışabilmelerinin sağlanması için yazılım ve donanım açısından farklı çalışmaların yapılması önerilmektedir.

Çizelge 5.1. Altıncı yılın sonunda ekonomik analiz

Sistem özellikleri	Batarya Otonomu	MPPT Şarj Kontrol Ünitesi
Batarya dolunca şarjı kesme	Evet	Evet
Batarya boşalınca kadar deşarj etme (Şarj etmeksizin)	Evet	Hayır
En düşük deşarj değerini koruma	Evet	Hayır
Ortam sıcaklık kontrolü	Evet	Hayır
Ortam nem kontrolü	Evet	Hayır
Şarj ve yük için otomatik batarya seçimi	Evet	Hayır

EK-1**Yazılım**

```
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  pinMode (9,OUTPUT);
  pinMode (10,OUTPUT);
  pinMode (11, OUTPUT);
  pinMode (12,OUTPUT);
  pinMode (8,OUTPUT);
  pinMode (7,OUTPUT);
  pinMode (6,OUTPUT);
  pinMode (5,OUTPUT);
```

Bu aşamaya kadar 5,6,7,8,9,10,11 ve 12 yolları OUTPUT yani ÇIKIŞ olarak atanmıştır.

```
pinMode (A0,INPUT);
pinMode (A1,INPUT);
pinMode (A2,INPUT);
pinMode (A3,INPUT);
```

Bu aşamaya kadar A0, A1, A2 ve A3 yolları çıkış INPUT olarak tanımlanmıştır.

```
Serial.begin (9600);
digitalWrite (5,HIGH);
digitalWrite (6,HIGH);
digitalWrite (7,HIGH);
digitalWrite (8,HIGH);
digitalWrite (9,HIGH);
digitalWrite (10,HIGH);
digitalWrite (11,HIGH);
digitalWrite (12,HIGH);
```

Bu aşamaya kadar 5,6,7,8,9,10,11 ve 12 yolları ON pozisyonuna alınmıştır.

```
}
void loop() {
  // bos 10.0 boss 11.5
  // aku2_bos =12.0 aku2_boss 12.1
  //aku1_dolu
  //aku2_dolu
  //aku3_dolu
  //aku4_dolu
```

Bu aşamada batarya tanımları yapılmıştır.

```

value=analogRead (analogInput);
vout= (value*5.0)/1024.0;
vin1 = (vout/ (R2/(R1+R2)))*0.97;
aku1=vin1;
value1=analogRead (analogInput1);
vout1= (value1*5.0)/1024.0;
vin2 = (vout1/ (R2/(R1+R2)))*0.97;
aku2=vin2;
aku3deger();
aku4deger();
delay(1111);
roleoku();
// 1.BATARYA YÜKTE
while (aku1>bos && durum1!=LOW)
{ Serial.println ("-----");
digitalWrite (8,LOW); // 1.BATARYA YÜKTE
digitalWrite (7,HIGH); // DİĞERLERİNİ ASLA YÜKE VERME
digitalWrite (6,HIGH);
digitalWrite (5,HIGH);
digitalWrite (12,HIGH); //1. BATARYAYI ASLA ŞARJ ETME...
roleoku();
if (aku2<aku2_boss && aku1>bos &&durum1!=LOW && durum3!=LOW && durum4!=LOW)
{
do {
digitalWrite (11,LOW); //2.bataryayi şarja tak.
digitalWrite (12,HIGH);
digitalWrite (10,HIGH);
digitalWrite (9,HIGH);

Serial.println ("2.Batarya şarjda...");
aku2deger();

Serial.println ("1.Batarya Yükte... BATARYANIN DEĞERİ: ");
aku1deger();
if (aku1<bos)
{ break;
Serial.println ("1.BATARYA DEVREDEN ÇIKMALIII "); }
if (aku2>aku2_dolu)
digitalWrite (11,HIGH);

```

```

aku1deger();
aku2deger();
aku3deger();
aku4deger();
s

}

while (aku2<aku2_dolu);
if (aku2==aku2_dolu || aku2>aku2_dolu)
    { digitalWrite (11,HIGH);}

// // DENEME...
Serial.println ("1.Batarya Yükte... BATARYANIN DEĞERİ: ");
aku1deger();
aku2deger();
aku3deger();
aku4deger();
roleoku();
}

else if (aku3<boss && aku1>bos && durum1!=LOW && durum2!=LOW && durum4!=LOW)
{

do
{
digitalWrite (11,HIGH); // 2.BATARYAYI ŞARJDAN AL
digitalWrite (10,LOW); // 3. BATARYAYI ŞARJA AL
digitalWrite (12,HIGH);
digitalWrite (9,HIGH);

Serial.println ("3.batarya şarjda değeri: ");
aku3deger();

Serial.println ("1.Batarya Yükte... BATARYANIN DEĞERİ: ");
aku1deger();
if (aku1<bos)
break;
if (aku3>aku3_dolu)

```

```

        digitalWrite (10,HIGH);

aku1deger();
aku2deger();
aku3deger();
aku4deger();

    }
    while (aku3<aku3_dolu);
        if (aku3==aku3_dolu || aku3> aku3_dolu)
            { digitalWrite (10,HIGH);}
                aku1deger();
                aku2deger();
                aku3deger();
                aku4deger();
roleoku();
    }

    else if (aku4<boss && aku1>bos && durum1!=LOW && durum2!=LOW && durum3!=LOW)
    {
do
    {
digitalWrite (10,HIGH); // 3. BATARYAYI ŞARJDAN ÇIKAR
digitalWrite (9,LOW); // 4. BATARYAYI ŞARJA AL
digitalWrite (12,HIGH);
digitalWrite (11,HIGH);

        Serial.println ("4.batarya şarjda değeri: ");
        aku4deger();

        Serial.println ("1.Batarya Yükte.... BATARYANIN DEĞERİ: ");
        aku1deger();
        if (aku1<bos)
            break;
        if (aku4>aku4_dolu)
            digitalWrite (9,HIGH);

aku1deger();

```

```

aku2deger();
aku3deger();
aku4deger();

roleoku();

}
while (aku4<aku4_dolu);
if (aku4==aku4_dolu || aku4>aku4_dolu)
{ digitalWrite (9,HIGH);}

aku1deger();
aku2deger();
aku3deger();
aku4deger();

}
// 4. BATARYAYI ŞARJDAN ÇIKAR.

Serial.println ("1.Batarya Yükte.... BATARYANIN DEĞERİ");
aku1deger();

}

```

Son aşamada bataryaların bağlı olduğu girişler sırasıyla okunarak elde edilen dijital değer bir formül vasıtasıyla analog değere dönüştürülmüştür. Değer avometre ile kalibre edilerek akü voltaj değerleri sürekli denetlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Anonim 2020a, <https://www.enerjiportali.com/enerji-nedir-enerji-kaynaklari-nelerdir/> Ziyaret Tarihi; [25.12.2020].
- Anonim 2020b, <https://www.cografyaci.gen.tr/turkiyede-enerji-kaynaklari-nelerdir-ve-hangi-sehirlerde/> Ziyaret Tarihi; [28.12.2020].
- Anonim 2020c, <https://www.gelisenbeyin.net/yenilenebilir-enerji.html> Ziyaret Tarihi; [28.12.2020].
- Anonim 2020d, <https://www.indiamart.com/proddetail/loom-solar-on-grid-solar-system-21444936455.html> Ziyaret Tarihi; [28.12.2020].
- Anonim 2020e, <http://www.glassfiberopticcable.com/sale-10534637-20kw-smart-power-application-on-off-grid-solar-system-equipment-list-blue.html> Ziyaret Tarihi; [28.12.2020].
- Anonim 2020f, <https://mundasolar.com/2018/10/01/solar-aku-gunes-enerjisi-sistemi-jel-aku-secimi/> Ziyaret Tarihi; [25.12.2020].
- Anonim 2020g, <https://www.aliexpress.com/item/2033021164.html> Ziyaret Tarihi; [28.12.2020].
- Anonim 2020h, <https://www.outdojelaku.com/> Ziyaret Tarihi; [25.12.2020].
- Aslan F., Fotovoltaik Panel Destekli Batarya Şarj/Deşarj Devresi Tasarımı Ve Simülasyonu, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2019.
- Atalay, Ö., 2018. Fotovoltaik (PV) Güneş Enerjisi Sistemleri ve Çatı Uygulamaları. 8. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi.
- Bortolini, M. , Gamberi, M., Grasianni, A., 2014, Technical and economic design of photovoltaic and battery storage system, *Energy Conversion and Management*, (86) 2014, 81-92.
- Das, M. And Agarwall, V., 2014, A novel control strategy for stand-alone PV systems with enhanced, *2014 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition - APEC 2014*, 16-20 March 2014.
- Dunlop, J. P., Ferhi, N., 2001, Recommendations for maximizing battery life for photovoltaic system a review of lessons learned, *ASME 2001 Solar Engineering: International Solar Energy Conference (FORUM 2001: Solar Energy — The Power to Choose)*, April 2001.
- Glawin, M and Hurley, W. G., 2006, Battery Management System for Solar Energy Applications, *Proceedings of the 41st International Universities Power Engineering Conference*, 6-8 Sept. 2006.

- Gök, E., 2013, Renewable Energy Planning in Turkey with a Focus Hydropower, Degree of Master of Science Incivil Engineering , A Thesis Submitted To The Graduate School Of Natural And Applied Sciences Ankara: Middle East Technical University.
- Güven, A. F., 2018, Rüzgar ve Güneş Santralleri için MPPT Tasarımı ve Mikrodenetleyici ile Denetimi, 1-2.
- Hua, C. and Lin, J.R., 1996, DSP-based controller application in battery storage of photovoltaic system, *Proceedings of the 1996 IEEE IECON. 22nd International Conference on Industrial Electronics, Control, and Instrumentation*, Taipei, Taiwan,3,1705-1710.
- Jossen, A., 2000, Battery management systems (BMS) for increasing battery life time, *TELESCON 2000. Third International Telecommunications Energy Special Conference (IEEE Cat. No.00EX424)*, 10-10 May 2000.
- Kıvrak, S. & Özer, T. & Oğuz, Y., Design and Implementation of Battery Management System Based on Passive Balancing Method for Electric Vehicles Using STM32f103C8 Microcontroller. 20. 426-433. 10.35414/akufemubid.691456, 2020.
- Koç, E.,Şenel, M. C. 2013. Dünyada ve Türkiye’de enerji durumu-genel değerlendirme, *Mühendis ve Makine Dergisi*, Cilt 54, Sayı 639.
- Külekcı, Ö. C. (2009). Yenilenebilir Enerji Kaynakları Arasında Jeotermal Enerjinin Yeri ve Türkiye Açısından Önemi . *Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi* , 1 (2) , 83-91.
- Lalouni, S., Rekioua, D., Rekioua, T., Matagne, E., 2001, Fuzzy Logic Control Stand-Alone Photovoltaic System With Battery Storage, *Journal of Power Sources*, (193), 2, 899-907.
- Linden, D. and Reddy, T.B., 2002. Handbook of Batteries, Third Eddition, McGraw-Hill, Bölüm 22 ve 35.
- MMO, 2012. Türkiye’nin Enerji Görünümü, Ankara: TMMOB Makine Mühendisleri Mühendis ve Makine Dergisi, 54, (639), ss.32-44.Odası, Yayın No: MMO/588.
- Özay, O., Modelling And State Of Charge Estimation For Lithium-Ion Batteries, M.Sc. Thesis Istanbul Technical University, 2019.
- Şenel, M, C., 2012. Rüzgâr türbinlerinde güç iletim mekanizmalarının tasarım esasları dinamik davranış. Yüksek Lisans Tezi, Samsun: Ondokuz Mayıs Üniversitesi.
- Yiğit M. ve ark., Aktif ve pasif dengeleme yapabilen çoklu kurşun asit batarya yönetim sistemi tasarımı, KTO Karatay Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2022.