



**ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİNİN ADA ŞEBEKELERE KATKISININ
ANALİZİ**

Serdar AÇIKYILDIZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2022

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Serdar AÇIKYILDIZ

02/06/2022

ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİNİN ADA ŞEBEKELERE KATKISININ ANALİZİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Serdar AÇIKYILDIZ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2022

ÖZET

Yenilenebilir enerji kaynaklarının değişken çıkış güç karakteristiklerinden dolayı sürekli ve kararlı enerji sağlayamaması sebebiyle, enerji depolama sistemlerine duyulan ihtiyaç artmaktadır. Çeşitli nedenler ile sistem dengesi ve üretim gücü yüksek başka bir şebeke ile bağlantısı bulunmayan veya kısıtlı olan ada şebekeleri, yenilenebilir enerji ve enerji depolama sistemlerinin kullanımıyla kararlı ve verimli şekilde yük talebini karşılayabilir. Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti (KKTC), coğrafi açıdan bir adada bulunması ve kara bağlantısı olan Güney Kıbrıs Rum Yönetimi ile olan zayıf politik ve ekonomik ilişkileri sebebiyle, yüksek yenilenebilir enerji üretim potansiyeline rağmen, elektrik talebini dengeli ve verimli bir şekilde karşılayamamaktadır. KKTC'nin elektrik üretim ve tüketim değerleri, Serhatköy bölgesine göre ölçeklenerek yapılan bu çalışmada KKTC'nin güneş enerji potansiyelinden daha fazla yararlanılması ve bu amaç doğrultusunda enerji depolama sistemlerinin kullanılması durumları irdelenmiştir. Farklı senaryolarda yapılan simülasyonlarda mevcutta bulunan santralin enerji depolama sistemi ile birlikte kullanılması durumunda teknik gereksinimler karşılanırken maliyet bakımından avantaj elde edilebileceği, şebekeye duyulan ihtiyacın azaltılabileceği gösterilmiştir. Ayrıca, güneş enerjisinden elde edilen üretimin arttırılması durumunda ilave mali getirisinin elde edilebileceği gösterilmiştir.

Bilim Kodu : 90544

Anahtar Kelimeler : Enerji depolama, yenilenebilir enerji, akıllı elektrik şebekeleri

Sayfa Adedi : 149

Danışman : Prof. Dr. M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU

ANALYSIS OF THE CONTRIBUTION OF ENERGY STORAGE SYSTEMS TO
ISLAND GRIDS

(M. Sc. Thesis)

Serdar AÇIKYILDIZ

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2022

ABSTRACT

The need for energy storage systems is increasing due to the fact that renewable energy sources cannot provide continuous and stable energy due to their variable output power characteristics. Island grids, which are not connected or limited to another grid with high system balance and generation power for various reasons, can meet the load demand in a stable and efficient manner with the use of renewable energy and energy storage systems. Despite its high renewable energy generation potential, the Turkish Republic of Northern Cyprus (TRNC) cannot meet its electricity demand in a balanced and efficient manner due to its geographical location on an island and its weak political and economic relations with the Greek Cypriot Administration, which has a land connection. In this study, which was made by scaling the electricity production and consumption values of the TRNC according to the Serhatköy region, the situation of using the solar energy potential of the TRNC more and using energy storage systems for this purpose was examined. In the simulations made in different scenarios, it has been shown that if the existing power plant is used together with the energy storage system, an advantage in terms of cost can be obtained while meeting the technical requirements, and the need for the grid can be reduced. In addition, it has been shown that additional financial returns can be obtained if the production from solar energy is increased.

Science Code : 90544

Key Words : Energy storage systems, renewable energy, smart grids

Page Number : 149

Supervisor : Prof. Dr. Cengiz TAPLAMACIOĞLU

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sürecinde benden emeklerini esirgemeyen ve her zorluğumda yanımda olan danışmanın Prof. Dr. M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU'na teşekkür ederim.

Görev yaptığım ASELSAN'a, yüksek lisans tez çalışmaları için yapmış oldukları teşvik ve yardımları için teşekkür ederim.

Ayrıca manevi olarak her zaman desteklerini hissettiğim ve tez süresi boyunca yanımda olup varlıklarıyla destek olan ağabeyim Çağlar AÇIKYILDIZ'a ve babam Mihrali AÇIKYILDIZ'a teşekkür ediyorum. En özelini en sona saklayarak bugüne kadar hüznümde ve sevincimde bana hep kucağını açan değerli annem Cihan AÇIKYILDIZ'a tezimi armağan ediyorum.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. ELEKTRİK ENERJİSİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ.....	5
2.1. Elektrokimyasal Depolama Sistemleri	6
2.1.1. Lityum-iyon bataryalı enerji depolama sistemi	7
2.1.2. Vanadyum redox flow bataryalı enerji depolama sistemi	8
2.1.3. Kurşun-asit bataryalı enerji depolama sistemi.....	10
2.1.4. Sodyum sülfür (NaS) bataryalı enerji depolama sistemi	11
2.1.5. Sodyum nikel klorit (NANICL ₂) bataryalı enerji depolama sistemi	12
2.1.6. Nikel kadmiyum (NiCD) bataryalı enerji depolama sistemi	13
2.1.7. Hidrojen enerji depolama sistemi	14
2.2. Mekanik Enerji Depolama Teknolojileri.....	15
2.2.1. Sıkıştırılmış hava enerji depolama (SHED) sistemi	16
2.2.2. Hazneli pompalı hidroelektrik depolama sistemi	17
2.2.3. Volan sistemleri (fly-wheel)	19
2.3. Elektriksel Depolama Sistemleri.....	20
2.3.1. Süper (ultra) kapasitörler	20
2.3.2. Süper iletken manyetik bobin	21
2.4. Termal (Isıl) Enerji Depolama Sistemleri	22
2.5. Enerji Depolama Sistemlerinin Teknik Karakteristikleri.....	23

	Sayfa
2.6. Enerji Depolama Sistemlerinin Karşılaştırılması.....	27
3. ENERJİ DEPOLAMA SİSTEM UYGULAMALARI	35
3.1. Enerji Depolama Sistemlerinin Kullanıldığı Uygulamalara Özgü Avantajlar ...	36
3.1.1. Güç yoğun ve enerji yoğun uygulamalar.....	37
3.1.2. Kapasite yoğun ve enerji yoğun uygulamalar	37
3.1.3. Uygulamalar özelinde güç ve deşarj süreleri.....	38
3.2. Uygulama 1: Arbitraj	41
3.2.1. Uygulamanın faydaları ve diğer fonksiyonları	41
3.3. Uygulama 2: Tedarik (Üretim) Kapasitesi	42
3.3.1. Uygulamanın faydaları ve diğer fonksiyonları	43
3.4. Uygulama 3: Yük Takibi.....	43
3.4.1. Uygulamanın faydaları ve diğer fonksiyonları	44
3.5. Uygulama 4: Geniş Bölge Yönetimi	45
3.5.1. Teknik hususlar.....	45
3.5.2. Uygulamanın faydaları ve diğer fonksiyonlar	46
3.6. Uygulama 5: Rezerv Kapasitesi	46
3.6.1. Teknik hususlar.....	48
3.6.2. Uygulamanın faydaları ve diğer fonksiyonlar	49
3.7. Uygulama 6: Gerilim Desteği	49
3.7.1. Teknik hususlar.....	50
3.7.2. Uygulamanın faydaları ve diğer fonksiyonlar	50
3.8. Uygulama 7: İletim Desteği	50
3.8.1. Teknik hususlar.....	51
3.8.2. Uygulamanın faydaları ve diğer fonksiyonlar	51
3.9. Uygulama 8: Sıkışıklık Yönetimi.....	51

	Sayfa
3.9.1. Teknik hususlar.....	52
3.9.2. Uygulamanın faydaları ve diğer fonksiyonlar	52
3.10. Uygulama 9: Yatırım Öteleme	52
3.10.1. Teknik hususlar.....	53
3.10.2. Uygulamanın faydaları ve diğer fonksiyonlar	54
3.11. Uygulama 10: Hizmet Güvenilirliği.....	54
3.11.1. Teknik hususlar.....	54
3.11.2. Uygulamanın faydaları ve diğer fonksiyonlar	55
3.12. Uygulama 11: Güç Kalitesi	55
3.12.1. Teknik hususlar.....	55
3.12.2. Uygulamanın faydaları ve diğer fonksiyonlar	56
3.13. Uygulama 12: Üretim Öteleme (Zaman Kaydırma)	56
3.13.1. Teknik hususlar.....	56
3.13.2. Uygulamanın faydaları ve diğer fonksiyonlar	57
3.14. Uygulama 13: Şebeke Entegrasyonları	57
3.14.1. Teknik hususlar.....	58
3.14.2. Uygulamanın faydaları ve diğer fonksiyonlar	58
4. KKTC ELEKTRİK ŞEBEKESİ.....	61
4.1. Ada Şebeke Yapıları.....	61
4.2. Kurulu Güç	63
4.3. Üretim Ve Tüketim	65
4.4. Yenilenebilir Enerji	67
4.5. İletim	70
4.6. Dağıtım.....	71
4.7. Şebeke Mevzuatı	72

Sayfa

5. HOMER (ÇOKLU ELEKTRİKLİ YENİLENEBİLİR KAYNAKLARIN HİBRİT OPTİMİZASYONU)	75
5.1. Enerji Kaynakları	75
5.1.1. Jeneratör.....	75
5.1.2. Solar panel	76
5.1.3. Rüzgar türbini	77
5.1.4. Şebeke.....	77
5.2. Enerji Depolama Elemanları	78
5.2.1. Batarya.....	78
5.3. Dönüştürücüler	79
5.4. Kaynaklar	80
5.5. Analiz ve Optimizasyon	81
5.6. Sonuçlar.....	82
6. SERHATKÖY GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİ’NİN ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMİ İLE BİRLİKTE KULLANIMI.....	85
6.1. Hipotez	85
6.2. Simulasyon	85
6.2.1. Kıbrıs şebekesi tüketim verileri	86
6.2.2. Simulasyon parametreleri	88
6.3. Sonuçlar.....	91
6.3.1. Senaryo 1: 1,3MW PV, şebeke bağlı durum	91
6.3.2. Senaryo 2: 2,5 MW PV, şebeke bağlı durum	102
6.3.3. Senaryo 3: 5,6 MW PV, şebeke bağlı durum	113
6.3.4. Senaryo 4: 3,6 MW PV, şebekeden bağımsız durumu	125
7. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR.....	137

	Sayfa
7.1. Gelecekte Yapılabilecek Çalışmalar	141
KAYNAKLAR	143
ÖZGEÇMİŞ	149

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Lityum-iyon bataryaların avantajları ve dezavantajları	5
Çizelge 2.2. Redox-Flow bataryaların avantajları ve dezavantajları	7
Çizelge 2.3. Kurşun-asit bataryaların avantajları ve dezavantajları	7
Çizelge 2.4. Sodyum-sülfür bataryaların avantajları ve dezavantajları	8
Çizelge 2.5. Sodyum nikel klorit bataryaların avantajları ve dezavantajları	9
Çizelge 2.6. Nikel-kadmiyum bataryaların avantajları ve dezavantajları	9
Çizelge 2.7. Hidrojen enerji depolama sistemlerinin avantajları ve dezavantajları	10
Çizelge 2.8. Sıkıştırılmış hava enerji depolama sistemlerinin değerlendirilmesi	12
Çizelge 2.9. Hazneli pompalı hidroelektrik enerji depolama sistemleri	13
Çizelge 2.10. Süper kapasitör enerji depolama sistemlerinin değerlendirilmesi	15
Çizelge 2.11. Süper iletken manyetik enerji depolama sistemleri	15
Çizelge 2.12. Enerji depolama sistemlerinin karşılaştırılması	20
Çizelge 2.13. Enerji depolama sistemlerinin karşılaştırılması	21
Çizelge 2.14. Uygulamalar için farklı enerji depolama teknolojilerinin uygunluğu	22
Çizelge 3.1. Enerji depolama sistemi uygulamaları	25
Çizelge 3.2. Uygulamaya yönelik olarak güç değerleri	26
Çizelge 3.3. Depolama uygulamaları için uygulamaya yönelik olarak deşarj süreleri...	27
Çizelge 4.1. Ada şebekeleri zorluk ve problemler	42
Çizelge 4.2. YG trafo merkezleri ve gerilim seviyeleri	48
Çizelge 6.1. Senaryo 1 sistem mimarisi	64
Çizelge 6.2. Senaryo 1 net bugünkü maliyet	65
Çizelge 6.3. Senaryo 1 yıllık maliyet	66
Çizelge 6.4. Senaryo 1 üretim özeti	66
Çizelge 6.5. Senaryo 1 tüketim özeti	67

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.6. Senaryo 1 pv elektriksel özet	67
Çizelge 6.7. Senaryo 1 pv istatistikleri	67
Çizelge 6.8. Senaryo 1 depolama birimi özellikleri.....	68
Çizelge 6.9. Senaryo 1 depolama birimi sonuçları	68
Çizelge 6.10. Senaryo 1 depolama birimi istatistikleri	69
Çizelge 6.11. Senaryo 1 konvertör elektriksel özet	69
Çizelge 6.12. Senaryo 1 konvertör istatistikleri.....	70
Çizelge 6.13. Senaryo 1 şebeke elektriksel özet	70
Çizelge 6.14. Senaryo 1 yenilenebilir enerji özet	71
Çizelge 6.15. Senaryo 2 sistem mimarisi.....	72
Çizelge 6.16. Senaryo 2 net bugünkü maliyet	74
Çizelge 6.17. Senaryo 2 yıllık maliyet.....	74
Çizelge 6.18. Senaryo 2 üretim özeti	75
Çizelge 6.19. Senaryo 2 tüketim özeti	75
Çizelge 6.20. Senaryo 2 pv elektriksel özet	76
Çizelge 6.21. Senaryo 2 pv istatistikleri	76
Çizelge 6.22. Senaryo 2 depolama birimi özellikleri.....	76
Çizelge 6.23. Senaryo 2 depolama birimi sonuçları	77
Çizelge 6.24. Senaryo 2 depolama birimi istatistikleri	77
Çizelge 6.25. Senaryo 2 konvertör elektriksel özet	78
Çizelge 6.26. Senaryo 2 konvertör istatistikleri.....	78
Çizelge 6.27. Senaryo 2 şebeke elektriksel özet	79
Çizelge 6.28. Senaryo 2 yenilenebilir enerji özet	79
Çizelge 6.29. Senaryo 3 sistem mimarisi.....	80

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.30. Senaryo 3 net bugünkü maliyet	82
Çizelge 6.31. Senaryo 3 yıllık maliyet.....	83
Çizelge 6.32. Senaryo 3 üretim özeti	83
Çizelge 6.33. Senaryo 3 tüketim özeti	83
Çizelge 6.34. Senaryo 3 pv elektriksel özet	84
Çizelge 6.35. Senaryo 3 pv istatistikleri	84
Çizelge 6.36. Senaryo 3 depolama birimi özellikleri.....	84
Çizelge 6.37. Senaryo 3 depolama birimi sonuçları	85
Çizelge 6.38. Senaryo 3 depolama birimi istatistikleri	85
Çizelge 6.39. Senaryo 3 konvertör elektriksel özet	86
Çizelge 6.40. Senaryo 3 konvertör istatistikleri.....	86
Çizelge 6.41. Senaryo 3 şebeke elektriksel özet	87
Çizelge 6.42. Senaryo 3 yenilenebilir enerji özet	88
Çizelge 6.43. Senaryo 4 sistem mimarisi.....	90
Çizelge 6.44. Senaryo 4 net bugünkü maliyet	91
Çizelge 6.45. Senaryo 4 yıllık maliyet.....	92
Çizelge 6.46. Senaryo 4 üretim özeti	92
Çizelge 6.47. Senaryo 4 tüketim özeti	93
Çizelge 6.48. Senaryo 4 pv elektriksel özet	93
Çizelge 6.49. Senaryo 4 pv istatistikleri	93
Çizelge 6.50. Senaryo 4 depolama birimi özellikleri.....	94
Çizelge 6.51. Senaryo 4 depolama birimi sonuçları	94
Çizelge 6.52. Senaryo 4 depolama birimi istatistikleri	94
Çizelge 6.53. Senaryo 4 konvertör elektriksel özet	95

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.54. Senaryo 4 konvertör istatistikleri.....	95
Çizelge 6.55. Senaryo 4 yenilenebilir enerji özet	96

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Akıllı şebeke örneği	1
Şekil 1.2. RES, GES ve şebeke yük profilleri	2
Şekil 2.1. Elektrik enerjisi depolama sistemlerinin gruplandırılması	5
Şekil 2.2. Dünya genelinde kurulu depolama sistemi gücü	6
Şekil 2.3. Kimyasal enerji depolama sistemleri.....	7
Şekil 2.4. Akış bataryalı enerji depolama sistemi örnek konfigürasyonu	8
Şekil 2.5. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ile Hidrojen Enerji Depolama Sistemleri	13
Şekil 2.6. Sıkıştırılmış hava tabanlı enerji depolaması şematik gösterimi	15
Şekil 2.7. Hazneli pompalı hidroelektrik enerji depolaması şematik gösterimi	17
Şekil 2.8. Süper kapasitör enerji depolama sistemi	19
Şekil 2.9. Süper iletken manyetik enerji depolama sisteminin şematik gösterimi	20
Şekil 2.10. Isıl enerji depolama blok diyagramı	21
Şekil 2.11. Enerji depolama sistemlerinin karşılaştırılması	26
Şekil 3.1. Elektrik şebeke yönetmeliğine göre yedeklerin devreye girme sıralaması	42
Şekil 4.1. Kurulu gücün kurumlara göre dağılımı	56
Şekil 4.2. KKTC santral kurulum kronolojisi.....	56
Şekil 4.3. Kurulu gücün yıllara göre değişimi	57
Şekil 4.4. Kurulu gücün kaynaklara göre değişimi.....	57
Şekil 4.5. Yıllara göre KKTC üretim ve tüketim değerleri.....	58
Şekil 4.6. KKTC aylık elektrik tüketimi.....	59
Şekil 4.7. KKTC enerji üretim miktarı 2019 Ocak – 2020 Mart	59
Şekil 4.8. KKTC yıllık yenilenebilir enerji kurulumu (kW).....	61
Şekil 4.9. KKTC yenilenebilir enerjinin tüm üretim kaynaklarına oranı	61
Şekil 4.10. KKTC 2019 yılı tahmini yenilenebilir enerji üretimi	62

Şekil	Sayfa
Şekil 4.11. KKTC SCADA elektrik şebekesi	63
Şekil 5.1. Homer bileşenler.....	67
Şekil 5.2. Jeneratör çeşitleri.....	68
Şekil 5.3. Solar panel çeşitleri.....	68
Şekil 5.4. Rüzgar türbünü çeşitleri.....	69
Şekil 5.5. Batarya çeşitleri	70
Şekil 5.6. Batarya ekranı örnek görüntüsü.....	71
Şekil 5.7. Converter ekranı örnek görüntüsü	72
Şekil 5.8. Kaynaklar.....	72
Şekil 5.9. "Economics "ana ekran görüntüsü	73
Şekil 5.10. Constraints ana ekran görüntüsü.....	74
Şekil 5.11. “Sensitivity Cases” örneği	75
Şekil 5.12. “Optimization Cases” örneği	76
Şekil 6.1. Kıbrıs Serhatköy harita görüntüsü	78
Şekil 6.2. Kıbrıs Eylül ayı normalize edilmiş günlük tüketim değerleri	79
Şekil 6.3. Trafo ortalama yük eğrileri.....	80
Şekil 6.4. HOMER şebeke fiyat parametreleri	81
Şekil 6.5. HOMER PV parametreleri	81
Şekil 6.6. HOMER batarya parametreleri.....	82
Şekil 6.7. HOMER ekonomik parametreler-1	82
Şekil 6.8. HOMER ekonomik parametreler -2	82
Şekil 6.9. HOMER şebeke güvenilirlik parametreleri	83
Şekil 6.10. Senaryo 1 şematik şebeke gösterimi.....	83
Şekil 6.11. Senaryo 1 maliyet özeti	84
Şekil 6.12. Senaryo 1 depolama birimi şarj durumu.....	86

Şekil	Sayfa
Şekil 6.13. Senaryo 1 aylık ortalama elektrik üretimi	88
Şekil 6.14. Senaryo 1 ekonomik özet.....	88
Şekil 6.15. Senaryo 2 şematik şebeke gösterimi.....	89
Şekil 6.16. Senaryo 2 maliyet özeti-1	89
Şekil 6.17. Senaryo 2 maliyet özeti-2	90
Şekil 6.18. Senaryo 2 depolama birimi şarj durumu.....	92
Şekil 6.19. Senaryo 2 ekonomik özet.....	94
Şekil 6.20. Senaryo 3 Şematik Şebeke Gösterimi.....	94
Şekil 6.21. Senaryo 3 maliyet özeti-1	95
Şekil 6.22. Senaryo 3 maliyet özeti-2	95
Şekil 6.23. Senaryo 3 depolama birimi şarj durumu.....	98
Şekil 6.24. Senaryo 3 şebekeden alınan enerji.....	99
Şekil 6.25. Senaryo 3 şebekeye satılan enerji	99
Şekil 6.26. Senaryo 3 ekonomik özet.....	100
Şekil 6.27. Senaryo 3 aylık ortalama elektrik üretimi	100
Şekil 6.28. Senaryo 4 şematik şebeke gösterimi.....	101
Şekil 6.29. Senaryo 4 maliyet özeti-1	101
Şekil 6.30. Senaryo 4 maliyet özeti-2	102
Şekil 6.31. Senaryo 4 depolama birimi şarj durumu.....	104
Şekil 6.32. Senaryo 4 toplam yükün anlık yenilenebilir çıkış oranı (%)	105
Şekil 6.33. Senaryo 4 ekonomik özet.....	106
Şekil 6.34. Senaryo 4 aylık ortalama elektrik üretimi	106
Şekil 7.1. Depolama Kapasitesi - PV Kapasitesi	109
Şekil 7.2. Net Maliyet - Sermaye Maliyeti	109
Şekil 7.3. Yatırımın geri dönüşü	110

Şekil**Sayfa**

Şekil 7.4. Senaryo kıyaslama tablosu	110
--	-----

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

kW

Kilowatt

kWh

Kilo-watthour

GW

Giga-Watt

°C

Santigrat

Kısaltmalar

Açıklamalar

BESS

Batarya enerji yönetim sistemi

BMS

Batarya yönetim sistemi

DOD

Depth of Discharge

EMS

Enerji yönetim sistemi

EDS

Enerji depolama sistemi

KKTC

Kuzey Kıbrıs Türkiye Cumhuriyeti

LI-ION

Lityum-İyon

MW

Mega watt

PV

Fotovoltaik

SOC

Batarya doluluk oranı

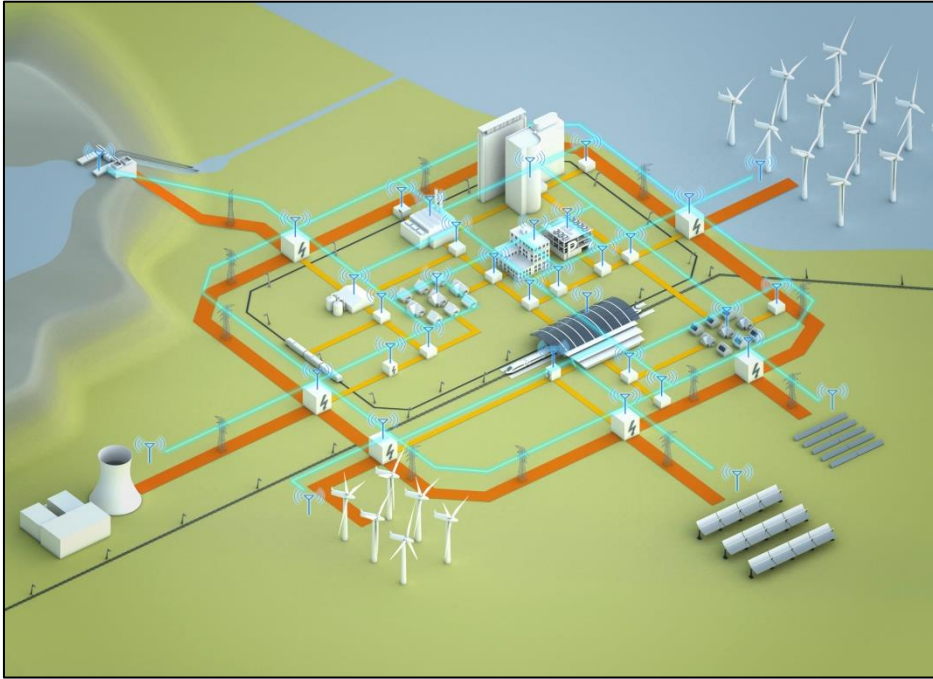
SOH

Batarya sağlık durumu

1. GİRİŞ

Büyük güce sahip geleneksel elektrik üretim santrallerine dayalı şebeke altyapısının gelecekteki ihtiyaçlara sürdürülebilir ve verimli bir şekilde cevap veremeyeceği ve çevre kirliliğini arttıracakı düşünülmektedir. Bunun sebeplerinde başlıcaları, klasik şebekelerin enerji kaynaklarına bağımlı olması ve üretilen gücün tek yönlü akmasıdır. Gelecekte artan ihtiyaçların karşılanması amacıyla detaylı veri akışına ve çok yönlü yük akışına uygun altyapıyı sağlayacak akıllı şebeke kavramı ortaya çıkmıştır.

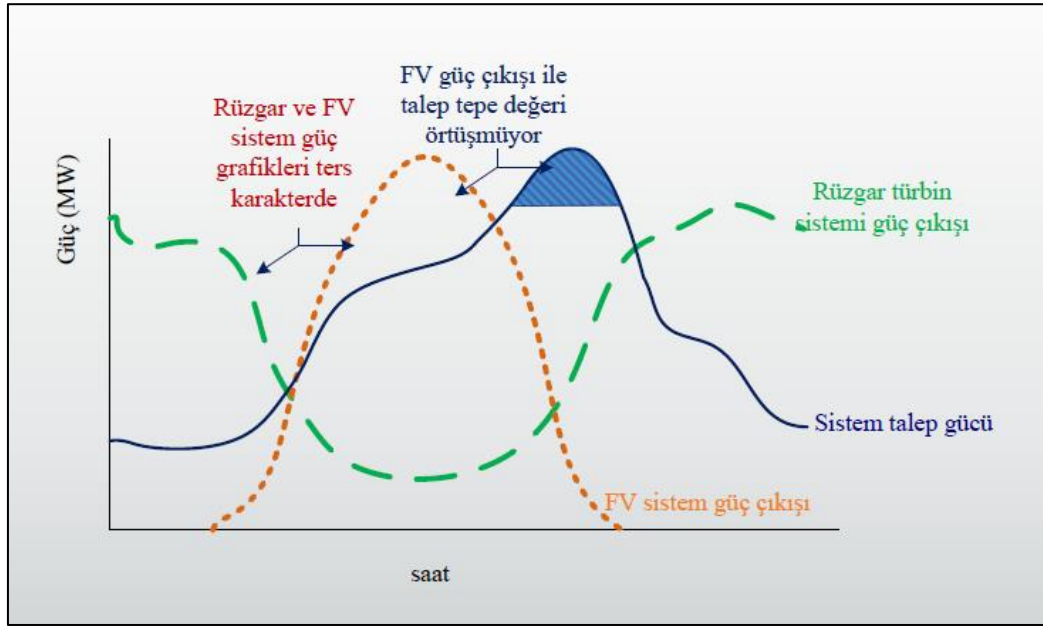
Son zamanlarda dünya genelinde yenilenebilir enerji sistemlerine geçiş oldukça hızlanmıştır. Temel sebeplerden birisi geleneksel enerji üretim yöntemlerinin doğaya verdikleri zararların hızla artmasıdır. Ülkeler arasında yapılan, Paris İklim Anlaşması gibi anlaşmalar sonucu ülkeler, geleneksel yöntemlere göre daha doğa dostu ve daha verimli olan yenilenebilir enerji sistemlerine yönelmişlerdir.



Şekil 1.1. Akıllı şebeke örneği [1]

Yenilenebilir enerji kaynakları, değişken çıkış güç karakteristiği sebebiyle sürekli ve kararlı enerji sağlayamadıklarından, toplam üretimin yalnızca bir kısmını oluşturacak şekilde kullanılabilirler. Güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynakları, kontrol edilemez ve tahmin edilmesi güç bir girişe bağımlı olduklarından enerjiye olan talebe göre artırılıp azaltılamaz ve zamana yayılamaz özelliktedirler. Bu sebeple yenilenebilir enerji

kaynaklarına bağılı enerji üretimi ve enerji tüketimi arasında dengesizlik oluşabilmektedir. Bu olumsuz niteliklerin giderilmesi için enerji depolama sistemleri bir alternatiftir. Enerji depolama sistemlerinin kullanılmasıyla şebeke gerilim ve frekansının kabul edilebilir sınırlar içerisinde tutulması sağlanabilir.



Şekil 1.2. RES, GES ve şebeke yük profilleri [2]

Enerji depolama sistemleri, sürdürülebilir, verimli ve güvenli enerji sağlanabilmesi için, yenilenebilir enerji kaynakları tarafından üretilen enerjiyi, ihtiyaç anında kullanmak üzere depolayabilir.

Yenilenebilir enerji kaynakları ile üretilen enerjinin tek başına kullanılması durumunda oluşan kısıtlar, olumsuz etkiler, yenilenebilir enerji teknolojilerinin günden güne gelişmesi, mikro şebeke uygulamalarının artması enerji depolama teknolojilerinin önem kazanmasına sebep olmuştur.

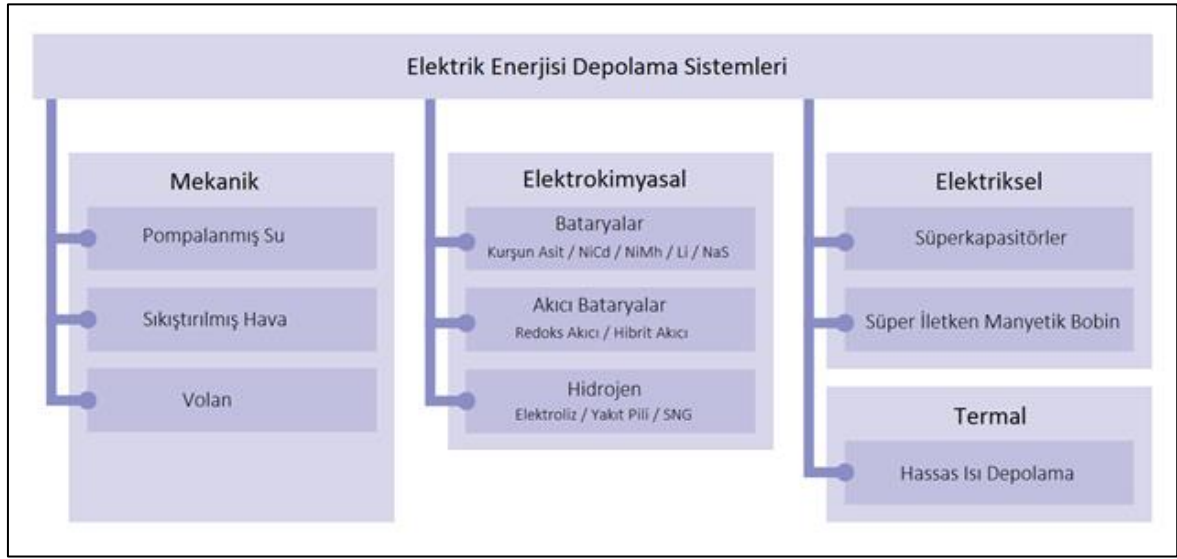
Yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji depolama sistemleri ile birlikte kullanımına dair literatürde birçok çalışma yapılmıştır. Uğur Yılmaz [3] gerçekleştirdiği çalışmasında Gökçeada'nın elektrik ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak karşılanması konusunu, birden fazla simülasyon aracı kullanarak incelemiştir. Yapılan analizler sonucunda bu tasarımın teknik olarak mümkün ve ekonomik olarak uygun olabileceği değerlendirilmiştir. Yıldız Kalıncı [4] Homer Pro yazılımını kullanarak Bozcaada'nın enerji

ihtiyacının yapılacak bir rüzgar/şebeke/hibrit sistemi ile karşılanması konusunda yaptığı incelemelerde, bu seçeneğin mevcut düzene göre daha az maliyetli olacağını ortaya çıkartmıştır. Andrew Stiel ve Maria Skyllas-Kazacos [5] rüzgar enerjisi ve generatörler kullanılan bir sistemin vanadyum-redoks batarya ile birlikte kullanımında çevresel ve finansal anlamda iyileşmeler olacağını değerlendirmişlerdir. Niraj Garimella ve Nirmal-Kumar C. Nair [6] çalışmalarında NiCd, NiMH ve Li-Ion bataryaları incelemiş, yenilenebilir enerji sistemleri ile birlikte kullanımda maliyet açısından en uygun batarya tipinin Li-Ion olduğunu ortaya koymuşlardır. Rodolfo Dufo-López ve José L. Bernal-Agustí tarafından yapılan çalışmada [7], bir otel ve elektrikli araç şarj istasyonu yükünün, sadece şebekeden karşılandığı durum ve enerji depolama sistemi ile şebekenin birlikte kullanılarak karşılandığı durum karşılaştırılmıştır. İnceleme sonucunda enerji depolama sistemi kullanan çözümün, ekonomik olarak daha kazançlı olduğu görülmüştür. Nikolas Chatzigeorgiou, Stavros Afxentis, Konstantina Panagiotou ve George E. Georghiou [8], güneş enerji santrallerinin dengesiz üretimlerinin şebekede yaratacağı kararsızlık problemini, Kıbrıs için incelemişlerdir. Evlerin çatılarında yer alan güneş panelleri tarafından üretilen enerji, batarya kullanımı sayesinde üretildiği yerde tüketilmiştir. Böylece şebekeye verilen ve şebekeden alınan enerji azalmış, kararsızlık problemi giderilmiştir. Loiy Al-Ghussain, Remember Samu, Onur Taylan ve Murat Fahrioglu [9] yaptıkları çalışmada, Kıbrıs için sadece güneş, güneş-hazneli pompalı hidroelektrik depolama sistemi, güneş-hidrojen enerji depolama sistemi ve güneş-hazneli pompalı hidroelektrik depolama sistemi-hidrojen enerji depolama sistemi olmak üzere 4 farklı enerji senaryosu irdelenmiştir. Yapılan analizlerde güneş-hazneli pompalı hidroelektrik depolama sistemi-hidrojen enerji depolama sistemi kullanılan sistem tüketim ile eşleşmeyi en arttırmış ve üretimdeki yenilenebilir enerji oranını 36,2%'den 45,4%'e çıkartmıştır. F. Maltini, R. Minder [10], PVSYST uygulamasını kullanarak yaptığı simülasyon ve analizlerde Kıbrıs'ta bulunan Serhatköy Güneş Enerji Santralinin ekonomik analizini yapmış ve bu santralinin Kıbrıs'ın enerji ihtiyacını karşılamakta faydalı olacağı ve dolaylı yoldan gayrisafî milli hasılayı arttıracacağı sonucuna ulaşmıştır.

Bu tez çalışmasında, bahsedilen çalışmalardan farklı olarak Kıbrıs elektrik şebekesi Serhatköy güneş enerji santrali ölçeğinde modellenmiş, Kıbrıs'ın mevcut elektrik ihtiyacının karşılanmasında daha fazla oranda yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılabilmesi için enerji depolama sistemlerinin etkisi incelenmiştir. Birden fazla senaryo için simülasyon ve tekno-ekonomik analizler gerçekleştirilmiştir.

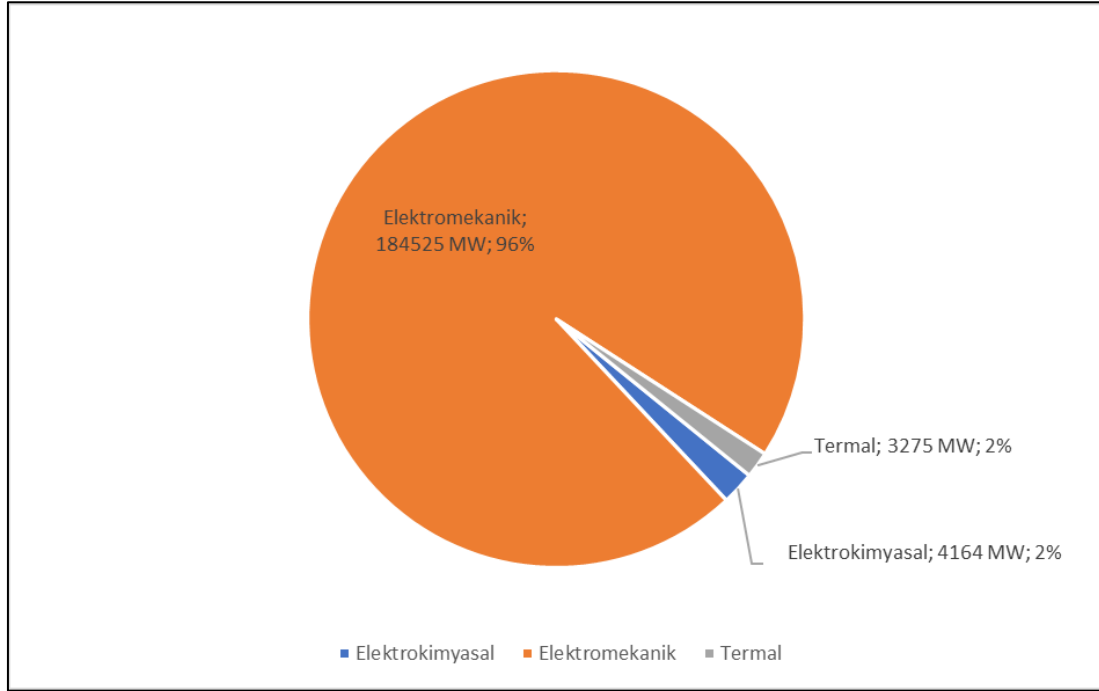
2. ELEKTRİK ENERJİSİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ

Enerji depolama teknolojileri; elektrik güç sistemlerini iyileştirmek, yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimini artırmak ve ulaşım sektöründe petrol türevi yakıtlara alternatifler sunmak için büyük bir potansiyele sahiptir. Enerji depolama sistemleri mekanik, elektrokimyasal, elektriksel ve termal enerji depolama sistemleri olarak sınıflandırılmaktadır.



Şekil 2.1. Elektrik enerjisi depolama sistemlerinin gruplandırılması [11]

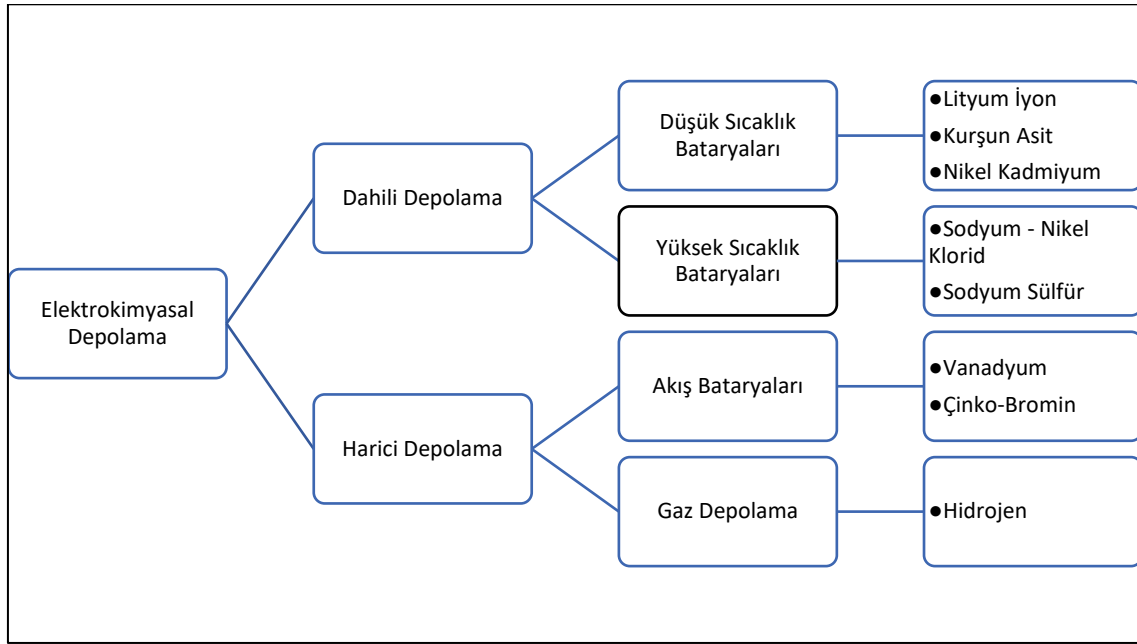
Amerikan Enerji Departmanı (U.S. DOE) tarafından toplanan verilere göre dünya çapında kurulu depolama sistemi kapasitesinin büyük çoğunluğu (% 96) mekanik depolama iken diğer % 2'si elektrokimyasal, %2'si ise termal depolamayı içermektedir.



Şekil 2.2. Dünya genelinde kurulu depolama sistemi gücü [12]

2.1. Elektrokimyasal Depolama Sistemleri

Kimyasal tepkime sonucunda ortaya çıkan enerjiye kimyasal enerji adı verilmektedir. Batarya ve aküler kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren düzeneklerdir. Batarya ve akülerde elektrik enerjisinin depolanması kimyasal yöntemlerle yapılmaktadır. Elektrokimyasal depolama sistemleri dahili ve harici olarak ikiye ayrılmaktadır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Kimyasal enerji depolama sistemleri

2.1.1. Lityum-iyon bataryalı enerji depolama sistemi

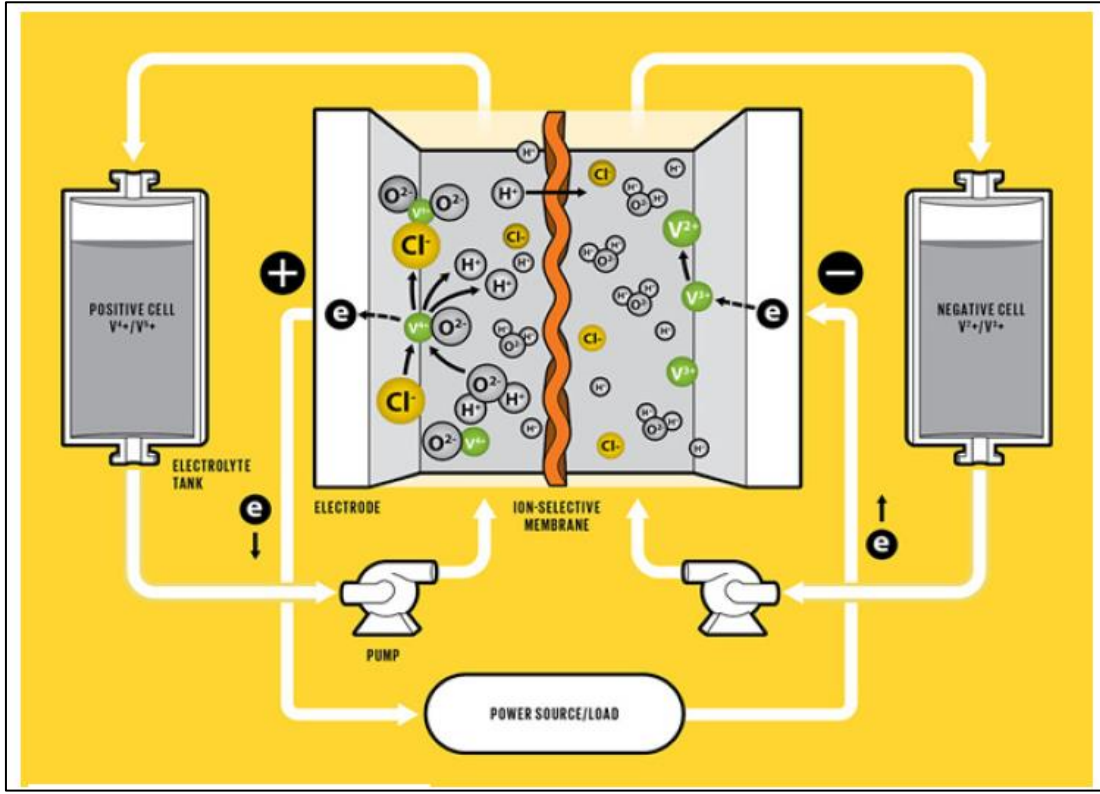
Kimyasal depolama teknolojileri arasında yaygın olarak kullanılan sistemlerden birisi Lityum-İyon bataryalardır. İlk lityum-iyon bataryalar, cep telefonları gibi küçük ölçekli uygulamalarda, tüketici elektroniği için kullanılmıştır. Yapılan geliştirmeler sayesinde günümüzde elektrikli araçlarda ve büyük ölçekli şebeke enerji depolama uygulamalarında kullanılmak üzere ölçeklendirilebilmektedirler. Şebeke ölçeğinde kullanımlarda en çok kullanılan Lityum-İyon batarya çeşidi Lityum nikel mangan kobalt oksittir (NMC) [13].

Çizelge 2.1. Lityum-iyon bataryaların avantajları ve dezavantajları [14]

Avantajlar	Dezavantajlar
Yüksek özgül enerji ve yüksek yük kapasitesi	Isıl sürüklenmeyi önlemek için koruma devresi ihtiyacı
Uzun çevrim ve raf ömrü	Yüksek sıcaklıkta ve yüksek gerilimde bozulma
Yüksek kapasite, düşük iç direnç, yüksek verim	Hızlı şarj özelliği olmama
Basit şarj algoritması ve makul şarj süresi	Yüksek miktartlı taşımalarda regülasyonlara tabi olma

2.1.2. Vanadyum redox flow bataryalı enerji depolama sistemi

Akış bataryaları (Redox Flow), enerjiyi bataryanın katot (pozitif) ve anot (negatif) taraflarını içeren hücre yığınlarının dışındaki tanklarda tutulan sıvı elektrolitte depolamaktadır. Diğer akışlı batarya türlerinden farklı olarak, vanadyum redox flow bataryalarda bataryanın hem pozitif hem de negatif tarafında aynı elektrolit solüsyonunu kullanır ve neredeyse sonsuz sayıda tekrarlanabilir elektrokimyasal süreç sağlamaktadır [13].



Şekil 2.4. Akış bataryalı enerji depolama sistemi örnek konfigürasyonu [14]

Vanadyum redoks flow bataryalar, Lityum-iyon bataryalara göre daha uzun kullanım ömrüne sahiptir. Bozulmadan 20 yıl veya daha uzun süre kesintisiz çalışabilirler. Lityum-iyon bataryalara göre daha kolay ölçeklenmelerini sağlayan esnek bir tasarıma sahiptir. Yanıcı maddeler içermedikleri için güvenlik açısından da yüksek bir standart sağlamaktadırlar. Birkaç kW'dan MW seviyelerine kadar güç ve 10 saate kadar depolama sürelerine sahip enerji depolama uygulamaları için idealdir [15].

Redox flow bataryalar, diğer batarya çeşitlerine kıyasla, özellikle yüksek güç ve düşük enerji kapasitesi gerektiren uygulamalarda, daha düşük bir hacimsel enerji yoğunluğuna sahiptir [15]. Bunun nedeni, akış için gerekli olan bileşenler sebebiyle bataryanın daha az kompakt hale gelmesidir.

Çizelge 2.2. Redox-Flow bataryaların avantajları ve dezavantajları [15]

Avantajlar	Dezavantajlar
Uzun Hizmet Süresi: Redox Flow bataryalar, bozulma olmadan sınırsız sayıda çevrim ile 20 yıllık bir kullanım süresi sunmaktadır.	Karmaşıklık: Redox Flow bataryalar, pompa, sensör, akış ve güç yönetimi ve ikincil bir muhafaza gerektirmektedir.
Çok Yönlülük: Birbirinden bağımsız tasarlanabilen batarya çıkış gücü ve kapasitesi ile esnek tasarımlara imkân tanır. Ayrıca hem uzun hem de kısa deşarj sürelerini karşılayabilecek tek bir sistem tasarımı ile uygun maliyetli kurulumlara imkan vermektedir.	Düşük Enerji Yoğunluğu: Diğer batarya tipleri ile karşılaştırıldığında redox flow bataryalar düşük enerji yoğunluğuna sahiptirler.
Yüksek Güvenlik: Normal sıcaklıklar altında çalışabilmekte ve yanıcı olmayan alev geciktirici malzemelerden oluşmaktadır.	

2.1.3. Kurşun-asit bataryalı enerji depolama sistemi

Kurşun asit bataryalar şarj edilebilir batarya teknolojisinin en eski şeklidir. Tipik uygulamaları acil durum güç kaynağı sistemleri, fotovoltaiik üretime sahip bağımsız sistemler, yenilenebilir enerjiden kaynaklanan çıkış gücü dalgalanmalarını azaltmak için kullanılan batarya sistemleri ve içten yanmalı motorların marş uygulamalarıdır. Kurşun-asit bataryalar şebeke ölçeğinde enerji depolamaya uygulamalarında, mobil araçlarda, ticari binalarda ve endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadırlar.

Çizelge 2.3. Kurşun-asit bataryaların avantajları ve dezavantajları [16]

Avantajlar	Dezavantajlar
Düşük maliyet ve basit üretim süreci	Düşük özgül enerji, zayıf enerji/ağırlık oranı
Birim kWh başına düşük maliyet	Yavaş şarj: Tamamen şarj olması 14-16 saat sürebilmektedir.
Yüksek özgül güç, yüksek deşarj akımlarına uygun	Sülfatlaşmayı önlemek için şarjlı durumda saklama ihtiyacı vardır.
Düşük ve yüksek sıcaklıklarda iyi performans	Sınırlı çevrim ömrü; tekrarlanan derin deşarj-şarj durumları batarya ömrünü azaltmaktadır.
	Suyla kaplı tip için su ekleme gereksinimi
	Suyla kaplı tip için nakliye kısıtları
	Olumsuz çevresel etki

2.1.4. Sodyum sülfür (nas) bataryalı enerji depolama sistemi

Sodyum-Sülfür (NaS) batarya, sodyum ve sülfürden yapılmış bir tür erimiş metal içerikli bataryadır. Yüksek enerji yoğunluğuna, yüksek şarj ve deşarj verimliliğine (% 89-% 92) ve uzun bir çevrim ömrüne sahiptir ve ucuz malzemelerden imal edilmektedir. Bununla birlikte, 300 ° C – 350 ° C arasında yüksek çalışma sıcaklıklarına sahiptir ve ürettikleri sodyum polisülfidler oldukça aşındırıcıdır [15].

Sodyum-Sülfür bataryalar dağıtım şebekesi desteği, rüzgar enerjisi entegrasyonu ve yüksek kapasiteli şebeke hizmetleri için tercih edilen bir teknoloji türüdür. Bu teknoloji, uzun deşarj süreleri (6 saate kadar) nedeniyle şebeke hizmetlerinde kullanım potansiyeline sahiptir [17].

Çizelge 2.4. Sodyum-sülfür bataryaların avantajları ve dezavantajları [15]

Avantajlar	Dezavantajlar
Düşük maliyet potansiyeli: Ucuz hammadde ve mühürlü, bakım gerektirmeyen konfigürasyon	300 °C'nin üzerinde işletilme zorunluluğu
Yüksek çevrim ömrü	Suya maruz kaldığında yanıcı olan metalik sodyumun oldukça reaktif doğası
Yüksek güç ve enerji yoğunluğu	Sızıntıyı önlemek için kapalı bir yapı inşa etmenin ekstra maliyeti
Esnek çalışma: Çok çeşitli koşullarda işlevsel hücreler (hız, deşarj derinliği, sıcaklık)	Sıkı operasyon ve bakım gereksinimleri
Yüksek verimlilik	
Ortam koşullarına duyarsızlık	
Kolay tanımlanabilen şarj durumu(State of Charge)	

2.1.5. Sodyum nikel klorit (NANICL₂) bataryalı enerji depolama sistemi

Na / NiCl₂ bataryalar, esas olarak nikel (Ni) ve sodyum klorürden (NaCl) oluşan bir pozitif elektrot ve tipik olarak sodyum (Na) oluşan bir negatif elektrot arasında meydana gelen elektrokimyasal şarj / deşarj reaksiyonlarına dayanan bir enerji depolama sistemidir [18].

Elektrotlar, sodyum iyonları için iletken ancak elektronlar için bir yalıtkan olan bir beta-alümina seramik duvar ile ayrılmaktadır. Beta-alümina seramik duvar bir elektrolit görevi görmektedir ve sodyum iyonlarının anot ve katot arasında iletilmesini sağlamaktadır. Batarya sıcaklığı, elektrotları erimiş halde tutmak için 270 ° C ile 350 ° C arasında tutulmaktadır. Dolayısıyla harici ısıtıcılar batarya sisteminin bir parçası olmaktadır.

Çizelge 2.5. Sodyum nikel klorit bataryaların avantajları ve dezavantajları [18]

Avantajlar	Dezavantajlar
Yüksek sıcaklıklara dayanım	300 °C'nin üzerinde işletilme zorunluluğu
Yüksek çevrim ömrü	Maliyet
Kısa yanıt süresi	Tehlikeli madde içeriği
Uzun deşarj süresi	Zorlu kurulum gereksinimi
Oldukça yüksek teknolojik olgunluk seviyesi	

2.1.6. Nikel kadmiyum (nacd) bataryalı enerji depolama sistemi

Nikel kadmiyum ve nikel metal hidrür bataryaların verimlilikleri diğer nikel bazlı bataryalardan düşük olmasına rağmen en yaygın kullanılan tiplerdir [19]. Ni-Cd bataryalar yerine birçok uygulamada, özellikle Ni-MH adı verilen küçük, şarj edilebilir bataryalar kullanılmaktadır. Ni-MH bataryalar 30 mAh ila 250 Ah aralığında tasarım esnekliği, çevre dostu, düşük bakım gereksinimi, yüksek güç/enerji yoğunluğu ve şarj/deşarj döngüleri sırasında güvenli olmaları nedeniyle, birçok uygulama için uygundur. Nikel kadmiyum bataryalar yüksek enerji yoğunluğuna (50-75 Wh/kg), yüksek güvenilirliğe ve çok düşük bakım gereksinimlerine sahiptirler. Bunun yanı sıra nispeten uzun ömre (2000-2500 çevrim) sahiptirler. Kurşun asit bataryalara kıyasla sahip olduğu özellikler sayesinde elektrikli el aletleri, taşınabilir cihazlar, acil durum aydınlatmaları, UPS, telekomünikasyon ve generatör uygulamalarında kullanılırlar. Ni-Cd bataryaların dezavantajı, pahalı üretim işlemlerinden

dolayı nispeten yüksek maliyetleridir (1000 \$ / kWh). Ayrıca Kadmiyum, Ni-Cd pillerin imhasıyla ilgili sorunlar ortaya çıkan toksik ağır bir metaldir çevreye zararlı etkisi mevcuttur.

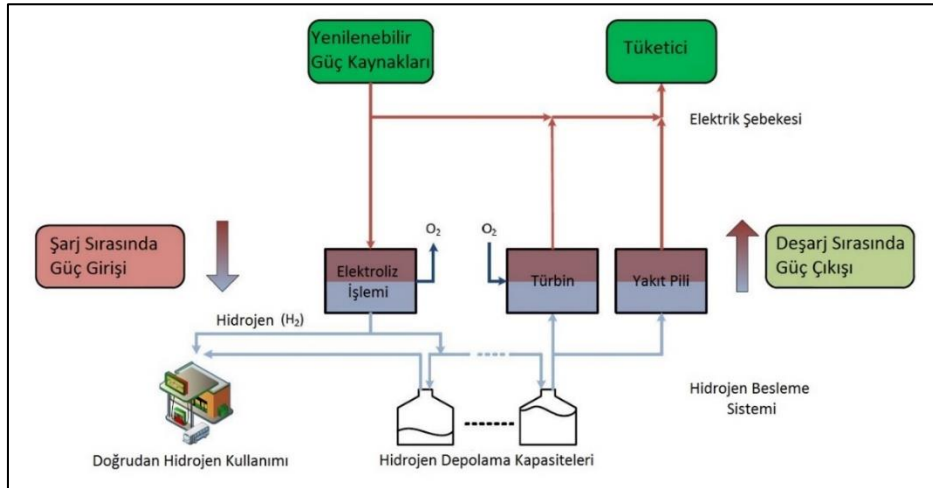
Çizelge 2.6. Nikel-kadmiyum bataryaların avantajları ve dezavantajları [19]

Avantajlar	Dezavantajlar
Yüksek çevrim sayısına	Yeni sistemlere kıyasla nispeten düşük özgül enerji
Ultra hızlı şarj imkanı	Bellek etkisi; periyodik olarak tam deşarj gerektirmektedir.
Uzun raf ömrü	Kendi kendine deşarj olma
Basit saklama ve nakliye imkanı	1.20V'luk düşük bir hücre gerilimi vardır. Daha yüksek gerilim elde etmek için birçok hücrenin birleştirilmesini gerektirir.
Düşük sıcaklıklarda iyi performans	
Ekonomiktir	
Çok çeşitli boyut ve performans seçeneği	

2.1.7. Hidrojen enerji depolama sistemi

Hidrojen, doğal gaz ve kömür gibi fosil yakıtlardan; biyokütle, su, güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından kimyasal, biyolojik, elektrolitik, fotolitik ve termo-kimyasal metotlar ile üretilebilmektedir [20].

Elde edilen hidrojen, farklı yapılardaki hidrojen tanklarında depolanabilmekte ve ihtiyaç olduğunda bir yakıt hücresi sistemi tarafından elektrik enerjisine çevrilerek yük talebinin karşılanması için kullanılabilir.



Şekil 2.5. Yenilenebilir enerji kaynakları ile hidrojen enerji depolama sistemleri [20]

Elektroliz yoluyla üretilen hidrojen tuz mağaralarında veya özel tanklarda depolanmaktadır. Depolanan hidrojen yanma türbinlerinde ya da yakıt pillerinde kullanılarak elektrik üretilmektedir. Hidrojen elektrik üretiminin yanı sıra doğrudan yakıt hücrelerinde veya ısı üretimi için hidrojen yakıtlı otomobillerde de kullanılmaktadır.

Çizelge 2.7. Hidrojen enerji depolama sistemlerinin avantajları ve dezavantajları [20]

Avantajlar	Dezavantajlar
Büyük miktarlarda enerji depolama yeteneği	Elektroliz için yüksek maliyet
Depolama için mağaraların kullanılabilmesi	Uzun dönemde depolamada verim düşüktür.
Elektroliz için suyun kullanılması	Dönüşüm için henüz hidrojen türbinleri mevcut değildir.

2.2. Mekanik Enerji Depolama Teknolojileri

Mekanik enerji, doğrusal ya da dönel hareketin kinetik enerjisi, yüksek bir cismin potansiyel enerjisi, elastik bir cismin sıkıştırma-gerdirmeye enerjisi ya da sıkıştırılmış gazlarda enerji olarak depolanabilir [5,6]. Mekanik enerji depolama sistemleri Hazneli Pompalı

Çizelge 2.8. Sıkıştırılmış hava enerji depolama sistemlerinin değerlendirilmesi

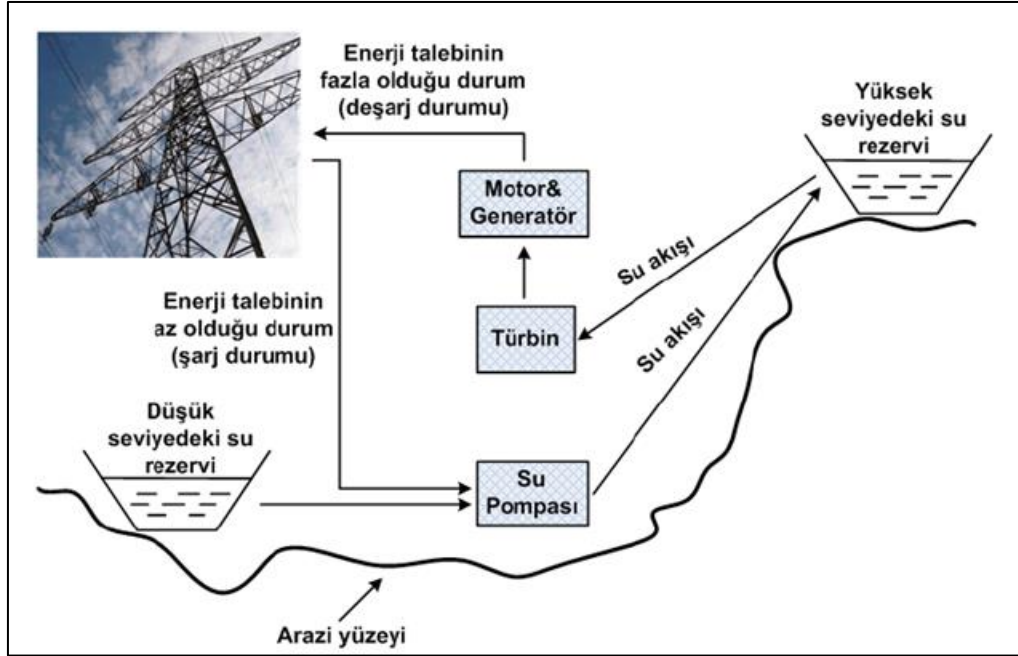
Avantajları	Dezavantajları
Düşük maliyetli enerji depolama (mağaralar)	Yer şekilleri ve konum gibi bazı jeolojik kısıtlamalar mevcuttur.
Yeraltı depolamaya bağlı olarak düşük yüzey üstü alanı	Yüksek yatırım maliyeti
Uzun rezervuar (mağara) ve güç sistemleri (kompresör, türbin) ömrü	Uzun yatırım geri dönüş süresi (>30 yıl)
Sıkıştırılmış havanın düşük sızıntı oranı	Sadece büyük güçlü tesislerin iletim sisteminden bağlantısında ekonomik olması
Çevreye doğal gaz kombine çevrim santrallerinden %30 daha az emisyon yayarlar	
Çok hızlı bir şekilde şebekeye bağlanabilirler.	

2.2.2. Hazneli pompalı hidroelektrik depolama sistemi

Hazneli pompalı hidroelektrik sistemler (pompaj depolamalı hidroelektrik santraller, PHES) enerji depolama sistemleri arasındaki en eski ve en geniş kullanıma sahip enerji depolama sistem türüdür. Hazneli pompalı hidroelektrik enerji depolama sistemleri yüksek verime sahip ve dünyadaki enerji depolama sistemlerinin, kapasite olarak %90'dan fazla kısmını oluşturan temel sistem olarak kullanılmaktadır [23] [24].

Geleneksel hazneli pompalı hidroelektrik sistemlerde dikey şekilde konumlanmış iki adet su rezervuarı bulunmaktadır. Düşük seviyedeki rezervde bulunan su enerji talebinin düşük üretimin yüksek olduğu zamanlarda pompalar vasıtasıyla düşük rezervuardan yüksek rezervuara çıkarılarak depolanmaktadır. Böylece talebin yüksek (puant) üretimin ise yetersiz

olduğu zamanlarda yüksek haznede depolanan su serbest bırakılarak borular vasıtasıyla türbinlere aktarıl原因 potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesi sağlanır ve türbinlerden geçen su, generatörler ile elektrik üretilmesini sağlar.



Şekil 2.7. Hazneli pompalı hidroelektrik enerji depolama sisteminin şematik gösterimi

Hazneli pompalı hidroelektrik sistemler suyu rezerv etmelerine göre Kapalı çevrim hazneli pompalı hidroelektrik sistemler ve Açık çevrim hazneli pompalı hidroelektrik sistemler olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır [25].

Kapalı çevrim hazneli pompalı hidroelektrik sistemlerde bulunan 2 adet su rezervinin hiçbiri doğal bir su kaynağıyla bağlantılı değildir. Her iki su rezervi de yapay mevcut göllerden oluşmaktadır.

Hazneli pompalı hidroelektrik enerji depolama sistemlerinin avantaj ve dezavantajları Çizelge 2.9.'da verilmektedir.

Çizelge 2.9. Hazneli pompalı hidroelektrik enerji depolama sistemleri

Avantajları	Dezavantajları
Kanıtlanmış teknoloji	Düşük enerji yoğunluğu
Uzun kullanım ömrü	Coğrafi kısıtlar
Kendiliğinden boşalma kaybının az olması	Yüksek yatırım maliyetleri
Yüksek verimlilik	Uzun yatırım geri dönüş süresi (>30 yıl)
İmkanlar	Tehditler
Norveç ve İsveç gibi ülkelerde çok geniş potansiyel	Uzun onay işlemleri
	Yüksek çevresel standartlar
Diğer depolama teknolojileri ile karşılaştırıldığında depolama maliyetleri çok rekabetçi	Merkezi olmayan depolama sistemlerinin artan rekabeti
	Hidroelektrik kullanımının daha rekabetçi olması
	Şebekeye bağlantı için yüksek güç gereksinimleri

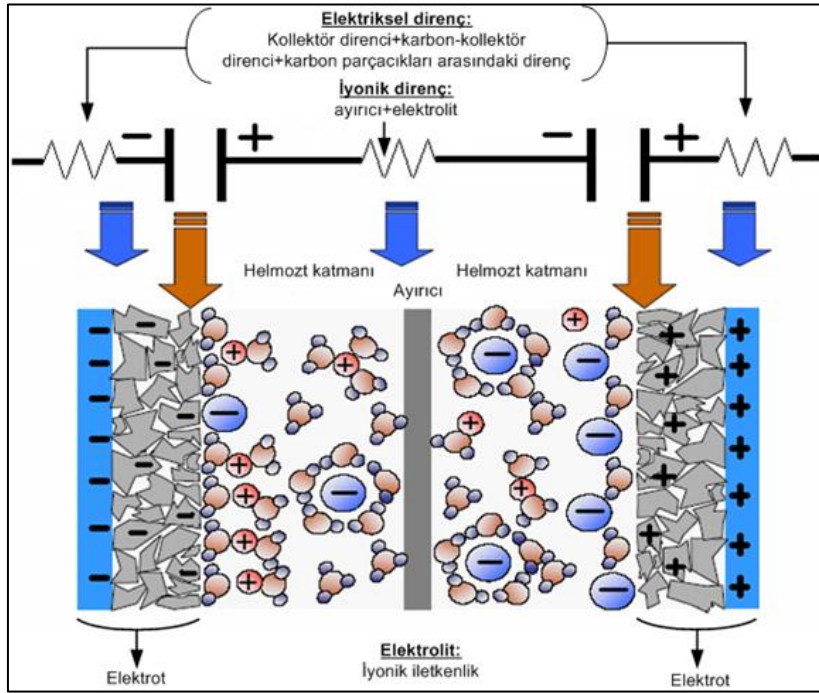
2.2.3. Volan sistemleri (fly-wheel)

Volan sistemi ile kinetik enerjinin depolanması bilinen en eski enerji depolama yöntemlerinden biridir. Volan çarkına gömülmüş olan mıknatıslar, dönüş sırasında bobinlerin üzerinden geçerler. Volanın üzerindeki bu mıknatıslar, dönüş sırasında bobinlerin üzerinde gerilim indüklenir. Böylece volanın dönüş enerjisi, elektrik enerjisine çevrilmiş olur.

2.3. Elektriksel Depolama Sistemleri

2.3.1. Süper (ultra) kapasitörler

Kapasitörler enerjiyi pozitif ve negatif elektrostatik yüklerin ayrışmasıyla depo eden cihazlardır. Kapasitörler iki tane iletken plaka ile bunları ayıran ve dielektrik olarak adlandırılan yalıtkanlardan oluşmaktadır. Klasik kapasitörlerin güç yoğunlukları çok yüksektir (yaklaşık olarak 10^{12} W/m³). Ancak enerji yoğunlukları çok düşüktür (yaklaşık olarak 5 Wh/m³). Süper kapasitörlerde iki elektrot, katı dielektrik malzeme yerine iyonlarla zenginleştirilmiş sıvı bir elektrolit tarafından ayrılmaktadır. Süper kapasitörler temel olarak, elektrik enerjisinin depolandığı elektro-kimyasal çift katmanlı bir yapı üzerinde çok sayıda yüzeyel elektrotlardan ve bir ayırıcı yüzeyden oluşmaktadır (Şekil 2.9) [26].



Şekil 2.8. Süper kapasitör enerji depolama sistemi

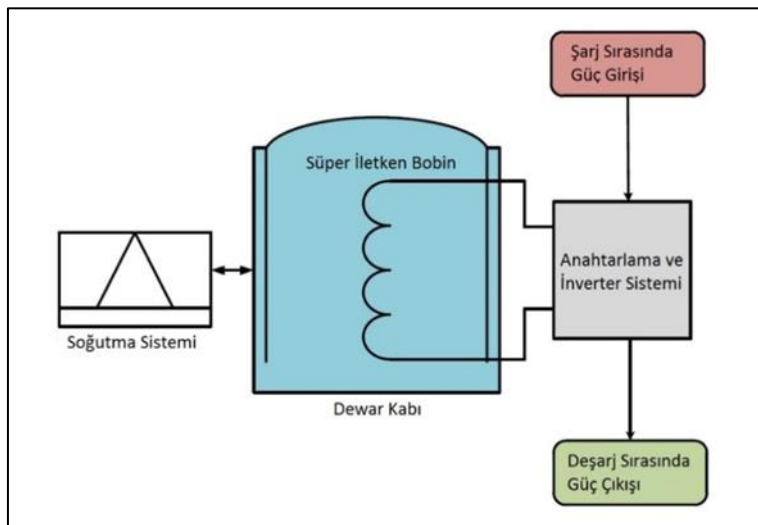
Süper kapasitör enerji depolama sistemlerinin avantaj ve dezavantajları Çizelge 2.10'da verilmektedir.

Çizelge 2.10. Süper kapasitör enerji depolama sistemlerinin değerlendirilmesi

Avantajları	Dezavantajları
Yüksek Verim	Düşük enerji yoğunluğu
Yüksek güç kapasitesi	Üretilen birim enerji başına maliyetleri daha yüksek
Uzun ömürlü olması	
İmkanlar	Tehditler
Yüksek güç talebinin olduğu uygulamalarda kullanılabilirler.	Yüksek güç talebinin olduğu uygulamalarda büyük güçlü Li-İyon bataryalarla birlikte kullanılabilirler.

2.3.2. Süper iletken manyetik bobin

Süper iletkenler ile enerji depolama sistemleri temel olarak, süper iletken bobin içerisindeki akan akım ile oluşan manyetik alan içerisinde enerjinin depolanması ilkesine dayanmaktadır [20].



Şekil 2.9. Süper İletken Manyetik Enerji Depolama Sisteminin Şematik Gösterimi [21]

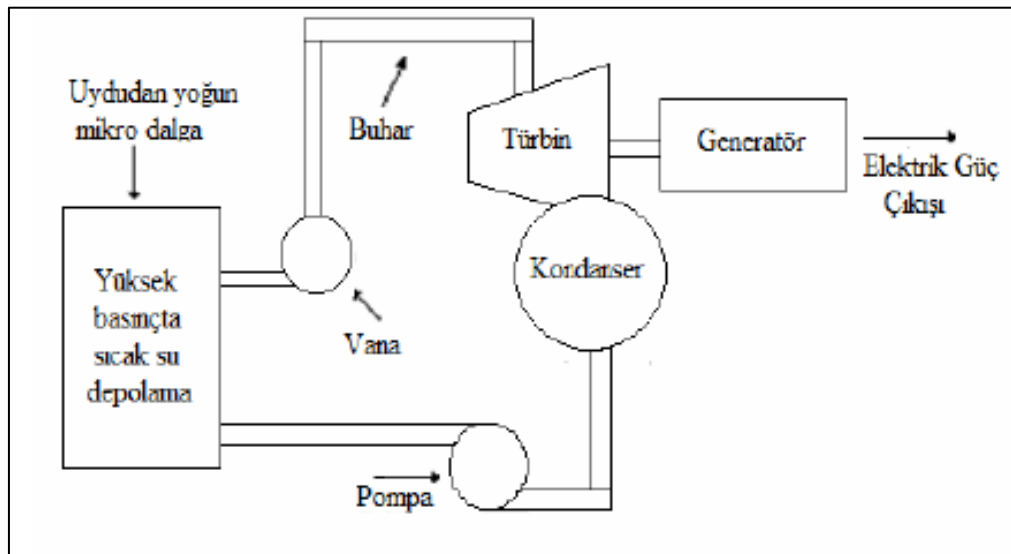
Süper iletken manyetik enerji depolama sistemlerinin avantaj ve dezavantajları Çizelge 2.11’de verilmektedir.

Çizelge 2.11. Süper iletken manyetik enerji depolama sistemleri

Avantajları	Dezavantajları
Yüksek güç kapasitesi	Yüksek soğutma talebi
Uzun ömür	Süper iletkenlerde hammadde pahalılığı
Hızlı tepki süresi	Karmaşık inverter tasarımı ve ölçüm devreleri
Yüksek verimlilik	Yüksek maliyet

2.4. Termal (Isıl) Enerji Depolama Sistemleri

Mevcut yenilenebilir enerji teknolojileri arasında güneşten sağlanan enerji termal olarak depolanabilmektedir. Bu sistemlerde enerji, belirli bir sıcaklık değerinde katı halde bulunan materyalin sıvı hale geçmesi ve sıvı haliyle depolanması ilkesine dayanmaktadır.



Şekil 2.10. Isıl enerji depolama blok diyagramı [28]

Isı enerjisi depolaması, kullanım süresine göre kısa süreli depolama (gece-gündüz) ve uzun süreli depolama (yaz-kış mevsimleri) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kullanım amacına ve sıcaklığına göre sıcak depolama, soğuk depolama veya her iki amaç için sıcak ve soğuk depolama da yapılabilir. Uzun dönem depolama ile hedeflenen, yazın sıcaklığını depolayıp kışın kullanmak veya kışın soğukluğunu depolayıp yazın kullanmaktır.

2.5. Enerji Depolama Sistemlerinin Teknik Karakteristikleri

- Depolama Sistemi Güç Değeri ve Deşarj Süresi:

Bir depolama sisteminin boyutu belirlenirken, ele alınması gereken iki temel kriter güç ve depoladığı enerji miktarıdır. Güç, sistemin enerji sağlayabileceği hızı göstermektedir. Enerji, yüke verilebilecek veya kaynaktan toplamda çekilebilecek enerji miktarı ile ilgilidir. Pratik anlamda, depolanan enerji miktarı, sistemin nominal gücünde (çıkış) tüm enerjisini boşaltabileceği süreyi, dolayısıyla deşarj süresini belirler [27].

- Depolama Sistemi Gücü:

Güç, diğer bir ifade ile enerjinin aktarılma hızıdır. Depolama teknolojilerinden bağımsız olarak tüm sistemlerin mevcut şarj kapasitelerini doldurmak veya boşaltmak için bağlı bulunduğu şebekeye güç vermesi veya şebekeden güç çekmesi gerekmektedir. Şebekeden çekilecek veya şebekeye verilecek güç limiti ise sistemin nominal şarj/deşarj gücü olarak tanımlanır. Özellikle bataryaların şarj veya deşarj gücü kabiliyeti genellikle şarj seviyesine ve sıcaklığa göre değişmektedir. Farklı bataryaların şarj ve deşarj gücü kabiliyetlerinin karşılaştırılabilmesi için şarj oranı(C-Rate) değerleri kullanılmaktadır. C-Rate, güç çıkışının/girişinin bataryanın enerji kapasitesine göre normalleştirilmiş halidir. Örneğin, 5 kW ile şarj/deşarj olan bir 10kWh bataryanın C2 veya 0,5C hızında şarj/deşarj olduğu söylenir veya 20kW ile şarj/deşarj olan bir 10kWh bataryanın C0,5 veya 2C hızında şarj/deşarj olduğu söylenir. Yüksek C-Rate'e sahip bataryalar, kapasitelerini hızlı bir şekilde şarj edebilmekte veya boşaltabilmektedirler [27].

- Depolama Sistemi Acil Durum Güç Kapasitesi:

Bazı depolama sistemi türleri, nispeten kısa süreler için (örneğin birkaç dakikadan 30 dakikaya kadar) yüksek bir hızda (örneğin, nominal gücünün 1,5 ila 2 katı) deşarj

olabilmektedirler. Örneğin NaS batarya türleri kısa süreler için nominal gücünün iki katı çıkış gücü sağlayabilmektedirler [27].

Bu özellik, genellikle ekipmanın "acil durum" çıkış gücü olarak anılır, kısa süreler için yüksek güç çıkışına acil bir ihtiyaç içeren nadiren ortaya çıkan durumlar varsa önemlidir. Diğer bir önemli nokta, daha yüksek hızda deşarj gerçekleşirken, depolama verimliliği azalmakta ve depolama ekipmanı hasarı artmaktadır. Dolayısıyla, basit bir ifadeyle, acil durum güç özelliğine sahip depolama sistemleri, düzenli olarak ortaya çıkan bir ihtiyaca hizmet etmek için gereken nominal güç miktarını sağlamak için kullanılabilirken, aynı depolama, nadiren ortaya çıkan acil ihtiyaçlar için ek güç sağlayabilir ve birden fazla amaca hizmet edebilir [27].

- Deşarj Süresi:

Deşarj süresi, depolamanın yeniden şarj edilmeden nominal çıkış gücünde deşarj olabileceği süredir. Deşarj süresi, belirli bir uygulama için bir depolama sisteminin teknik uygulanabilirliğini ve depolama tesisi maliyetini etkileyen önemli bir kriterdir [27].

- Enerji ve Güç Yoğunluğu:

Güç yoğunluğu, belirli bir hacim veya kütleye sahip bir depolama sisteminden verilebilecek güç miktarıdır. Benzer şekilde, enerji yoğunluğu, belirli bir hacim veya kütleye sahip bir depolama cihazında depolanabilen enerji miktarıdır. Bu kriterler, alanın değerli veya sınırlı olduğu durumlarda ve/veya ağırlığın önemli olduğu durumlarda önem kazanmaktadır [27].

- Depolama Sisteminin Alan Gereksinimleri:

Enerji ve güç yoğunluğu ile yakından ilgili olan ve enerji depolama sistemi için ayak izi, depolama sisteminin alan gereksinimidir. Depolama teknolojisine bağlı olarak, taban alanı, özellikle yoğun şekilde kentleşmiş alanlarda zorluk çıkarabilmektedirler [27].

- Şarj-Deşarj Verimi (Round-trip efficiency):

Tüm enerji transferi ve dönüşüm süreçlerinde kayıplar vardır. Enerjinin depolanması işleminde de bu durum farklı değildir. Tam bir şarj-deşarj çevrimi boyunca bataryaya giren ve çıkan enerjilerin oranı şarj-deşarj verimidir. Enerji transferi sırasında beklenen kaybın tespiti için önemli bir parametredir [27].

- **Kapasite Kaybı:**

Çoğu enerji depolama sistemi kullanımla birlikte (her bir şarj-deşarj döngüsü sırasında) kısmen bozulmaya uğramakta yani başlangıç kapasitesini kaybetmektedir. Bu durum depolama sisteminin kapasite kaybı olarak tanımlanır.

Bozulma hızı, depolama teknolojisinin türüne, çalışma koşullarına ve diğer değişkenlere bağlıdır. Bu, özellikle elektrokimyasal bataryalar için önemli bir parametredir. Bazı depolama teknolojileri için, özellikle bataryalar, sistemin ne kadar boşaltıldığı da depolama sisteminin kullanım ömrünü etkilemektedir. Depolanan enerjinin küçük bir kısmını boşaltmak "sığ" birdeşarj olarak tanımlanırken ve depolanan enerjinin çoğunu veya tamamını boşaltmak "derin" birdeşarj olarak tanımlanmaktadır. Bu tür teknolojiler için, sığ birdeşarj, depolama sistemine derin birdeşarjdan daha az zarar vermektedir [27].

- **Cevap/Tepki Süresi:**

Depolama sistemi cevap süresi, sıfırdeşarj seviyesinden tamdeşarj durumuna geçmek için gereken süredir. Çoğu depolama türünün yanıt süresi birkaç saniye veya daha azdır [27].

- **Rampa Oranı (Ramp rate):**

Batarya sisteminin çıkış gücünün artma veya azalma hızıdır. Genel olarak, depolama sistemlerinin rampa oranları yüksektir [27].

- **Şarj Hızı:**

Şarj hızı, depolama sisteminin şarj edilebileceği hız, önemli bir kriterdir. Çoğu zaman modüler enerji depolamanın hizmet verebilmesi için yeniden şarj edilmesi gerekmektedir. Depolama sisteminin yeterince hızlı şarj edilememesi durumunda, gerekli hizmeti sağlamak için yeterli enerjiyi depolamış olmayacaktır. Çoğu durumda depolama sistemlerideşarj hızına benzer bir hızda şarj edilebilmektedirler. Bazı durumlarda ise şarj hızı daha hızlı veya daha yavaş olabilmektedir [27].

- **Enerji Tutma ve Bekleme Kayıpları:**

Enerji tutma süresi, depolama sisteminin şarj seviyesini sabit tuttuğu süredir. Enerji tutma kavramı, bazı depolama türlerinin kendi kendinedeşarj (self discharge) olma veya depolama

sistemi kullanımda değilken enerjiyi başka şekilde boşaltma eğilimi nedeniyle önemlidir. Genel anlamda, enerji kayıpları bekleme kayıpları olarak adlandırılabilir.

Elektro-kimyasal enerji depolama sistemleri genellikle kendi kendine deşarj olma eğilimindedirler. Bu kendi kendine deşarj durumu, enerji depolanırken meydana gelen kimyasal reaksiyonlardan kaynaklanmaktadır. Her kimyasal yapı türü, hem içerilen kimyasal reaksiyonlar hem de kendi kendine deşarj oranı açısından farklıdır. Enerjiyi depolamak için mekanik araçlar kullanan depolama türleri de enerji kaybına meyillidirler. Örneğin, sıkıştırılmış hava ile enerji depolama sistemlerinde ise rezervuardan kaçan hava nedeniyle bir miktar enerji kaybedilebilmektedir.

Depolama sistemi kendi kendine deşarj veya enerji kaybına meyilli olduğu ölçüde, enerji tutma süresi azalmaktadır. Bu kriter sık kullanılan depolama sistemleri için daha az önemlidir. Ancak seyrek kullanılan depolama sistemleri için (yani, kullanımlar arasında önemli bir süre bekleme modunda kalan) bu kriter çok önemli olabilmektedir [27].

- **Güç Dönüştürme Sistemleri:**

Çoğu enerji depolama türü, bir tür güç dönüştürme alt sistemi gerektirmektedir. Güç dönüştürme sistemi elektriğin istenilen form ve seviyede olması için gerekli tüm işlemleri gerçekleştirmektedir. Dahil edilen bir kontrol sistemi ile depolama sistemi çıkışını şebekeden gelen AC gerilim ile senkronize etmektedir. Düşük gerilim seviyesindeki DC çıkışlı depolama ünitelerinden çıkan güç, şebekeye aktarılmadan ve/veya yük tarafından kullanılmadan önce daha yüksek bir gerilim seviyesine ve AC dalga formuna dönüştürülmelidir. DC'den AC'ye dönüştürme, inverterler kullanılarak gerçekleştirilir. DC girişi gerektiren depolama ünitelerinin şarjı için kullanılan ve elektrik şebekesinden temin edilebilen formdan (yani nispeten yüksek gerilimden ve AC formdan) depolama sistemi tarafından ihtiyaç duyulan forma (daha düşük gerilime ve DC forma) dönüştürülmelidir. Bu işlem bir DC "güç kaynağı" olarak işlev görebilen bir güç dönüştürme ekipmanı aracılığıyla gerçekleştirilir [27].

- **Depolama Sistemi Reaktif Güç Kapasitesi:**

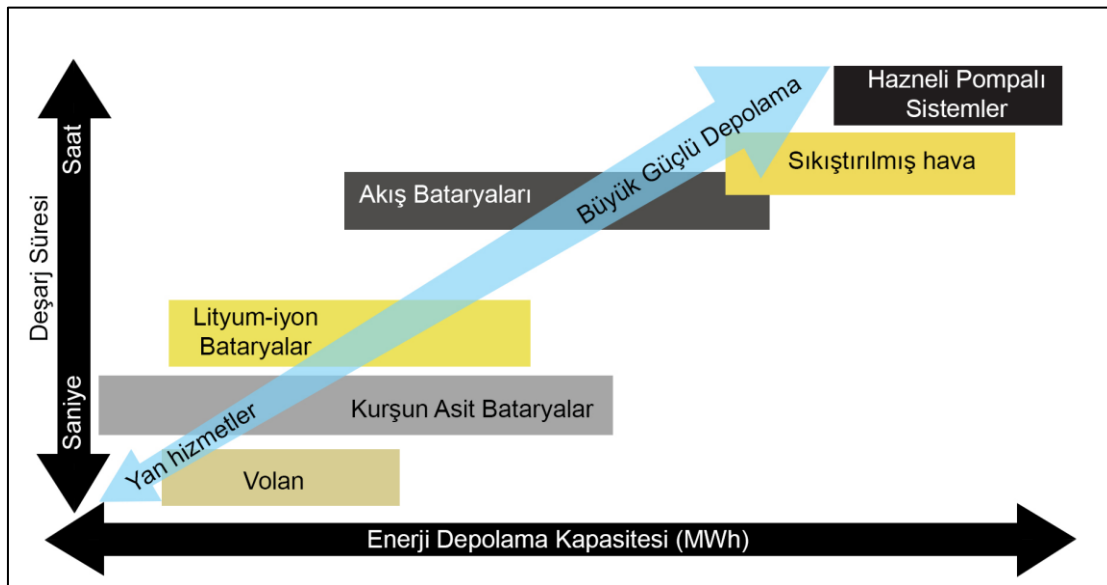
Bazı uygulamalarda (gerilim desteği ve güç faktörü düzeltme gibi) reaktif gücü şebekeden çekmeyi veya şebekeye vermeyi gerçekleştirebilen depolama sistemlerine ihtiyaç

duymaktadırlar. Bu özellik genellikle VAR (reaktif güç) desteği olarak adlandırılmaktadır. Çoğu uygulamada, depolama sistemleri kendi başlarına reaktif güç kapasitesine sahip değildir. Artan bir maliyet ile reaktif güç kapasitesi depolama sistemine eklenebilmektedir [27].

2.6. Enerji Depolama Sistemlerinin Karşılaştırılması

Depolama sistemleri, Bölüm 2’de tanımlanan bir kısım karakteristik faktöre göre karşılaştırılabilir. Bu karşılaştırmada belirtilen özellikler depolama sistemlerinin kullanılacağı uygulamaya göre önem kazanmaktadır.

İlk olarak şebeke uygulamaları için kullanılan depolama sistemleri deşarj sürelerine bağlı olarak kısa, orta ve uzun olmak üzere üç kategoriye ayrılmıştır. Kısa süreli depolama sistemleri için tipik güç değeri ve deşarj süresi sırasıyla 1 MW ve 1 dakikadan azdır. Orta süreli depolama sistemleri için sırasıyla 10–100MW gücünde ve bir dakika ile bir saat aralığındadır. Uzun süreli depolama sistemlerinin deşarj süresi saatlerden günlere kadar uzanabilmektedir. Bu kategorideki depolama sistemleri tipik güç değeri 300 MW'ın üzerindedir [28].



Şekil 2.11. Enerji depolama sistemlerinin karşılaştırılması [28]

Her bir enerji depolama teknolojisi belirli uygulamalar için uygunluğunu içeren kendine özgü özellikler barındırmaktadır. Bu özellikler herhangi bir koşul altındaki uygulamalara

seçilecek olan en uygun teknolojinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Enerji depolama sistemlerinin planlanma ve kurulum aşamasında öncelikle dikkat edilmesi gereken belirli parametreler bulunmaktadır.

Enerji depolama sistemlerinin seçiminde maliyet, verimlilik ve cevap süresi vb. parametreler etkin rol oynamaktadır. Bu sebeple depolama sistemleri; şebekenin ihtiyacına göre seçilmelidir. Örneğin kısa süreli enerji kesintilerinde devreye girerek müşterilerin enerjisiz kalmasını önlemek için hazneli pompalı hidroelektrik depolama sistemleri daha avantajlı iken, yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonlarını arttırmak için bataryalı depolama sistemleri daha etkin çözümler sunabilmektedir.

Çizelge 2.12. enerji depolama sistemlerinin temel karakteristiklerinin karşılaştırılmasını içermektedir.

Çizelge 2.12. Enerji depolama sistemlerinin karşılaştırılması [17, 28-32]

Enerji Depolama Teknolojileri	Nominal Güç [MW]	Nominal Kapasite [MWh]	Deşarj Süresi	Enerji Yoğunluğu [Wh/L]	Güç Yoğunluğu [W/L]
Lityum-İyon	0,05-100	0,004–10	1 dakika-8 saat	200-500	1500-10000
Vanadyum Redox Flow	0,03-50		2-12 saat	16-35	0,5-2
Kurşun-Asit	0,001-100	0,001–40	1 dakika-8 saat	50-80	10-400
Sodyum Sülfür	10-100	0,4–244,8	1 dakika-8 saat	150-300	140-180
Sodyum Nikel Klorit	0-3		1 saniye->1 saat	150-180	220-300

Çizelge 2.12. (devam) Enerji depolama sistemlerinin karşılaştırılması [17, 28-32]

Nikel Kadmiyum	0-40	6,75	6-8 saat	15-150	80-600
Hidrojen	0-50	0,312-39	1 saniye-24 Saat	500-3000	0,2-20
SHED	110-1000	580-2860	1-24 saat	2-6	0,5-2
Hazneli Pompalı Hidroelektri k Depolama	30-5000	180-8000	1-24 saat	0,5-2	0,5-1,5
Volan	0,25-20	0,0052-5	8 saniye-15 dakika	20-80	1000-5000
Süper (Ultra) Kapasitörler	0-0,3	0,0005	Milisaniye-1 saat	10-30	40000- 120000
Süper İletken	0,1-10	0,0008- 0,015	Milisaniye- 30 dakika	0,2-6	1000-2600
Termal (Isıl)	0,1-300	-	1-24 saat	80-500	-

Çizelge 2.13. Enerji depolama sistemlerinin karşılaştırılması [28-32]

Enerji Depolama Teknolojileri	Enerji Yoğunluğu [Wh/kg]	Güç Yoğunluğu [W/kg]	Şarj-Deşarj Verimi [%]	Günlük Bekleme Kaybı [%]	Cevap/Tepki Süresi	Yatırım Maliyeti [\$/kW]	Yatırım Maliyeti [\$/kWh]
Lityum-İyon	75-200	150-2000	75-97	0,1 – 0,3	20 ms-1 saniye	900–4000	600–3800
Vanadyum Redox Flow	10-30	5,5-166	65-85	0,2	< 5 ms	600–1500	150–1000
Kurşun-Asit	25-50	75-300	63-90	0,1 – 0,3	5-10 ms	200-600	50-400
Sodyum Sülfür	100-240	90-230	75-90	0,05 - 20	1 ms-1 saniye	350–3000	300-500
Sodyum Nikel Klorit	-	-	85-90	11,89-26,25	< 1 saniye	150-300	100-345
Nikel Kadmiyum	45-80	150-300	60-83	0,2-0,7	20 ms-1 saniye	500–1500	400–2400
Hidrojen	800-10000	5-800	20-66	0 - 4	< 5 ms	500–3000	2-15
SHED	30-60	2,2/24	42-70	~ 0	1-15 dakika	400–1000	2-120
Hazneli Pompalı Hidroelektrik Depolama	0,5-1,5	0,001-0,12	70-87	~ 0	10 saniye - 1 dakika	2000–4300	5-100

Çizelge 2.13. (devam) Enerji depolama sistemlerinin karşılaştırılması [28-32]

Volan	5-100	400-1500	90-95	24-100	< 4 milisaniye	250-350	1000-14,000
Süper (Ultra) Kapasitörler	0,05-15	500-10000	84-97	20 - 40	8 ms	100-450	300-2000
Süper İletken	10-75	500-2000	95-98	10 - 15	< 100 ms	200-489	500-72,000
Termal (Isıl)	80-250	10-30	30-60	0,05-1	> 1 dakika	100-400	3-60

Depolama sistemleri, teknolojinin ilerlemesi ve sürekli devam eden araştırmalar ile güç ve hizmet sisteminin önemli bir parçası haline gelmişlerdir [33], [34]. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının şebeke ile entegrasyonunun artması sebebiyle, depolama sistemleri yenilenebilir enerji kaynaklarının getirdiği kesintileri azaltmak ve ayrıca potansiyel enerjinin yeterince kullanılamamasını önlemek amacıyla fazla enerjiyi depolamak için kullanılmaktadır [35], [36]. İlave olarak, depolama sistemleri yük dengeleme, tepe tıraşlama, yük takibi gibi enerji uygulamalarında da kullanılmaktadır [35], [37].

Çeşitli uygulamalar için farklı depolama türleri mevcuttur. Belirli bir uygulama için eşit derecede iyi performans göstermez. Bu nedenle, belirli bir depolama türünün belirli bir uygulama için uygun olup olmadığı veya rakip türlerinden daha iyi performans gösterip göstermediği kurulumda önce analiz edilmelidir.

Çizelge 2.14. Uygulamalar için farklı enerji depolama teknolojilerinin uygunluğu [30]

Uygulamalar Depolama Teknolojileri	Arbitraj	Tedarik Kapasitesi	Yük Takibi	Geniş Bölge Yönetimi	Rezerv Kapasitesi	Gerilim Desteği	İletim Desteği	Sıkışıklık Yönetimi	Yatırım Öteleme	Hizmet Güvenilirliği	Güç Kalitesi	Üretim Öteleme	Şebeke Entegrasyonları
Lityum-İyon	***	***	***	***	***	* *	***	***	***	* **	***	***	***
Vanadyum Redox Flow	**	**	***	***	**	* * *	**	**	**	**	**	**	**
Kurşun-Asit	***	***	***	***	***	* * *	**	***	**	**	***	***	***
Sodyum Sülfür	**	***	***	***	**	* *	*	**	**	* *	*	***	***
Nikel Kadmiyum	***	***	***	***	***	* *	*	***	***	**	*	***	***
Hidrojen	**	**	**	**	**	*	**	**	**	X	*	**	**
SHED	***	***	*	***	**	X	X	***	**	X	X	***	X
Hazneli Pompalı Hidroelektrik Depolama	***	***	X	***	X	X	X	***	***	X	X	***	X

Çizelge 2.14. (devam) Uygulamalar için farklı enerji depolama teknolojilerinin uygunluğu [30]

Volan	*	**	*	**	**	* *	***	*	X	**	***	**	***
Süper (Ultra) Kapasitörler	*	**	*	X	X	* *	**	*	X	** *	***	**	***
Süper İletken	*	**	***	X	**	* *	***	*	X	**	***	**	**
Termal (Isıl)	**	**	X	***	*	X	X	**	**	X	X	**	X

*** Son Derece Yeterli

** Yeterli

* Daha Fazla Geliştirme Gerekli

X Uygun Değil.

3. ENERJİ DEPOLAMA SİSTEM UYGULAMALARI

Güç sistemi güvenilirliği, güç sisteminin üç temel yönü dikkate alınarak belirlenebilir. Bunlar, yeterlilik, kalite ve güvenilirliktir. Yeterlilik, güç sisteminin son kullanıcıların enerji gereksinimlerini her zaman sağlayabiliyor olma yeteneğidir. Yeterlilik incelenirken sistem elemanlarının planlı ve beklenen plansız kullanım dışı kalma süreleri hesaba katılır. Öte yandan güvenilirlik, güç sisteminin, sistem öğelerinin beklenmedik kaybına (ör. üretim birimleri devreden çıkması veya iletim hatlarında yaşanabilecek problemler) karşı direncini ve kullanıcıları beslemeye devam edebilme kabiliyetini ifade eder. Bir güç sisteminde yeterlilik ve güvenilirliğin sağlanması, sistem operatörü (SO) için son derece önemlidir. Sistem operatörünün ana faaliyetleri, güç sisteminin güvenilir şekilde çalışabilmesi için kapasitenin yeterliliğini sağlamak, sistemin güvenli işletilebilmesi için gerekli altyapıyı oluşturmak, şebekenin gereksinimlerini karşılayarak elektrik enerjisinin aktarılabilmesi için diğer enterkonnekte şebekeler ile elektrik alış-verişini de dikkate alarak gerekli tüm yardımcı hizmetlerin kullanılabilirliğini sağlamak üzerine odaklanmıştır. Her sistem operatörünün, kesintileri önlemek, kararlılık ve güvenilirlik kriterlerinin gereklerini yerine getirmek ve elektrik enerjisini güç kalitesi yönünden ilgili standartlara uygun şekilde iletme görevi vardır.

Bir Sistem Operatörü genellikle güç sistemini bir ulusal kontrol merkezinden çalıştırır, ancak sistem istikrarını ve güvenilirliğini korumak için yerel olarak hareket eden bölgesel yönetim birimleri veya yük tevzi merkezleri de vardır. Beklenmedik bir olay karşısında sistemin reaksiyonu, bu merkezlerde bulunan işletmecilerin kararları sonucunda oluşmaktadır. Beklenmedik olumsuzluklar sonucunda ortaya çıkabilen kısıtlılık durumu, bir üretim birimi, iletim hattı, anahtarlama ekipmanı veya başka bir şebeke bileşeninin beklenmedik bir arızası sonucu ortaya çıkan ve sistemin yeterliliğini olumsuz etkileyen süreç ile tanımlanır. Her bir sistem operatörü, bu gibi durumlarda sistemin elektriksel parametreleri için tanımlanmış olan limitlerin arasında kalarak işletmeyi devam ettirmeye çalışmakta ve bu alandaki ilgili yönetmeliklerce belirlenmiş yükümlülüklerini yerine getirmeye çalışmaktadır. Şebekenin işletilmesi noktasında karşılaşılan kısıtlılık ve diğer kritik durumlar için sistem operatörlerinin elinde kullanabilecekleri varlıklar ve operasyonlar mevcuttur. Bunlara; üretim birimlerinin devreye alınması, gerilim ve yük akışı kontrolü ve anahtarlama operasyonları örnek olarak gösterilebilir. Özellikle enerji depolama konusunda son dönemde yaşanan gelişmeler enerji depolama uygulamalarının da sistem operatörlerinin elleri

altındaki bir varlık olarak sisteme entegre edilebileceği yönündeki görüşleri güçlendirmiş ve gerçekleştirilen simülasyonlar ile desteklenmiştir. Bu çalışmalarda, yan hizmetler, profil düzenleme ve enerji arbitrajı gibi konularda çeşitli enerji depolama türleri için teknolojik modeller oluşturulmuştur.

İletim şebekesi seviyesinde gerçekleştirilen uygulamaların güç yoğun batarya ve enerji depolama sistemleri ile gerçekleştirildiği görülmektedir. Bunun sebebi olarak da özellikle iletim seviyesinde batarya uygulamalarının sağlayacağı faydanın, gün geçtikçe artan yenilenebilir ve kesintili enerji üretim birimlerinin entegrasyonu sonrasında meydana gelebilecek kısıtlılık durumları için fayda sağlayabilecek bir uygulama olması öne çıkmaktadır. Enerji depolama sistemlerinin iletim seviyesinde gerçekleştirilecek uygulamalarında kullanıcıların depolama sisteminden beslenmesi senaryosu için uygulanacak depolama tesisinin sahip olması gereken enerji miktarı çok yüksek olacağı için, günümüzde ve yakın gelecekte iletim seviyesinde uygulanan depolama uygulamaları kısıtlılık durumlarında ortaya çıkabilecek olumsuzlukların önlenmesini amaçlamaktadır.

3.1. Enerji Depolama Sistemlerinin Kullanıldığı Uygulamalara Özgü Avantajlar ve Gereksinimler

Çizelge 3.1’de temel enerji depolama sistemi uygulamaları verilmiştir.

Çizelge 3.1. Enerji depolama sistemi uygulamaları

Kategori 1 : Enerji Tedarik Uygulamaları	
1. Arbitraj	2. Tedarik (Üretim) Kapasitesi
Kategori 2 : Yan Hizmet Uygulamaları	
3. Yük Takibi	4. Geniş Bölge Yönetimi
5. Rezerv Kapasitesi	6. Gerilim Desteği
Kategori 3 : Şebeke Yapısına Yönelik Uygulamalar	
7. İletim Desteği	8. Sıkışıklık Yönetimi
9. Yatırım Öteleme	
Kategori 4 : Kullanıcıya Yönelik Uygulamalar	
10. Hizmet Güvenilirliği	11. Güç Kalitesi
Kategori 5 : Yenilenebilir Enerji Tesisleri Entegrasyonlarına Yönelik Uygulamalar	
1. Üretim Öteleme (Zaman Kaydırma)	2. Şebeke Entegrasyonları

3.1.1. Güç yoğun ve enerji yoğun uygulamalar

Güç yoğun uygulamalar, genellikle kısa süreler için (birkaç saniyeden birkaç dakikaya kadar) yüksek güç çıkışı gerektirir. Güç yoğun uygulamalar için kullanılan depolama sistemi genellikle yüksek bir güç değerine sahiptir ve çıkış gücü de bu doğrultuda olmaktadır. Güç yoğun uygulamalar için kullanılan depolama sistemlerinde genellikle nominal güç çıkışının kW değeri başına oldukça düşük miktarda enerji depolama kapasitesine ihtiyaç duyulur.

3.1.2. Kapasite yoğun ve enerji yoğun uygulamalar

Kapasite yoğun uygulamalar ile enerji yoğun uygulamalar arasındaki ayrım, güç yoğun ve enerji yoğun uygulamalar arasındaki farka benzemektedir. Basit bir ifadeyle kapasite yoğun uygulamalar, sistemde farklı ekipmanlara duyulabilecek ihtiyacın azaltılması veya yapılacak yatırımın ertelenmesi için kullanılan depolama uygulamalarını kapsamaktadır. Bu

ekipmanlar yeni bir depolama birimi, üretim birimi veya enerji aktarımı için kullanılan şebeke bileşenleri olabilir. Uygulamaya bağlı olmakla birlikte kapasite yoğun sistemlerin yıl içerisindeki deşarj miktarı nispeten düşüktür.

3.1.3. Uygulamalar özelinde güç ve deşarj süreleri

Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3 iki temel depolama tasarım kriteri için uygulamalara özel varsayılan değerleri listelemektedir. Bu kriterler güç oranı ve deşarj süresidir.

Çizelge 3.2 depolama uygulamalarının güç değerleri için uygulama özelinde temel varsayımları, Çizelge 3.3 ise, depolama özelinde deşarj süreleri için uygulama özelinde temel varsayımları içermektedir.

Çizelge 3.2. Uygulamaya yönelik olarak güç değerleri

		Depolama Gücü	
#	Tip	Minimum	Maksimum
1	Arbitraj	1 MW	500 MW
2	Tedarik (Üretim) Kapasitesi	1 MW	500 MW
3	Yük Takibi	1 MW	500 MW
4	Geniş Bölge Yönetimi	1 MW	40 MW
5	Rezerv Kapasitesi	1 MW	500 MW
6	Gerilim Desteği	1 MW	10 MW
7	İletim Desteği	10 MW	100 MW
8	Sıkışıklık Yönetimi	1 MW	100 MW

Çizelge 3.2. (devam) Uygulamaya yönelik olarak güç değerleri

9	Yatırım Öteleme	250 kW	5 MW
10	Hizmet Güvenilirliği	0,2 kW	10 MW
11	Güç Kalitesi	0,2 kW	10 MW
12	Üretim Öteleme (Zaman Kaydırma)	1 kW	500 MW
13	Şebeke Entegrasyonları	0,2 kW	500 MW

Çizelge 3.2 üzerinde “Gerilim Desteği” için paylaşılan güç değerleri belirlenirken depolama biriminin dağıtılmış şekilde kullanıldığı ve şebeke içerisinde gerilim profilini desteklemeye yönelik olarak hizmet verdiği varsayılmıştır. “İletim Desteği” için belirlenen değerler ise sistemin belirli kısmı veya tek bir hat için olduğu varsayılmıştır. “Enerji Maliyeti Yönetimi” için belirlenen değerler, bir haneden, orta ölçekli bir endüstriyel tesise kadar olan uygulamalar için düşünülmüştür.

Minimum değeri kilowatt (kW) cinsinden gösterilen uygulamalarda, depolama çözümlerinin tek bir son kullanıcıdan, orta ölçekli endüstriyel tesislere veya şebekenin belirli bölümlerine kadar farklı çapta çok sayıda uygulamayı kapsayabilmesi ve bir minimum değer oluşturabilmesi için belirlenmiştir.

Çizelge 3.3. Depolama uygulamaları için uygulamaya yönelik olarak deşarj süreleri

		Deşarj Süresi	
#	Tip	Minimum	Maksimum
1	Arbitraj	2 saat	8 saat
2	Tedarik (Üretim) Kapasitesi	4 saat	6 saat
3	Yük Takibi	2 saat	4 saat
4	Geniş Bölge Yönetimi	15 dakika	30 dakika
5	Rezerv Kapasitesi	1 saat	2 saat
6	Gerilim Desteği	15 dakika	1 saat
7	İletim Desteği	2 saniye	5 saniye
8	Sıkışıklık Yönetimi	3 saat	6 saat
9	Yatırım Öteleme	3 saat	6 saat
10	Hizmet Güvenilirliği	5 dakika	1 saat
11	Güç Kalitesi	10 saniye	1 dakika
12	Üretim Öteleme (Zaman Kaydırma)	3 saat	5 saat
13	Şebeke Entegrasyonları	10 saniye	6 saat

3.2. Uygulama 1: Arbitraj

Arbitraj (zaman kayması, öteleme), fiyat ilişkilerindeki farktan yararlanmak için iki veya daha fazla pazarda aynı veya eşdeğer malların eşzamanlı olarak satın alınması ve satılmasıdır. Arbitraj, elektrik enerjisinin birim fiyatının düşük olduğu saatlerde veya dönemlerde, depolama sistemini şarj edebilmek için alınması ve birim enerji maliyetinin yüksek olduğu zamanlarda kullanılabilmesi için depolanmasını kapsamaktadır.

Arbitraj uygulaması için kullanılacak depolama ünitesinin deşarj süresi, ek enerji depolama (deşarj süresi) için artan maliyete kıyasla, yıl boyunca düşük fiyatlı enerji satın alımı ve yüksek fiyatlı enerji satışı işlemlerini gerçekleştirebilmenin faydasına göre belirlenir.

Bu uygulama için depolama sisteminin minimum deşarj süresi için kabul edilen değer iki saattir. Deşarj süresi için üst sınır, hazneli depolama sistemlerinin kapasiteleri ile tanımlanır. Yüksek maliyetli depolama sistemleri kullanılarak arbitraj uygulaması gerçekleştirilmek istenirse bu durumda sistemin tesis edileceği noktadaki ihtiyacı da göz önüne alarak maksimum 5-6 saatlik bir deşarj süresini kapsayacak birimleri tesis edilmesi planlanabilir. Bu süre de günlük maksimum enerji talebinin yaşandığı yaklaşık süreye denk gelmektedir.

Hem depolama sisteminin değişken işletme maliyeti (enerji ile ilgili olmayan) hem de depolama verimliliği bu uygulama için özellikle önemlidir çünkü enerji arbitrajı, satın alma, depolama ve deşarj maliyeti arasındaki ekonomik ilişkiye dayanan birçok olası işlemi içerir. İşletme maliyetindeki herhangi bir artış veya verimliliğin azalması, faydanın, maliyeti aştığı işlemlerin sayısını azaltır. Bu işlem sayısı, deşarj maliyetine oldukça duyarlıdır, bu nedenle küçük bir maliyet artışı bile, elde edilecek faydayı ve dolayısıyla uygulanabilir işlemlerin sayısını önemli ölçüde azaltabilir.

3.2.1. Uygulamanın faydaları ve diğer fonksiyonları

Her uygulama senaryosu birbirinden farklı olsa da elektrik enerjisinin arbitrajı için kullanılan bir depolama birimi; üretim kapasitesi, yatırım öteleme, iletim seviyesinde sıkışıklık yönetimi, hizmet güvenilirliği, güç kalitesi ve yan hizmetler konusunda önemli faydalar da sağlayabilir.

Enerji arbitrajının faydası, diğer uygulamaların aksine, enerji fiyatındaki değişimi cinsinden açıklanabilir. Yani, bir işlem kararı verilmeden önce, bu işlemin mali değeri, beklenen faydaya (gelir) ve karşı maliyete (enerji satın alımı ve depolama maliyeti ile deşarj süresindeki tüm masraflar) göre belirlenir.

Elektrik enerjisi bakımından arbitrajın faydası, şarj işleminin maliyeti cinsinden tanımlanır. Bir şarj/deşarj işleminin mali değeri, beklenen faydaya (gelir) karşı maliyete (enerjiyi satın almak, şarj, depolamak ve deşarj) göre belirlenir. Depolama sistemindeki yıpranma maliyeti artı enerji yükleme maliyeti artı depolama kayıplarını telafi etme maliyeti, beklenen faydayı aşarsa, işlem yapılmaz. Elektrik enerjisi arbitrajının avantajıyla ilgili oldukça önemli bir husus daha vardır. Arbitrajın gelir yönünden faydası, büyük ölçüde, yükün yoğun olduğu ve düşük olduğu zamanlarda enerji fiyatları arasındaki farka dayanmaktadır. Elektrikli araç uygulamaları, küçük çaplı bile olsa dağıtım ve iletim seviyesindeki depolama uygulamaları zamanla iki durum arasındaki enerji fiyatları arasındaki farkı azaltıcı yönde etki yaratabilir. Bu da arbitrajın marjinal faydasını etkileyecektir.

3.3. Uygulama 2: Tedarik (Üretim) Kapasitesi

Bir elektrik şebekesinde, ele alınan senaryonun koşulları da göz önüne alınarak, depolama sistemi uygulamaları ile yeni bir merkezi elektrik üretim santraline duyulan ihtiyaç ortadan kaldırılabılır, yatırım ertelenebilir veya bu ihtiyaç duyulan kapasitenin miktarı azaltılabilir.

Özellikle sürekli enerji ihtiyacını karşılamak için kullanılan büyük güçlü ve merkezi enerji üretim santrallerinden olan kombine çevrim santralleri talep yük sebebiyle ihtiyaç duyulan ilave kapasitelerin karşılanabilmesi için akla gelen ilk çözümün uygulaması olmaktadır.

Tedarik (üretim) kapasitesi olarak kullanılan depolama birimleri için işletim profili (her bir kullanım için yıllık çalışma saatleri, çalışma sıklığı ve çalışma süresi ile karakterize edilir) şebekenin karakteristiğine özeldir. Bu uygulama için deşarj süresini etkileyen bir diğer önemli kriter, üretim kapasitesinin fiyatlandırılma şeklidir. Örneğin, kapasite saat başına fiyatlandırılırsa, depolama tesisinin deşarj süresi esnektir. Fiyatlar, şebekede herhangi bir olay için belirli bir süre (örn., 5 saat) kullanılabilir olmasını veya sürekli olarak belirli aralıkta (örn. 12:00 - 17:00) çalıştırılmasını gerektiriyorsa, depolama tesisinin kapasitesi bu süreyi ve ihtiyaç duyulan miktarı karşılamalıdır.

3.3.1. Uygulamanın faydaları ve diğer fonksiyonları

Elektrik üretim kapasitesinin sınırlı olduğu noktada depolama uygulamaları ihtiyaç duyulan enerji miktarını ve güç değerini azaltabilir ve maliyet yönünden fayda sağlayabilir. Ortaya çıkan maliyet düşüşü (veya önlenen maliyet), tedarik (üretim) kapasitesi uygulaması için kullanılan depolama sistemiyle ilişkili faydadır. Bu faydaya bir mali değer atfetmek için başka bir yol da, fiyatın elektrik piyasası tarafından veya otorite olarak belirlenmiş bir kurum tarafından, toptan satış düzeyinde belirlenen fiyata dayalıdır. Elde edilebilecek faydayı tahmin etmek için bu fiyatlar kullanılabilir.

3.4. Uygulama 3: Yük Takibi

Yük takibi, elektrik şebekelerinde işletme için gerekli yan hizmetlere destek veren fonksiyonlardan biridir. Yükü takip eden depolama birimlerinin işletme şekli, birkaç dakika gibi kısa sürelerde değişen çıkış gücü ile birlikte karakterize edilir [38]. Belirli bir bölge veya alandaki elektrik arzı (birincil olarak üretim) ve son kullanıcı talebi (yük) arasındaki değişen dengeye yanıt olarak sistemin çıkış gücü değişir. Çıkış gücünün değişimi şebeke frekansındaki değişim ve yük profili veya bunlar arasındaki ilişkiye göre yükselebilir veya düşebilir.

Konvansiyonel sistemlerde yük takibi gerçekleştiren üretim birimlerinin çıkış gücü artan yük miktarı ile artar ve benzer şekilde yük miktarı düştükçe üretim biriminin çıkış gücü de azalır. Tipik olarak gün içerisinde sabah saatlerinde yük artışı ile arz edilen enerji miktarı da artar ve yük değerinin gece saatlerindeki düşüşü ile birlikte çıkış gücü de azalır.

Normalde, yük takibi için, üretim biriminin çıkış gücü nominal gücünden daha düşük olacak şekilde çalıştırılır. Bu, operatörlerin artan yükü karşılayacak şekilde yük takibi sağlamak için gerektiğinde generatörün çıkış gücünü artırmasına olanak tanır.

Kısmi yükte çalıştırılan üretim birimlerinin çıkış gücü de sürekli olarak değiştirilecektir. Generatörlerin çıkış gücünün sürekli olarak değiştirilmesi (sabit bir güçte çalışmak yerine) yakıt kullanımını ve emisyon miktarını artırabilir ve generatörün bakım ihtiyacını arttırabilir.

Depolama sistemleri yük takibi uygulamaları için uygun bir çözümdür. Bunun nedenlerinin başında çoğu depolama türünün, nispeten düşük performans kayıpları ile kısmi yük seviyelerinde çalışabilir olması gelir. Bir diğer sebep ise, çoğu depolama türünü, yük takibi için daha fazla veya daha az çıktı gerektiğinde (çoğu enerji üretim teknolojisine kıyasla) çok daha hızlı yanıt verebilmesidir. Ayrıca depolama, yapısı gereği yük azaldıkça şarj edilip, yük miktarı arttıkça deşarj edilebileceği için verimli şekilde kullanılabilir.

Yük takibi için kullanılacak depolama sistemi hem teknolojsi hem de işletme şekli ve diğer ekipmanları ile son derece güvenilir bir sistem olarak tasarlanmalıdır. Aksi durumda şebekenin güç kalitesi ve güvenilirlik parametrelerini doğrudan etkileyen uygulamalar için risk oluşturabilir. Ayrıca bu sistemin yük takibi gerçekleştirebilmesi için otomatik kontrol sisteminin tesis edilmesi de gerekecektir. Bu sistem şebeke işletmecisinin talep ettiği üretim miktarına göre depolama sisteminin çıkış gücünü belirleyecektir.

Bu uygulama için tesis edilecek depolama sisteminin deşarj süresi uzun olabileceğinden, şarj gücü deşarj gücünden daha yüksek olması gerekebilir.

3.4.1. Uygulamanın faydaları ve diğer fonksiyonları

Yük takibi için kullanılan büyük/merkezi depolama üniteleri ile, diğer uygulamalar için kullanılan depolama sistemlerinin şarj/deşarj süreçleri uyumlu şekilde işletilebilirse diğer uygulamaların yük takibi sürecine faydası olabilir. Örneğin, gün ortasında ihtiyaç duyulan talebi karşılamak için kullanılan depolama sistemi, akşam saatlerinde azalan sistem talebinin ardından şarj edilebilir.

Üretim maliyetinin iki olası unsuru vardır: marjinal maliyet ve kapasite maliyeti. Üretim marjinal maliyeti, çoğunlukla yakıt ve değişken bakım maliyetlerinden oluşur. Üretimin, yük takibi hizmeti sağlamak için çalışması gerekmiyorsa marjinal maliyetten kaçınılabilir (bunun yerine depolama kullanılır). Kısmi yük işletimi (nominal yükün altında üretim / yük takibine yönelik üretim) düşürülürse üretim marjinal maliyeti düşebilir. (Kısmi yüklü çalışmadan kaçınmak önemlidir. Nominal yükün altında ve değişken bir üretim kapasitesi ile çalışmak kWh başına yıpranma miktarını, yakıt kullanımını ve emisyon miktarını arttırmaktadır.)

3.5. Uygulama 4: Geniş Bölge Yönetimi

Geniş bölge yönetimi, depolama uygulamalarının uygun olabileceği yan hizmetlerden biridir. Geniş bölge yönetimi, birbirine bağlı bölgelerdeki yük akışlarının kontrolünü ve işletmenin planlanan şekilde çalışmasına devam edebilmesi için gereken adımları kapsamaktadır. [39] Daha temel bir ifadeyle, geniş bölge yönetimi, arz ve talep arasındaki anlık farklılıkları uzlaştırmak için kullanılır. Yani, herhangi bir anda, çalışmakta olan elektrik tedarik kapasitesi miktarı, yükü aşabilir veya daha az olabilir. Bu farkın sönümlenmesi için düzenleme kullanılır. Yönetim, temel olarak şebekeye bağlı olan ve gerektiğinde gücü artırmaya veya azaltmaya hazır olan üretim birimleri tarafından sağlanır. Elektrik tedarik kapasitesinde anlık bir eksiklik olduğunda, yönetim için kullanılacak depolama sistemleri gibi şebeke bileşenlerinden sağlamak için enerji talep edilir veya hali hazırda temin edilen enerji miktarı artırılır. Ters durumda, üretimin fazla olduğu durumlarda yine bu üniteler fazla olan enerji miktarını depolar.

Bu uygulama için önemli bir husus, düzenleme hizmeti için kullanılan çoğu konvansiyonel üretim teknolojilerinin bu uygulamaya uygun olmadığı veya düzenleme sağlamak için tasarlanmadığıdır. Bunun nedeni, temel üretim birimlerinin çoğu türünün kısmi yükte çalışmak veya değişken çıktı sağlamak için tasarlanmamasıdır. Bu santrallerin en verimli çalışma şekli genellikle sabit bir güç değerinde çalıştıkları senaryolardır. Benzer şekilde, bu tesisler tam yükte veya sabit bir güç değerinde çalıştığında hem emisyon değerleri hem de yıpranma oranları en düşük seviyededir.

Bu nedenle depolama, genel olarak yüksek verimliliğe sahip olması ve çıkış gücünün hızlı şekilde değiştirilebilmesi sebebiyle geniş bölge yönetimi uygulamalarında konvansiyonel sistemlere karşı güçlü bir alternatiftir.

3.5.1. Teknik hususlar

Bazı depolama teknolojilerinin hızlı tepki süresi, depolama sistemlerini geniş bölge yönetimi için oldukça uygun hale getirmektedir. Bu durum, ilgili fonksiyon için depolama teknolojilerinin tercih edilmesi durumunda sağlanacak faydayı yüksek oranda arttırmaktadır.

Düzenleme için kullanılan depolama teknolojisi, birkaç saniyelik bir yanıt süresine sahip olmalıdır. Düzenleme sağlamak için kullanılan kaynaklar oldukça güvenilir olmalı ve yüksek kaliteli, kararlı güç çıkışı özelliklerine sahip olmalıdır.

3.5.2. Uygulamanın faydaları ve diğer fonksiyonlar

Minimum seviye baz alındığında, ilgili yönetmeliklerin oluşturulması veya değiştirilmesi durumları haricinde geniş alan yönetimi için kullanılan depolama sisteminden elde edilecek fayda (\$/MW), konvansiyonel sistemlerin kullanılması durumu ile aynı seviyede olacaktır. Bununla birlikte, yukarıda bahsedildiği şekilde iki önemli özellik, depolama uygulamalarını geniş alan yönetimi için öne çıkarabilir. Bunlardan ilki, pek çok farklı enerji depolama teknolojisinin sahip olduğu hızlı tepki süreleridir. Hazneli depolama sistemleri bile konvansiyonel üretim tesislerinden daha hızlı tepki verebilmektedir. Bir diğer önemli husus ise, konvansiyonel sistemler ile karşılaştırıldığında batarya uygulamalarının 1 MW kapasite başına 2 MW hizmet sağlayabilmesidir. Depolama sistemleri gerekmesi durumunda şarj olarak veya sistemin durumuna göre deşarj olarak konvansiyonel üretim birimlerinin sağlayamayacağı bir hizmeti yerine getirebilmektedir. Bu durumda geniş alan yönetimi için depolama sisteminin şarj edilmesinin gerekmesi halinde enerjinin maliyetlendirilmesi konusu hassasiyet taşımaktadır.

Çoğu durumda, geniş alan yönetiminin sağlanması için kullanılan depolama, başka bir fonksiyon için aynı anda kullanılamaz. Bununla birlikte tesis edilecek depolama sistemi, uygun bir zamanda farklı bir uygulama için kullanılabilir (örneğin, arbitraj, tedarik kapasitesi, yatırım öteleme vb.).

3.6. Uygulama 5: Rezerv Kapasitesi

Bir elektrik şebekesinin rezerv kapasite ile işletimi, devrede olan enerji üretim birimlerinin bir kısmının beklenmedik bir şekilde kullanılamaz hale gelmesi veya devreden çıkması durumunda devreye alınabilecek yedek kapasitenin veya depolama sistemlerinin kullanımını kapsamaktadır [40]. Elektrik hizmeti alanında bu yedek kapasite, yan hizmet olarak sınıflandırılır.

İdealde yedek birimler, en azından sistem içerisinde devrede olan en büyük kaynak kadar büyük olmalıdır. Genel olarak, yedek kapasite normal elektrik tedarik kapasitesinin %15 ile %20'si arasındadır. Resmi şekilde talep edilen rezerv miktarı yönetmelikler ve/veya ilgili otoriteler tarafından belirtilmektedir [41].

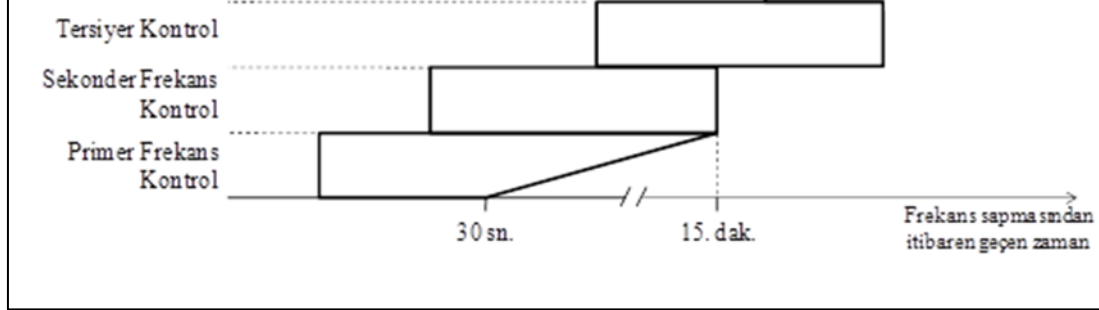
Üç genel rezerv kapasitesi türü mevcuttur:

Primer rezerv, devrede ancak yüksüz olan, üretim veya iletim seviyesinde meydana gelebilecek kesintileri telafi edebilmek adına 10 dakika içinde yanıt verebilen rezerv kapasitedir. Döner rezervler, ihtiyaç oluştuğunda kullanılan ilk türdür. Elektrik Şebeke Yönetmeliği içerisinde Primer Rezerv; “işletme yedeğinin, türbin hız regülatörlerinin otomatik olarak kullanılarak sistem frekansını hedeflenen işletme koşullarında tutmak için kullanılan ve bu işlem için yeterli olacak şekilde Elektrik Piyasası Yan Hizmetler Yönetmeliği uyarınca tedarik edilen kısmıdır.” şeklinde tanımlanmaktadır.

Sekonder rezerv, devrede veya devreden ayrı durumda olabilen, kesinti uygulanabilen yükleri veya blok yükleri besleyebilen rezerv birimlerdir. İhtiyaç halinde 10 dakika içinde devreye alınabilecek üretim kapasitesidir. Döner rezerv kapasitesinin aksine, ilave rezerv kapasitesi şebeke (frekans) ile senkronize değildir. İlave rezervler, tüm döner rezervlerin devreye alınmasının ardından ihtiyaç olması durumunda kullanılır. Elektrik Şebeke Yönetmeliği içerisinde Sekonder Rezerv; “işletme yedeğinin, frekans kontrolü amacı ile kullanılan primer frekans kontrol yedeğinin serbest kalması, frekansın nominal değerine geri dönebilmesi ve komşu elektrik şebekeleriyle olan toplam elektrik enerjisi alışverişinin programlanan düzeyde tutulabilmesinin sağlanması için, otomatik üretim kontrol programı vasıtasıyla kullanılan ve bu işlem için yeterli olacak şekilde Elektrik Piyasası Yan Hizmetler Yönetmeliği uyarınca tedarik edilen kısmıdır.” Şeklinde tanımlanmaktadır.

Tersiyer rezerv, İhtiyaç haline bir saat içinde devreye alınabilen üretim birimleridir. Rolü, döner rezervler ve ilave rezervlere yedek olarak şebeke içerisinde yer almaktır. Elektrik Şebeke Yönetmeliği içerisinde Tersiyer Rezerv; “işletme yedeğinin sekonder frekans kontrol yedeği devreye alındıktan sonra, ihtiyaç duyulduğunda manuel olarak servise alınan ve başka bir frekans sapması ihtimaline karşı sekonder yedeğinin serbest hale getirilmesini sağlamaya yeterli olacak şekilde seçilen kısmı” olarak tanımlanmaktadır.

Elektrik Şebeke Yönetmeliği'ne göre, normal işletme koşullarında işletme yedeklerinin devreye girme sıralamasının aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi olması esastır.



Şekil 3.1. Elektrik şebeke yönetmeliğine göre yedeklerin devreye girme sıralaması

Bu uygulamalarda depolama birimleri için önemli olan nokta, rezerv kapasite olarak kullanılan enerji üretim birimlerinin sistemde devrede ve düşük yük ile çalışıyor olması gerekliliğidir. Depolama sistemleri için böyle bir ihtiyaca gerek duyulmaz. Sisteme bağlı olan üniteler ihtiyaç duyulması halinde hızlıca devreye girebilirler. Üretim birimlerinden farklı olarak, hemen hemen her durumda, yedek kapasite için kullanılan depolama birimleri ihtiyaç duyulmadığı anlarda deşarj olmazlar. Sadece gerektiğinde deşarj olmaya hazırlıklı olmaları yeterlidir.

Sistemde şarj olmakta olan depolama sistemlerinin, rezerv kapasite olarak çalıştırılmasına ihtiyaç duyulması haline şarj sürecini sonlandırıp aynı güçte deşarj olmaya başlayacağı için nominal gücünün iki katı etki (artma ve azalma yönünde) yaratabileceği de unutulmamalıdır.

3.6.1. Teknik hususlar

Rezerv kapasite için kullanılan depolama sistemi, gerekli süre boyunca (genellikle en az bir saat) deşarja yetecek kadar depolanmış enerjiye sahip olmalıdır. Bu uygulama için kullanılan depolama sistemi, verilen emre karşılık devreye girememe veya arızalanma gibi durumlarda cezalar ve yaptırımlarla karşılaşmamak ve şebeke güvenilirliği ile hizmet kalitesini arttırabilmek adına güvenli bir uygulama olmalıdır. Rezerv kapasite kaynakları, uygun kontrol sinyallerini almalı ve bunlara yanıt vermelidir. Bu uygulama için tipik deşarj süreleri bir ile iki saat arasındadır.

3.6.2. Uygulamanın faydaları ve diğer fonksiyonlar

Rezerv kapasitesi olarak depolama sistemleri, özellikle bazı karakteristiklerinden dolayı, sağladıkları faydanın yanında diğer uygulamalar ile de uyum halindedir. Bu özelliklerin başında; rezerv kapasitesi için kullanılan sistemlerin çoğu zaman şarj edilmiş halde, deşarj olmadan beklemesi ve şarj halinden deşarj durumuna döndüğünde karakteri gereği nominal kapasitesinin iki katı kadar etki oluşturabilmesi gelmektedir.

Depolama birimi çoğu uygulamada yedek enerji kaynağı kapasitesi sağlarken başka herhangi bir uygulamaya hizmet edemez. Bununla birlikte, depolama, elektrik tedarik yedek kapasitesi olarak kullanılmadığında, arbitraj, tedarik kapasitesi, diğer yardımcı hizmetler, yenilenebilir enerji uygulamaları ve şebeke entegrasyonları için kullanılabilir. Konuma bağlı olarak, iletim seviyesinde sıkışıklık ve yatırım öteleme fonksiyonları ile birlikte de kullanılabilir.

3.7. Uygulama 6: Gerilim Desteği

Elektrik şebekelerinde nominal gerilim seviyesini korumak, stabil bir şebeke için oldukça önemli bir görevdir. Şebekelerde gerilim kontrolünün sağlanabilmesi için farklı yöntemler vardır. Bunlardan biri de reaktif gücün kontrol altında tutulmasıdır [42]. Geleneksel sistemlerde kullanılan reaktif güç kontrolü yöntemi ile gerilim değeri bir miktar yönetilebilse de, kapasitör veya reaktörler ile uygulanan bu yöntem aslen bir gerilim kontrolü yöntemi değildir. Geleneksel sistemde güç faktörünün düzeltilmesi için kullanılan kapasitörler ve reaktörler, reaktif gücün yönetilmesi için uygun olsa da birer üretim birimi değildir.

Gerilim desteği, dağıtılmış depolamanın oldukça güçlü bir alternatif olabileceği bir uygulama olup, reaktif güç uzun mesafelerde verimli bir şekilde iletilemez. Özellikle, gerilim düşümünün yüksek olduğu yük merkezlerinde veya bu konuda problem yaşanan diğer bölgelerde kullanılacak depolama birimleri, gerilim desteği konusunda önemli faydalar sağlayabilirler.

3.7.1. Teknik hususlar

Gerilim desteği sağlayabilmek için kullanılacak depolama sistemleri, sisteme reaktif güç sağlamak için kullanılacaksa, tercih edilen teknolojinin buna uygun olması ve sistemin VAR desteği sağlayacak yeteneklere sahip olmalıdır. Ayrıca, şebeke içerisinde gerilimin stabilitesini sağlayabilmek adına uygulanacak sistemin gerilim değerine yönelik sinyali hızlı bir şekilde alarak yine aynı hızda tepki verebilmesi gerekecektir.

Elektrik şebekelerinde gerilim desteği sağlayabilmek için kullanılacak depolama birimlerinin en azından 30 dakika süresince enerji sağlayabilecek kapasitede olması beklenmektedir. Bu süreçte şebeke operatörü elindeki diğer enstrümanları kullanarak veya yük atarak stabilizeyi sağlayabilecektir.

3.7.2. Uygulamanın faydaları ve diğer fonksiyonlar

Genel olarak, gerilim desteği için kullanılan depolama, yüke birkaç dakika ile bir saat kadar hizmet vermek için birkaç saniye içinde hazır olabilmelidir. Farklı bir uygulama için tesis edilmiş olan bir depolama ünitesi, şebeke içerisindeki konumu uygunsa ve ihtiyaç duyulduğu anda tesis edildiği amaç için çalışmıyorsa, şarj durumuna göre gerilim desteği fonksiyonunu da yerine getirebilir.

Gerilim desteği için kullanılan merkezi veya dağıtılmış depolama uygulamaları, gerilim desteğinin yanında uygun durumlarda arbitraj, zaman kaydırma, yan hizmetler ve şebeke entegrasyonları için kullanılabilir.

Tesis edilecek depolama birimlerinin merkezi veya dağıtık olması, lokasyonu ve kapasitesine göre etkisi değişecektir.

3.8. Uygulama 7: İletim Desteği

İletim desteği için kullanılan depolama sistemleri, gerilim düşümü, gerilim kararsızlığı ve senkron altı rezonans gibi olayları ve kesintileri telafi ederek iletim ve dağıtım seviyesinde sistem performansını iyileştirmek için kullanılmaktadır. İletim desteğinin faydaları, duruma ve uygulamaya göre değişmekle beraber başlıca faydaları aşağıdaki gibidir;

- Dinamik stabilitenin iyileştirilmesi ile yük kapasitesinin artırılması,
- Senkron altı rezonans frekanslarında aktif ve/veya reaktif güç modülasyonu sağlayarak daha yüksek seviyelerde seri kompanzasyona ek olarak sağlaması ve böylece hat kapasitesinin artırılması,
- Gerilim kararlılığının artırılması ve gerilime bağlı güç kalitesi olayları (dip/swell) etkisinin azaltılması,
- Yük atma gereksinimlerinin azaltılmasıdır.

3.8.1. Teknik hususlar

İletim desteği için kullanılacak enerji depolama sisteminin bir saniyenin altında yanıt verebilmesi, kısmi şarj durumunda çalışabilmesi ve hedeflenen ömrü boyunca çok kez şarj-deşarj döngüsüne dayanabilmesi gerekmektedir. Bu uygulama için iletişim ve kontrol sistemleri önemlidir. Ayrıca, iletim desteği için kullanılan depolama güvenilir olmalıdır. Bir iletim desteği uygulaması olarak depolamadan en verimli şekilde faydalanabilmek için hem aktif hem de reaktif güç sağlayabilmesi gerekmektedir.

İletim desteği için tipikdeşarj süreleri bir ile yirmi saniye arasındadır. Genellikle seçilendeşarj süresi beş saniyedir.

3.8.2. Uygulamanın faydaları ve diğer fonksiyonlar

İletim desteği için kullanılan depolama sisteminin diğer uygulamalar ile birlikte kullanılması genellikle mümkün değildir. Bununla birlikte, en yüksek talep veya en yüksek sıkışıklık zamanlarında iletim desteği için kullanılan depolama sistemi, ihtiyacı karşılayacakdeşarj süresine sahipse (örneğin, yardımcı hizmetler için bir saat veya daha fazla) diğer uygulamalarda da kullanılabilir.

3.9. Uygulama 8: Sıkışıklık Yönetimi

Enerji talebi hızındaki artış ve özellikle pik yük değerlerinin artış hızı, yatırım ve kapasite büyümelerindeki hızı aşabilmektedir. Dolayısıyla pik tüketim değerlerinin olduğu saatlerde

şebeke içerisinde sıkışıklık artmakta, bununla beraber her geçen gün yeni yatırımlara duyulan ihtiyaç da artmaktadır. Bu da enerjinin maliyetini etkileyen bir unsurdur.

Depolama, özellikle iletim sisteminde meydana gelebilecek sıkışıklıktan dolayı enerji maliyetlerinin artması durumunda, sıkışıklığın sebep olabileceği ilave maliyetlerden kaçınmak için kullanılabilir. Bu uygulamada depolama sistemleri, iletim sisteminde sıkışıklığın meydana geldiği noktadan daha alt kısımlarda belirlenecek noktalara tesis edilmelidir. Sıkışıklığın olmadığı dönemlerde enerji depolanacak (şarj) ve iletim kapasitesi gereksinimlerini azaltmak için sıkışıklığın meydana geldiği dönemlerde deşarj edilecektir.

3.9.1. Teknik hususlar

İletim seviyesinde yaşanabilecek sıkışıklık durumlarının giderilmesi için gereken deşarj süresi kolayca genelleştirilemez. Yatırım öteleme çalışmalarında olduğu gibi, yıl boyunca sıkışıklığın meydana geldiği süre yalnızca birkaç saat olabilir. Bu duruma bir çözüm olarak, uygulanabilecek depolama sisteminin de boyutunu optimize edebilmek adına, yılın belirli aylarında ve belirli zamanlarında meydana gelen sıkışıklık durumları mevcutsa bu zaman dilimleri için özel enerji fiyatları uygulanabilir. Arz ve talep her yıl değiştiği için sıkışıklık süresi için uygulanacak ücretler de her yıl revize edilecektir.

Bu uygulama için varsayılan deşarj süresi dört saat olarak kabul edilmektedir.

3.9.2. Uygulamanın faydaları ve diğer fonksiyonlar

Konum, şebeke yönetim şekli, deşarj süresi ve diğer koşullara bağlı olarak, iletim seviyesindeki sıkışıklığı gidermek için kullanılan depolama sistemleri arbitraj, tedarik kapasitesi, yardımcı hizmetler ve zaman kaydırma uygulamaları ile uyumlu olarak kullanılabilir.

3.10. Uygulama 9: Yatırım Öteleme

İletim ve dağıtım seviyesinde yatırım öteleme, nispeten küçük miktarlarda depolama üniteleri kullanarak iletim ve / veya dağıtım sistemi içerisinde ihtiyaç duyulan yatırımlarının ertelenmesini ve bazı durumlarda yatırımlardan tamamen kaçınılmasını kapsamaktadır. Kapasitesine yakın miktarda yüklenen elektriksel ekipmanlarda yük akış yönüne bağlı olarak

doğru noktalara tesis edilen depolama sistemleri, yeni yatırımlara ve kapasite genişlemesine duyulacak ihtiyacı erteleyebilecek veya ortadan kaldıracaktır.

Bu fonksiyonun hedefi, nispeten küçük miktarlardaki depolama ünitelerinin kullanılması ile iletim ve dağıtım seviyesindeki ekipmanların büyük maliyetler yaratabilecek yatırım ihtiyacını ertelemektir. Bu şekilde yatırım maliyetlerinin azaltılması, dolayısıyla enerji fiyatlarının artışının önüne geçilmesi hedeflenmektedir. Bu uygulamanın bir diğer faydası da kamu hizmeti sunan operatörlere ait şebeke ekipmanlarının kullanım oranının arttırılması ve bu yatırımlara harcanacak sermayenin farklı işler için kullanılabilir kalmasının sağlanmasıdır. Bir iletim veya dağıtım sistemindeki çoğu düğüm için en yüksek yük, yılda yalnızca birkaç saat olmak üzere belki birkaç günde gerçekleşir. Önemli olan bir diğer nokta da, tüm bu bilgiler ışığında uygulanacak sistemin yılın büyük bölümünde deşarj olmasına gerek olmayacağı ve yılın yalnızca belirli anlarında deşarj olmasına ihtiyaç duyulacağıdır. Günümüzde modüler depolama uygulamalarının da kullanılabilir hale gelmesiyle bazı depolama teknolojileri, bu uygulama için oldukça faydalı olabilmektedir.

Bu uygulamanın temel amacı yeni yatırımların ertelenmesi olmasına rağmen, bir diğer faydası da mevcut ekipman ömrünün uzatılmasıdır. Yani, depolama sistemleri, mevcut ekipmanın yüklenme değerini azaltacak ve aşırı yüklenmelerin önüne geçecek şekilde kullanılırsa, sistemdeki ekipmanların yaşlanma hızı azalabilmektedir. Bu durum özellikle uzun yıllardır devrede olan transformatörler ve yer altı kabloları için oldukça önemli bir avantaj olarak öne çıkmaktadır [43].

3.10.1. Teknik hususlar

Yatırım öteleme için kullanılacak depolama birimleri, mevcut ekipmanların aşırı yüklenmesinin önüne geçilebilecek kadar yükü, gereken süre boyunca besleyebilmelidir. Bu fonksiyon için bir varsayım yapılamasa da, deşarj süresi, yani kapasite, tesis edilecek sistem için kritik öneme sahiptir. Eğer analiz için gerekli veri mevcut değilse veya öngörü oluşturulamıyor ise, dağıtım şebekesi operatörleri ile birlikte değerlendirmeler gerçekleştirilerek sistemin devamındaki ekipmanların yeterlilikleri incelenebilir. Tesis edilecek sistemin kapasitesi için 3 ile 6 saat arasında olabilecek bir deşarj süresi referans alınabilir.

3.10.2. Uygulamanın faydaları ve diğer fonksiyonlar

Yatırım öteleme için tesis edilecek depolama sisteminin belirli zaman dilimleri içerisinde çalışması beklendiği için, diğer uygulamalar ile birlikte kullanılması da muhtemeldir. Bu fonksiyonlara örnek olarak arbitraj ve tedarik kapasitesi uygulamaları örnek olarak gösterilebilir. Tesis edilen sistemin karakteristik bilgileri ve şebeke içerisindeki lokasyonu da dikkate alınarak gerilim desteği, sıkışıklık yönetimi, güç kalitesi ve güvenilirlik uygulamaları ile birlikte de kullanılabilir. Dağıtık üretim birimlerinin yakınlara tesis edilecek depolama birimleri, üretim miktarına bağlı olarak tepe tıraşlama uygulamaları için de kullanılabilir.

3.11. Uygulama 10: Hizmet Güvenilirliği

Hizmet güvenilirliği başlığı altında gerçekleştirilen uygulamalar, şebekeye bağlı kullanıcılara enerji sürekliliği sağlamak ve sunulan hizmetin kalitesini arttırmak için tesis edilen depolama uygulamalarını kapsamaktadır. Şebekenin bir kısmında veya belirli noktalar için meydana gelebilecek kesinti durumlarında, kesintiyi meydana getiren problemin ortadan kaldırılması veya çözüm uygulamalarının gerçekleştirilmesine kadar geçecek süre boyunca sistemin ilgili bölgesinin tesis edilecek depolama sistemleri ile beslenmesi olarak tanımlanabilir.

3.11.1. Teknik hususlar

Tesis edilecek sistemin kapasitesi, dolayısıyla deşarj süresi, işletme senaryosu ve şebekenin durumuyla doğrudan ilişkilidir. Eğer planlı çalışma veya kesinti yapılacaksa, 1 saatlik bir süre referans alınabilir. Anahtarlama işlemleri ve farklı besleme senaryoları arasında geçiş için gerekli ise, 15 dakikalık bir süre yeterli olacaktır. Dolayısıyla hizmet güvenilirliği başlığı altında uygulama yapılacak olsa bile, ele alınan senaryonun tüm detayları ile belirlenmiş olması gerekmektedir. Tesis edilecek depolama sisteminin oldukça güvenilir olması gerekmektedir.

3.11.2. Uygulamanın faydaları ve diğer fonksiyonlar

Tesis edilecek depolama sistemi, hizmet güvenilirliği uygulamasına ek olarak diğer uygulamalar içerisinde de yer alabilmek için yeterli kapasiteye sahipse, enerji maliyetinin azaltılması ve pik talebin yönetilebilmesi çalışmalarına da oldukça uygun olacaktır. Benzer şekilde yenilenebilir enerji tesisleri sebebiyle ihtiyaç duyulacak tepe tıraşlama operasyonları için de uygun bir çözüm olarak kullanılabilir.

Sistemin karakterine bağlı olarak hizmet güvenilirliği amacıyla tesis edilecek depolama sistemi diğer amaçlar doğrultusunda da kısmen veya tamamıyla kullanılabilir.

3.12. Uygulama 11: Güç Kalitesi

Güç kalitesi uygulamaları, kullanıcılara sağlanan elektrik enerjisi hizmetinin kalitesini arttırabilmek adına, kısa süreli olaylara bağlı olarak ortaya çıkan olumsuzlukların kullanıcılara yansıtılmamasını sağlayabilecek depolama birimlerinin tesis edilmesini kapsamaktadır [44]. Güç kalitesinin kötü olduğunu gösteren bazı işaretler aşağıdaki gibidir;

- Gerilim genliğinin değişimi (kısa süreli pik değerler veya düşüşler -sag/swell- , uzun süreli ve sınır değerlerin dışında gerilim değerleri),
- Temel bileşen frekans değerinin sınır değerlerin dışarısına çıkan değişimi,
- Harmonik bileşenler,
- Birkaç saniyeden dakikalara kadar uzanan kesintiler.

3.12.1. Teknik hususlar

Güç kalitesi için kullanılan depolama, yüksek kaliteli güç çıkışı üretmelidir. Güç kalitesi uygulamaları için tercih edilen depolama sisteminin kapasitesinin genellikle birkaç saniyeden bir dakikaya kadar uzanan zaman aralığında deşarj olabilmelerini kapsayacak seviyede olmalıdır.

3.12.2. Uygulamanın faydaları ve diğer fonksiyonlar

Şebekelerde güç kalitesi uygulaması için tesis edilecek depolama ünitelerinin deşarj süreleri kısa olacağı ve dağıtık şekilde yerleştirileceği göz önüne alındığında, bu uygulama için tesis edilecek sistemlerin diğer uygulamalar için kullanılabilir olması zor bir ihtimaldir.

3.13. Uygulama 12: Üretim Öteleme (Zaman Kaydırma)

Başta rüzgar enerjisi santralleri olmak üzere yenilenebilir enerji kaynağı kullanarak elektrik üreten üretim birimlerinin çoğu, bu üretimi yük yoğunluğunun az olduğu (gece saatleri, tatil dönemleri vb.) saatlerde gerçekleştirir. Yenilenebilir enerji üretim tesisleri ile birlikte kullanılacak depolama üniteleri, enerjinin fiyatının ucuz olduğu saatlerde gerçekleştirilen üretimi depolayarak, birim fiyatın yüksek olduğu saatlerde sistemin kapasitesine uygun olarak şebekeye aktarabilir.

3.13.1. Teknik hususlar

Üretim öteleme veya diğer adıyla zaman kaydırma uygulamaları için kullanılan depolama sistemi, yenilenebilir enerji üretim sahasında, yakınında veya yükler yoğunluğu bulunan bölgeler dahil olmak üzere şebekenin diğer kısımlarında yer alabilir. Yenilenebilir enerji üretiminde veya yakınında bulunan depolama ünitelerinden deşarj edilen enerjinin, yoğun saatlerde iletim sistemi yoluyla taşınması gerekirken, yüklere yakın bölgelerde bulunan depolama birimleri, yoğun olmayan zamanlarda iletilen düşük fiyatlı enerji kullanılarak şarj edilir. Tipik olarak, enerji zaman kaydırma uygulamaları için gereken deşarj süresi, yoğunlukla bölgede yük yoğunluğunun yüksek ve düşük olduğu saatlerin farkına ve enerji fiyatlarının tavan ve taban değerlerine bağlı olarak dört ile altı saat arasında değişmektedir.

Kesintili yenilenebilir enerji üretimi santralleri ile birlikte depolama sistemi kullanımı için bir diğer önemli kriter, yenilenebilir enerji üretimi ile elektrik enerjisinin fiyatının yüksek olduğu zamanların örtüşme derecesidir. Zaman kaydırma uygulamaları rüzgar enerjisi santralleri ile koordineli gerçekleştirilecek çalışmalar için uygun gözüktüğü de, güneş enerjisi santralleri için pek kullanılabilir değildir. Bunun temel sebebi, solar santrallerin üretim gerçekleştirdiği zaman diliminde yük miktarının hali hazırda yüksek olması olarak gösterilebilir.

3.13.2. Uygulamanın faydaları ve diğer fonksiyonlar

Tesis edilen depolama sisteminin konumu, sistemin diğer uygulamalar ile birlikte kullanılabilmesini önemli derecede etkilemektedir. Buna ilave olarak sistemin deşarj süresi, güç değeri ve tepki süresi gibi diğer parametreler de farklı uygulamalar ile birlikte kullanılabilmesi değerlendirilirken göz önünde bulundurulması gereken unsurlardır. Üretim öteleme için tesis edilen sistemler, şartların uygun olması durumunda tedarik sürekliliği ve hizmet kalitesinin arttırılabilmesi için kullanılabilir. Ayrıca merkezi olarak tesis edilecek bir depolama sistemi, yeterli kapasiteye sahip olması durumunda geniş alan yönetimi için de kullanılabilir. Eğer depolama birimleri dağıtık olarak yük bölgelerine tesis edilmiş ise gerilim desteği ve sıkışıklık yönetimi uygulamaları ile yatırım öteleme çalışmaları için de kullanılabilir.

3.14. Uygulama 13: Şebeke Entegrasyonları

Yenilenebilir enerji uygulamalarının artan kullanımının kilit bir unsuru olan rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisi ile elektrik üreten santrallerinin entegrasyon oranının yüksek olduğu sistemlerde, bu santrallerin bazı olumsuz etkileri şebeke üzerine yansıyabilmektedir.

Şebekeye bağlı rüzgâr ve güneş enerjisi santrallerinin sayısı ve toplam kurulu güçlerinin değeri arttıkça, bu santrallerin sebep olacağı etkilerin yoğunluğunun da artışı kaçınılmazdır. Bu doğrultuda doğru şekilde planlanarak uygulamaya geçirilen depolama üniteleri, santrallerin sebep olduğu olumsuzlukların etkisini azaltabilmekte veya tümüyle önüne geçebilmektedir. Bu fonksiyon için depolama sistemi uygulamaları kısa süreli uygulama amaçları ve uzun süreli uygulama amaçları olarak ikiye ayrılmaktadır.

Kısa süreli uygulama amaçları;

- Çıkış gücündeki dalgalılığın azaltılması,
- Güç kalitesinin iyileştirilmesi,

olarak gruplandırılabilir. Uzun süreli uygulama amaçları ise;

- Çıkış gücündeki dalgalılığın azaltılması,

- “duck-curve” eğrilerinin düzenlenmesi,
- Sıkışıklık yönetimi,
- Rüzgar şiddetindeki ani değişimlerin etkisinin azaltılması,
- Ani yük değişimlerinin etkisinin azaltılması,

şeklinde gruplandırılabilir.

3.14.1. Teknik hususlar

Rüzgar ve güneş santralleri sebebiyle şebekede meydana gelebilecek sıkışıklığa ve tedarik kapasitesi sağlanmasına yönelik uygulamalar için depolama sisteminin özel bir teknik karakteristiğe sahip olmasına ihtiyaç yoktur. Özellikle çok sayıda depolama ünitesinin tesis edileceği senaryolarda bir nevi yedekli çalışılacağı için birimlerin güvenilirliği de ikinci planda değerlendirilebilir. Ancak rüzgar santrallerinin kesintili üretim karakteristiği göz önüne alındığında, güç kalitesinin iyileştirilmesi için tesis edilecek ünitelerin hızlı şekilde tepki verebilmesi beklenmektedir. Güç kalitesinin iyileştirilmesine yönelik uygulamalarda çok sayıda ve hızlı şekilde gerçekleştirilecek şarj/deşarj operasyonlarının sistem operatörünün perspektifinden bakıldığında faydalı olabilmesi için depolama ünitelerinin verimliliğinin yüksek olmasına ilave olarak çok sayıda şarj/deşarj döngüsüne dayanabilir olması beklenecektir.

3.14.2. Uygulamanın faydaları ve diğer fonksiyonlar

Güç kalitesi başlığı altındaki altı uygulama alt türü için teknik ve operasyonel ihtiyaçlar çok fazla değişiklik gösterdiğinden, yenilenebilir enerji santrallerinin şebeke entegrasyonu için gerçekleştirilen uygulamaların diğer fonksiyonlar ile birlikte kullanılması pek mümkün olmayabilir. Yine de üretim öteleme ve üretim profilinin düzenlenmesine ilişkin uygulamalar, şebeke entegrasyonu için tesis edilecek depolama sistemleri ile birlikte gerçekleştirilebilir. Bu uygulamalar için rüzgar üretimi ile birlikte kullanılan depolama sistemlerinin etkinliği, rüzgar hızında yaşanacak değişikliklerden dolayı etkilenebilmektedir.

Çıkış gücündeki dalgalanmanın azaltılması için uygulanacak sistemin, başka herhangi bir uygulama alt türü veya bu raporda açıklanan diğer birincil uygulamaların herhangi biriyle uyumlu olması beklenemez. Buna sebep olan dalgalanmayı düzenlemek için kullanılan depolama neredeyse her zaman hizmete hazır olmalıdır. Benzer şekilde güç kalitesi hizmetleri için tasarlanmış depolama birimleri de, kısa bir deşarj süresine sahip olacağından, diğer uygulamalar kapsamında kullanımı uygun olmayabilir.

Çıkış gücünün anlık değerine ve depolama sisteminin şebeke içerisindeki konumuna bağlı olarak, sıkışıklık yönetimi için tesis edilecek sistemler diğer uygulamalar kapsamında kullanıma da uygun olabilir. Bu durum işletme senaryosu ve şebekenin yapısına göre değişiklik gösterebilir.

Eğer tesis edilen depolama birimleri dağıtık şekilde yerleştirilmiş ise, yatırım öteleme ve güvenilirliğin artırılması için bu birimlerden faydalanılabilir.

4. KKTC ELEKTRİK ŞEBEKESİ

Yüzölçümü 9 251 km² olan Kıbrıs Adası, Sicilya ve Sardunya'dan sonra Akdeniz'deki üçüncü büyük adadır. Adanın 3 355 km²'si Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti (KKTC), geri kalanı ise Kıbrıs Rum Yönetimi (KRY)'ya aittir. Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nde şebekede yönetici kuruluş Kıbrıs Türk Elektrik Kurumu (KIB-TEK)'tir. KKTC'de enerji arzı; dizel ve buhar jeneratörler, yenilenebilir enerji kaynakları ve Güney Kıbrıs Rum Kesimi'nden alınan enerji ile sağlanmakta olup, KIB-TEK'e bağlı farklı türde yaklaşık 186 bin tüketici bulunmaktadır.

4.1. Ada Şebeke Yapıları

Ada elektrik şebekeleri veya izole elektrik şebekeleri, çeşitli nedenler ile (coğrafi, teknik vb.) sistem dengesi ve üretim gücü yüksek başka bir şebeke ile bağlantısı bulunmayan veya kısıtlı olan ve bundan dolayı tüm üretim, iletim ve dağıtım aşamalarının şebeke içerisinde gerçekleştiği elektrik şebekeleridir. Bu tarz şebekeler genellikle düşük üretim kapasitesine ve düşük kullanıcı sayısına sahiptirler.

Ada şebekelerinde elektrik enerjisi üretimi çeşitli metotlar ile yapılmasına rağmen bir adada bulunan üretim çeşitliliği genelde kısıtlıdır. Bu üretim metotları arasında; fosil yakıt temelli üretimler (genellikle dizel jeneratörler), hidroelektrik temelli üretimler ve yenilenebilir enerji üretimleri bulunmaktadır. Ada şebekelerinde üretim, iletim ve dağıtım genellikle tek bir kurum tarafından yönetilmekte ve birden fazla paydaşın bulunduğu elektrik marketi bulunmamaktadır.

Ada veya izole şebeke sistemleri, genellikle düşük kapasiteye sahip ve tek bir noktada bulunan ana santraller yardımıyla enerji talebini karşılarlar. Ada şebekelerinde yenilenebilir enerji kaynak kullanımının artması nedeniyle söz konusu geleneksel üretim modelinden, dağıtık üretim modeline doğru geçiş yaşanmaktadır.

Ada şebekeleri, içinde bulundukları koşullar gereği konvansiyonel şebekelere kıyasla farklı karakteristik özelliklere sahiptir. Bu şebekelerde genellikle farklı bir şebeke ile bağlantı bulunmaz veya kısıtlı bağlantılar söz konusudur. Bu nedenle tüm üretim ve tüketim şebeke içerisinde gerçekleşir. Bu durum, depolama imkânları kısıtlı olan ada şebekelerinde arz ve

talep dengesinin gerçek zamanlı sağlanması gerekliliğini ortaya çıkarmakta ve şebeke dengesini korumada riskler oluşturabilmektedir. Bu risklere örnek olarak ada şebekelerinde bulunan üretim çeşitliliğinin azlığından dolayı anlık yük değişikliklerine cevap verilememesi veya santral bakımlarının kesintilere neden olması gösterilebilir.

Ada şebekeleri ayrıca dönemsel ve günlük zaman aralıkları içerisinde normal bir şebekeye göre çok fazla yük değişimi yaşarlar. Bu durum şebekede enerji kalitesi sorunları beraberinde getirebilmektedir.

Ada şebekeleri, kolay erişilebilirlik ve yakıt ihtiyacı bulunmaması gibi durumlardan dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmiştir. Fakat bu enerji kaynaklarının doğası gereği üretim gücü sınırlı olan ada şebekelerinde teknik kısıtlar ve problemler meydana gelmektedir.

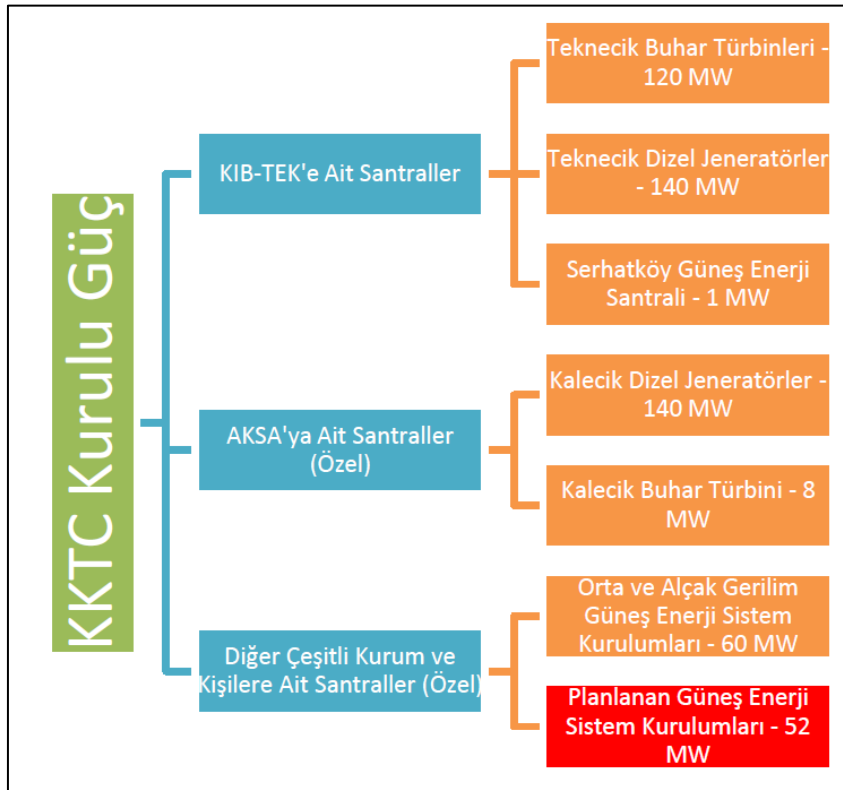
Ada ve izole şebekelerin yaşamış olduğu bazı zorluklar ve bu zorlukların getirdiği birtakım problemler Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Ada şebekeleri zorluk ve problemler

Zorluk	Sonuç	Etki
Azalan Senkron Enerji Üretim Seviyesi	Sistem kararlılığı ve sistem ataletinin azalması	- Daha fazla frekans değişimi, yük atma ve sistem çöküş riskinin artması
		- Sistem kararlılığı için yenilenebilir enerji üretiminin azaltılması, sistem çalıştırma maliyetlerinin artması
		- Şebeke bölünme riskinin artması
	Reaktif güç kaynaklarının azalması	- İletim kayıplarının artması

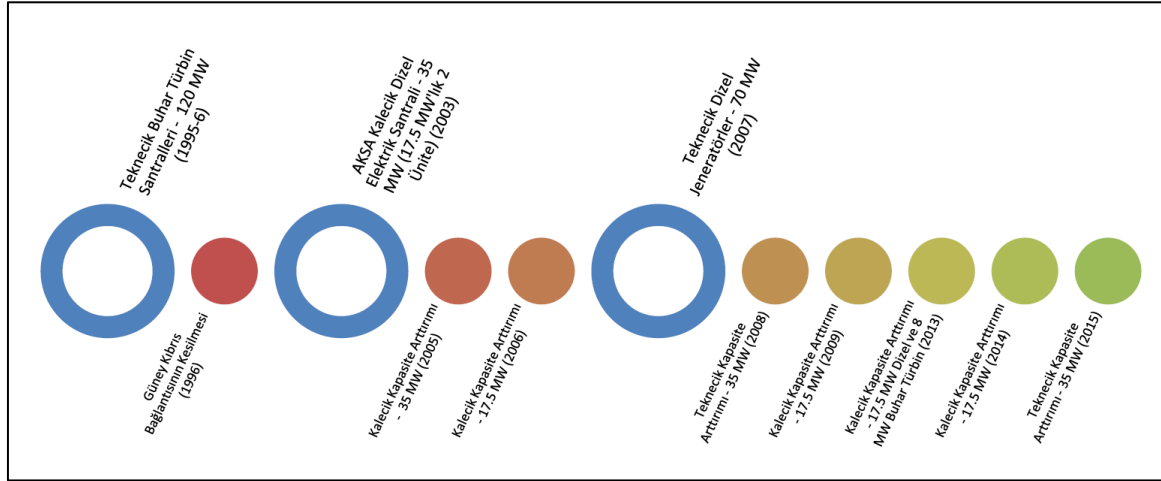
4.2. Kurulu Güç

Genel olarak ada şebekelerinde tercih edilen üretim tipi olan dizel jeneratörler, KKTC şebekesinin de ana elektrik üretim kaynağı olarak kullanılmaktadır. Bu kaynaklar dışında buhar türbinleri ve güneş enerji sistemleri de bulunmaktadır. Mevcut durumda, adada yaklaşık 408 MW konvansiyonel kurulu güç ve yaklaşık 60 MW yenilenebilir enerji (güneş) kurulu gücü bulunmaktadır. Kurulu gücün kurumlara göre dağılımı Şekil 4.1’de görülebilir.



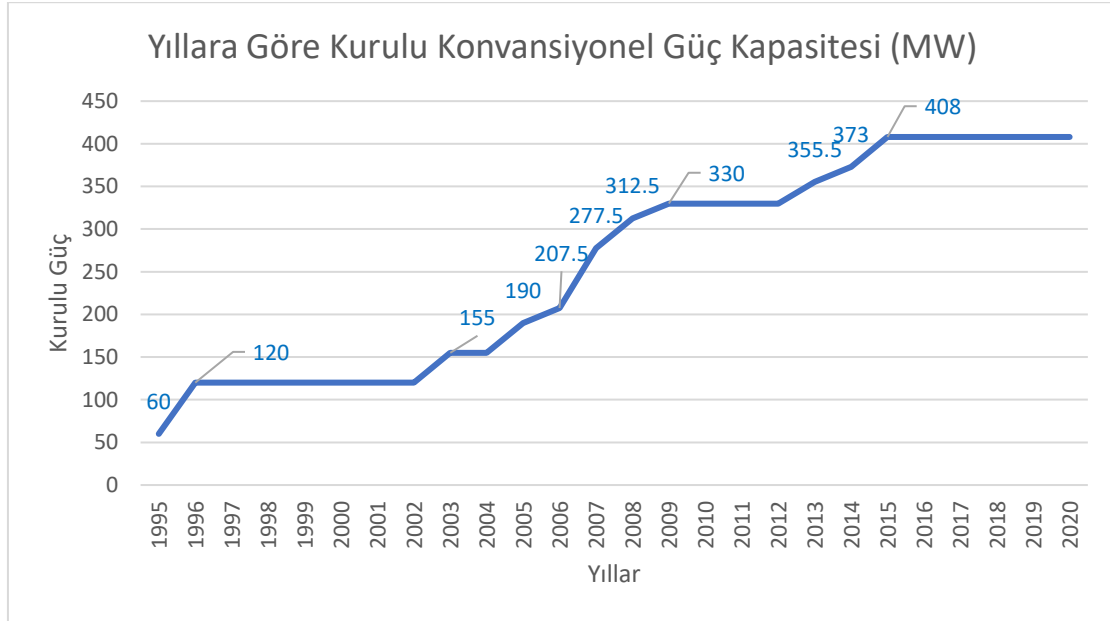
Şekil 4.1. Kurulu gücün kurumlara göre dağılımı

KKTC'nin artan enerji talebini karşılamak için KIB-TEK tarafından 1995 yılından beri kurulan santrallerin tarihçesi Şekil 4.2’de görülebilir.

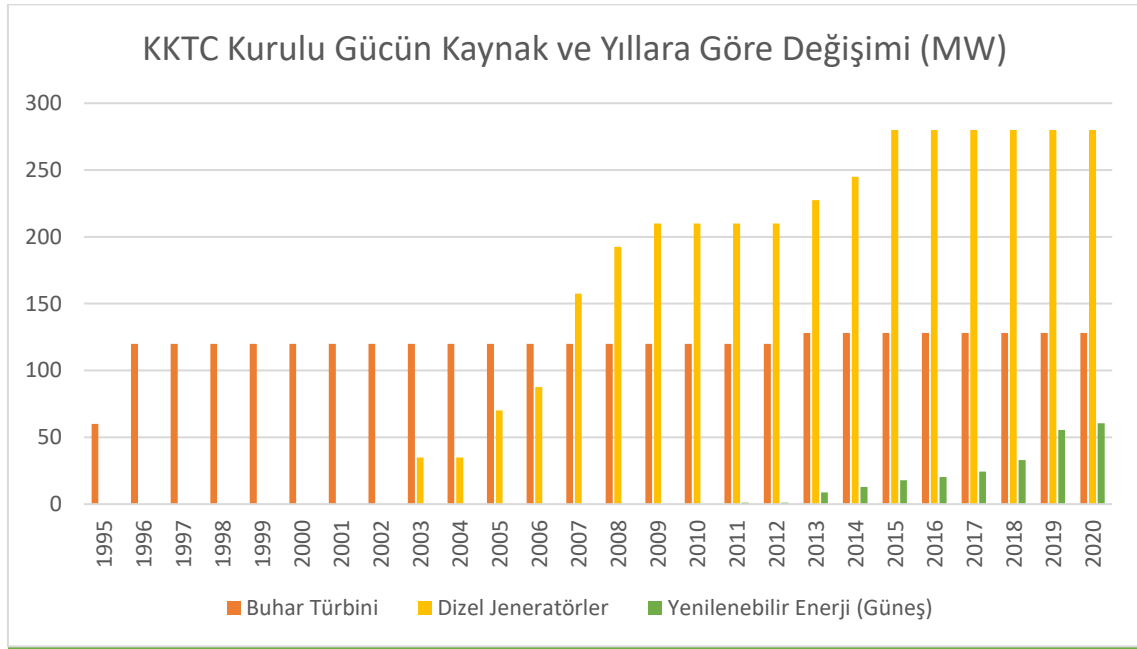


Şekil 4.2. KKTC santral kurulum kronolojisi

KKTC'de talebi karşılamak adına KIB-TEK, 1995 yılından beri konvansiyonel tipte kurulu gücü artıracak doğrultuda yatırımlar gerçekleştirmektedir. KKTC'deki yenilenebilir enerji dışındaki kurulu gücün yıllara göre değişimi Şekil 4.3.'te ve tüm kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı ise Şekil 4.4.'te verilmiştir.



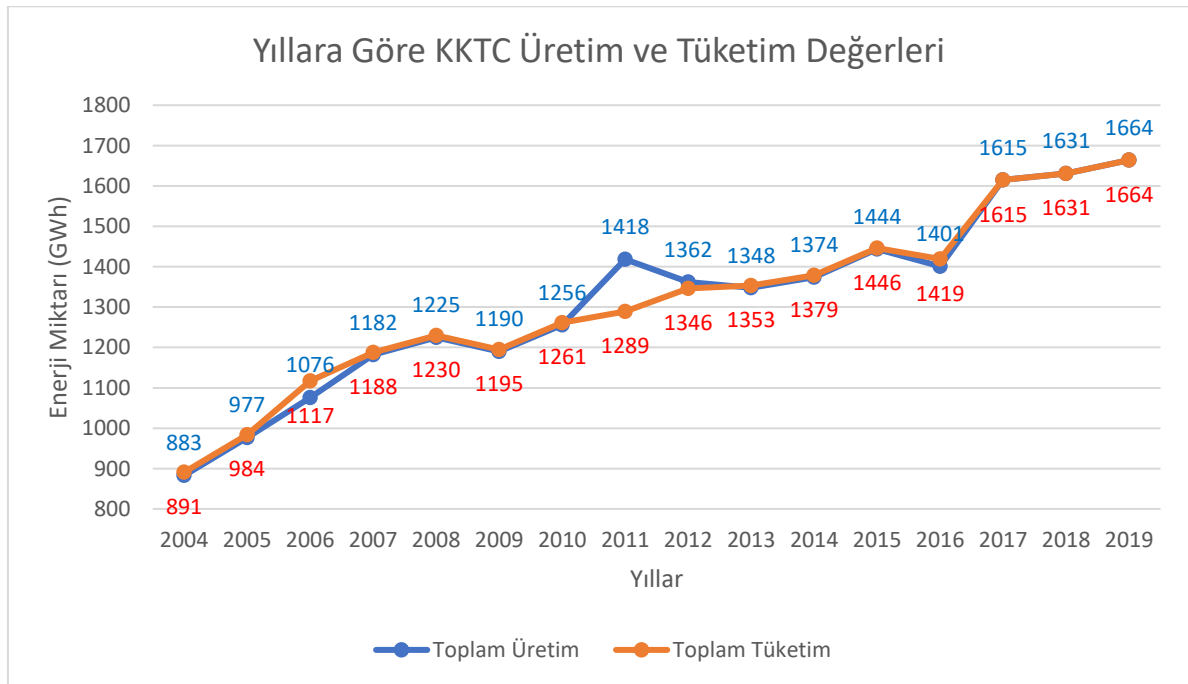
Şekil 4.3. Kurulu gücün yıllara göre değişimi



Şekil 4.4. Kurulu gücün kaynaklara göre değişimi

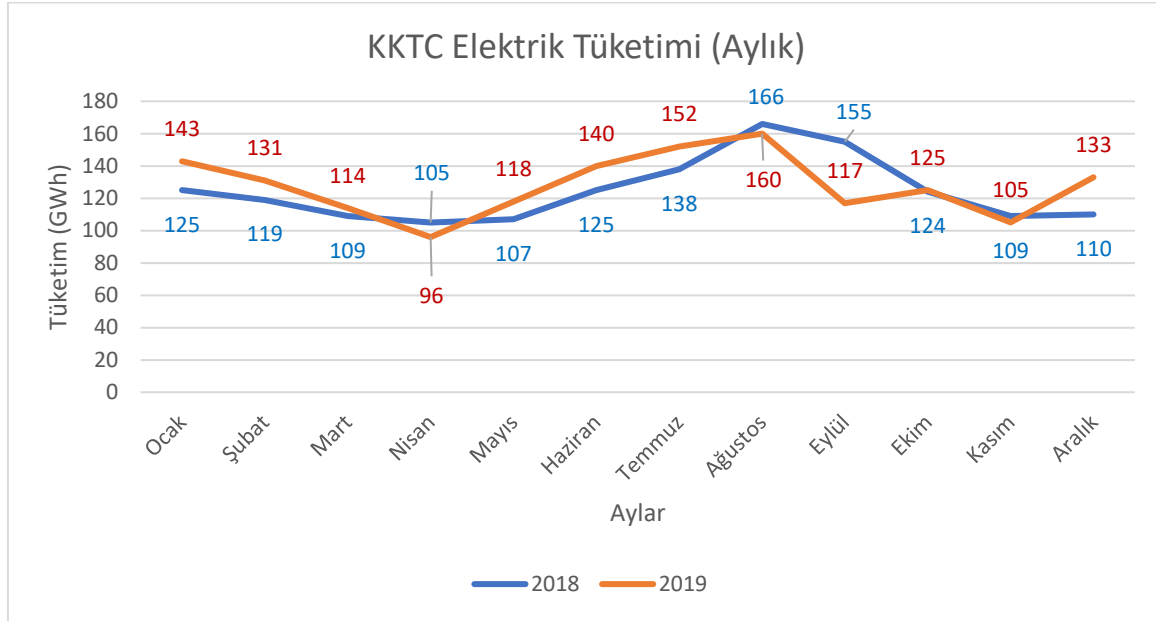
4.3. Üretim Ve Tüketim

KKTC tüketim miktarı, dalgalanmalara rağmen sürekli artış eğilimindedir ve 2019 yılında bu değer 1.664 GWh seviyesine ulaşmıştır. KKTC içerisindeki yıllık elektrik enerjisi üretim ve tüketim miktarının yıllara göre değişimi Şekil 4.5'te görülmektedir.



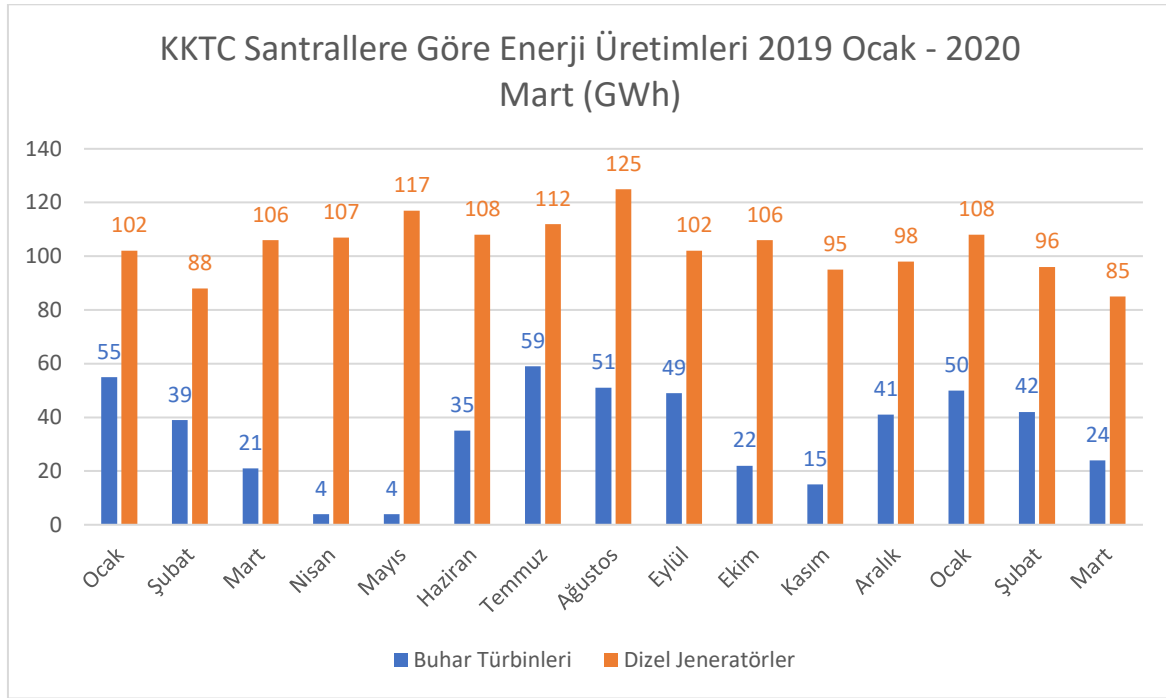
Şekil 4.5. Yıllara göre KKTC üretim ve tüketim değerleri

Yıl içindeki tüketim, yazların sıcak olmasının getirmiş olduğu iklimlendirme sistemlerin kullanımının artması nedeniyle yaz aylarında artış göstermektedir. Bununla beraber 2019 aylık yaz puant yükü (166 GWh), 2018 aylık yaz puant yüküne (160 GWh) göre azalmıştır. 2019 yılındaki yenilenebilir enerji sistemleri kurulu güç artışının bu değişimde etkili olduğu sonucuna varılabilir. KKTC aylık tüketim değişim grafiği Şekil 4.6’da yer almaktadır.



Şekil 4.6. KKTC aylık elektrik tüketimi

KIB-TEK kontrolünde bulunan konvansiyonel kaynaklar ve Serhatköy PV santrali 2019 yılı içerisinde 1664 GWh, 2020 ilk çeyreğinde ise 406 GWh elektrik enerjisi üretimi gerçekleştirmiştir. KIB-TEK’in yaptığı üretimin kaynaklara göre dağılımı Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7. KKTC enerji üretim miktarı 2019 Ocak – 2020 Mart

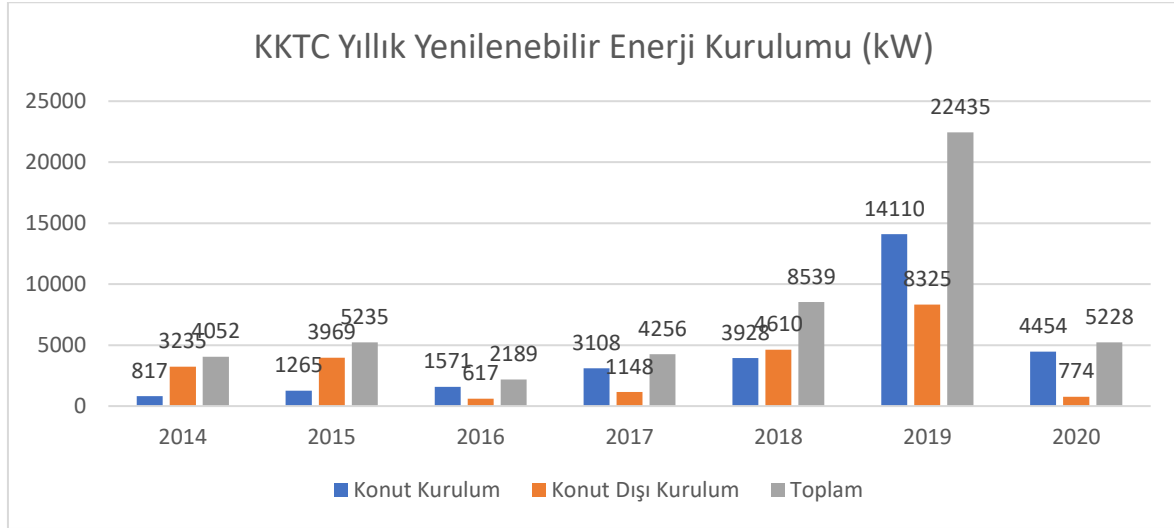
Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti’nde enerji üretimi, Teknecik santrali ve Kalecik santrali olmak üzere iki ana noktada yapılmaktadır. Teknecik Santrali’nde 8 adet 17,5 MW gücünde dizel jeneratör, 2 adet 60 MW gücünde buhar türbini bulunmaktadır. Kalecik Santrali’nde ise 8 adet 17,5 MW gücünde dizel jeneratör ve 10 MW gücünde buhar türbini bulunmaktadır. Geleneksel üretim modeli adadaki ana üretimi oluştururken, adada bulunan konut tipi güneş enerji sistemleri de dağıtık üretim modelini oluşturmaktadır.

Kullanılan dizel jeneratörler adanın ana enerji üretim kaynağını oluşturmakla beraber, cihazların doğası gereği belirli bir süre bakıma alınmaları gibi teknik kısıtlamaları bulunmaktadır. Bu tarz teknik kısıtlamalar adada hızlıca devreye alınabilecek yedek kaynak ihtiyacını arttırmaktadır.

4.4. Yenilenebilir Enerji

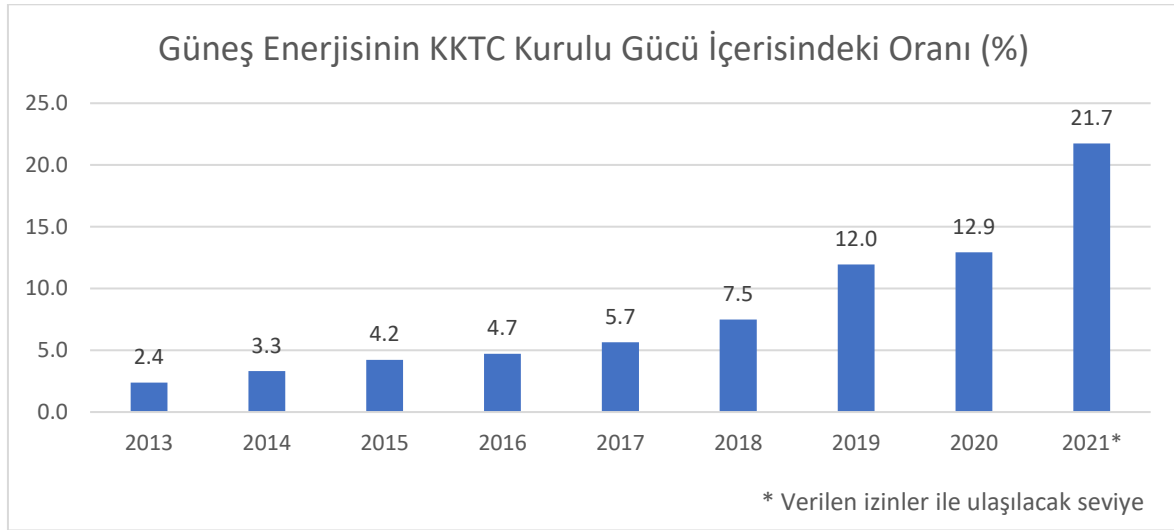
Küresel ısınma ve sınırlı kaynaklar yüzünden yenilenebilir enerji santralleri dünyada popülerliğini arttırmış, farklı tesislere ve araştırmalara ciddi miktarlarda yatırım yapılmıştır. Kıbrıs adası da hem ada şebekesine getirdiği avantajlar ve yüksek yenilenebilir (güneş) enerji potansiyeli sayesinde söz konusu enerji kaynaklarına yatırım yapmıştır.

Kıbrıs adasında yıl içerisinde metrekare başına 1900 ile 2500 kWh'lık güneş ışması gerçekleşmekte ve bu miktar Avrupa'nın en iyi güneş enerjisi potansiyeli olarak ölçülmektedir. Bu potansiyeli kullanmak için adada birçok güneş panel uygulaması ve yatırımı yapılmıştır. Eylül 2020 sonu itibari ile KKTC'de 60,64 MW yenilenebilir enerji kurulumu bulunmaktadır. KKTC'de gerçekleştirilecek yenilenebilir enerji kurulumları KKTC Ekonomi ve Enerji Bakanlığına bağlı Yenilenebilir Enerji Kurulu'nun iznine tabidir. Bu kurulun izin vermiş olduğu ve henüz kurulumu gerçekleştirilmemiş 52,75 MW'lık yenilenebilir enerji kapasitesi bulunmaktadır. 2014'ten beri yapılan güneş enerjisi sistem kurulum kapasitesi Şekil 4.8'de görülmektedir.



Şekil 4.8. KKTC yıllık yenilenebilir enerji kurulumu (kW)

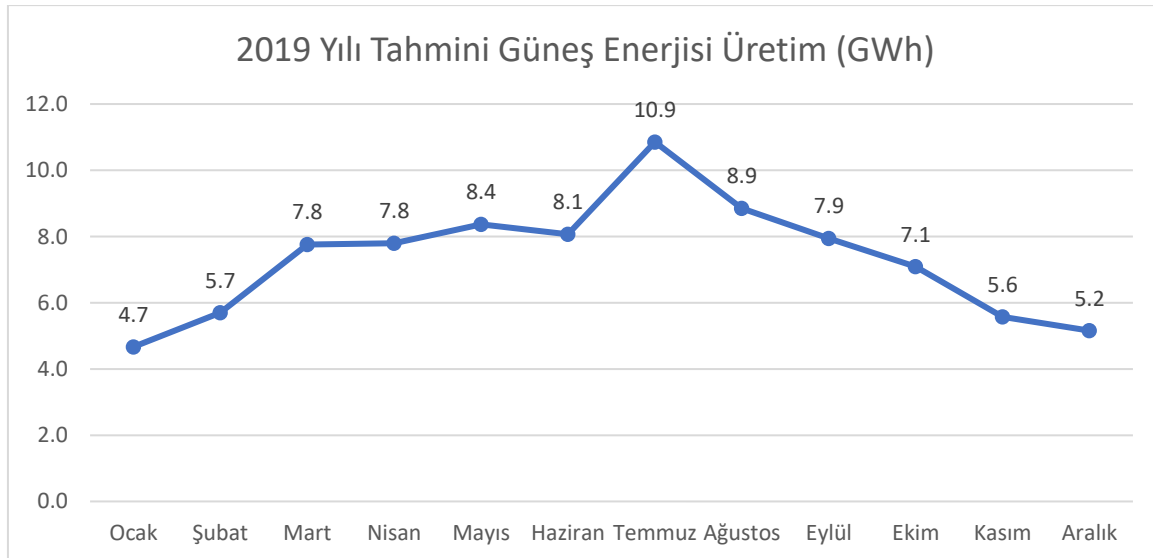
Güneş enerjisinden alınan verim bu konuda yapılan yatırımların artmasına neden olmuştur. Yenilenebilir enerji santralleri kurulu gücünün yıllara göre KKTC'deki toplam kurulu güce göre oranı Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.9. KKTC yenilenebilir enerjinin tüm üretim kaynaklarına oranı

Grafikte görüldüğü gibi %13 seviyesine ulaşan yenilenebilir enerji santrali kurulu güç oranının hali hazırda izni verilmiş santrallerin tamamlanması ile %22 seviyesine ulaşması beklenmektedir.

KKTC’de bulunan yenilenebilir enerji kaynaklarının çoğunun ürettiği enerji miktarı direkt ölçülememektedir. Bu durum veri sayısının az olmasına ve yapılabilecek analizlerin performansının azalmasına neden olmaktadır. KIB-TEK’in Serhatköy PV santrali için paylaştığı üretim miktarları baz alınarak hazırlanan tahmini KKTC yenilenebilir enerji üretim miktarı grafiği Şekil 4.10’da görülmektedir.



Şekil 4.10. KKTC 2019 yılı tahmini yenilenebilir enerji üretimi

Çizelge 4.2. YG trafo merkezleri ve gerilim seviyeleri

Trafo Merkezi	Gerilim Seviyesi	Trafo Merkezi	Gerilim Seviyesi
Teknecik ST 1	132 kV – 66 kV	Herakles	66 kV
Kalecik	132 kV – 66 kV	Lefkoşa	132 kV - 66 kV
Yenierenköy	132 kV	Cengizköy	132 kV
Bafra	132 kV	Güneşköy	132 kV
BEM	66 kV	ODTÜ	132 kV
Yeniboğaziçi	132 kV	Çamlıbel	132 kV - 66 kV
Geçitkale 1	132 kV – 66 kV	Alsancak	66 kV
Magosa 2	66 kV	Girne 1	66 kV
Magosa 1	66 kV	Girne 2	132 kV
Meriç	132 kV	Dikmen	66 kV
Haspolat	132 kV	Yılmazköy	66 kV

4.6. Dağıtım

Sistemde yüksek gerilim merkezlerine ulaştırılan elektrik enerjisi, 22 kV veya 11 kV’lık orta gerilim seviyelerine indirilerek bölgesel dağıtımlar gerçekleştirilmektedir. Bu seviyelere indirilmiş enerji OG-AG trafo merkezlerine ulaştırılarak, 415 V veya 240 V gerilim seviyelerine indirilerek dağıtım gerçekleştirilmektedir.

4.7. Şebeke Mevzuatı

KIB-TEK tarafından yönetilen şebeke için herhangi bir şebeke işletme yönetmeliği veya standart bulunmamaktadır. Şebeke, yasalar ve tüzükler doğrultusunda yönetilmektedir. Bu konuda kullanılan başlıca yasalar aşağıda başlıklar halinde verilmiştir.

- F_170 Elektrik Yasası

01 Mayıs 1941 tarihinde yürürlüğe giren Fası1-170 Elektrik Yasası (Aydınlatma ve Öteki Amaçlar İçin Elektrik Sağlanması Düzenleyen Yasa), çıkarılacak emirnamelerle özel tüzel kişilerin, gerçek kişilerin ve belediyelerin elektrik üretmesine imkân veren bir yasadır. Fası1 170, elektriğin üretimden nihaî tüketiciye ulaştırılmasına kadar olan süreçlere yönelik pek çok konuda Bakanlar Kurulu'nu yetkili kılmıştır.

- F_171 Elektrik İnkişaf Yasası

27 Ekim 1952 tarihinde yürürlüğe giren Fası1-171 Elektrik İnkişafı Yasası (Kıbrıs Elektrik İdaresi Olarak Anılacak Tüzel Kişiliğe Sahip Bir Kuruluşun Kurulması ve Bu Tüzel Kişinin Elektrik Üretimi ve Tedarikine ve Bazı Başka Konulara İlişkin Görev ve Yetkileri Yerine Getirmesi ve Kullanması ile ve Bu Tüzel Kişinin Elektrik İşletmelerini İktisap Etmesi ve Bu Amaçla Tazminat Ödenmesinin Düzenlenmesi ve Bu Konuların Tümüne İlişkin Amaçların Düzenlenmesini Öngören Yasa), tüzel kişiliği bulunan bir elektrik idaresi kurulmasını ve o tarihe kadar kurulan işletmelerin bu idareye devredilmesini düzenlemektedir.

KIB-TEK'in elektrik alanında faaliyet göstermesi yukarıda kısaca özetlenen bu iki yasaya dayanmaktadır. Bunun için bu yasalar çerçevesinde çıkarılan 1953 Elektrik Nizamnamesi ve 1954-1977 Elektrik İnkişaf Nizamnamesi, KIB-TEK'in faaliyetlerine temel teşkil eden diğer hukukî belgelerdir.

- 47_2011 Yenilenebilir Enerji Yasası

07 Ekim 2011 tarih ve 171 sayılı Resmî Gazete 'de yayımlanarak yürürlüğe giren "Yenilenebilir Enerji Yasası" yenilenebilir enerji sistemlerinin kurulumu konusunda, Bakanlar kurulunu ve kurula başvuru yapması için Ekonomi ve Enerji Bakanlığını yetkilendirmektedir. Ayrıca yasa içerisinde yenilenebilir enerji sistemleri konusunda hem

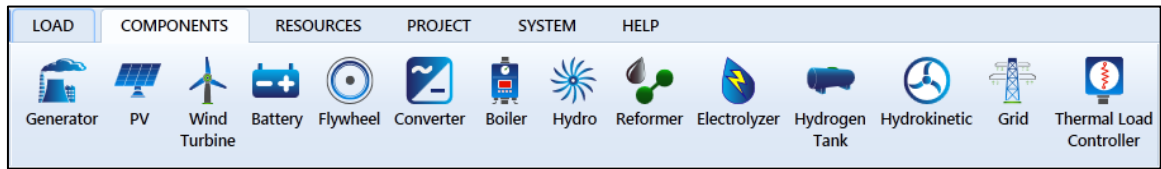
teknik destek verme hem de izin verme yetkisine sahip Yenilenebilir Enerji Kurulunun kurulumu da bulunmaktadır.

- Yenilenebilir Enerji Tüzüğü

5. HOMER (ÇOKLU ELEKTRİKLİ YENİLENEBİLİR KAYNAKLARIN HİBRİT OPTİMİZASYONU)

HOMER, enerji sistemlerinin optimizasyonunda kullanılan, bir optimizasyon uygulamasıdır. Bu uygulamada, çeşitli elektrik üretim-tüketim kaynakları kullanılarak yılın her saati için (8760 saat) için hesaplamalar yapılarak enerji üretimi, tüketimi ve maliyetleri değerlendirilebilir.

HOMER sistem elemanlarını 3 grup altında toplar. Bunlar; enerji kaynakları, dönüştürücüler ve enerji depolama elemanlarıdır.



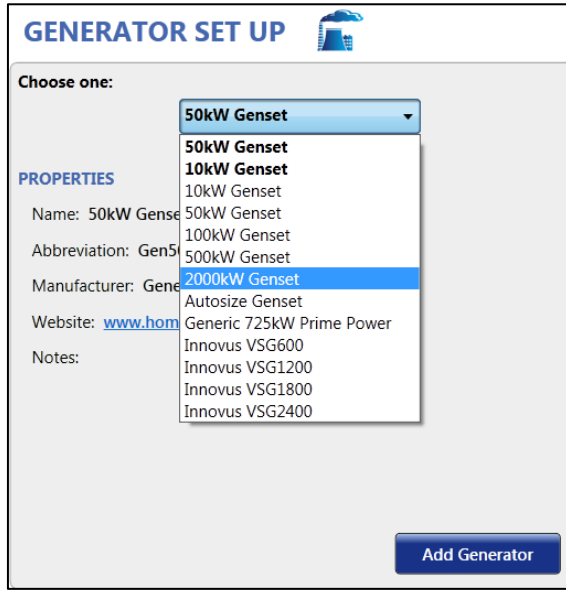
Şekil 5.1. Homer bileşenler

5.1. Enerji Kaynakları

Hibrid sistemlerde enerji kaynakları, enerji üretmekten sorumludurlar. HOMER veri tabanında bulunan enerji kaynakları; jeneratör, solar panel, rüzgar türbünü, ısıtıcı,elektrolizer, hidroelektrik santral, hidrokinetik türbün ve şebekelerdir.

5.1.1. Jeneratör

Fosil veya biokütle kullanarak enerji üreten sistem elemanıdır [45]. HOMER, bünyesinde Şekil 5.2’de belirtilen 3 ayrı firmanın 11 farklı jeneratörünü bulundurmaktadır. Listede olmayan ancak piyasada mevcut jeneratörler çeşitli parametreler ile istenilen şekilde yapılandırılabilir.

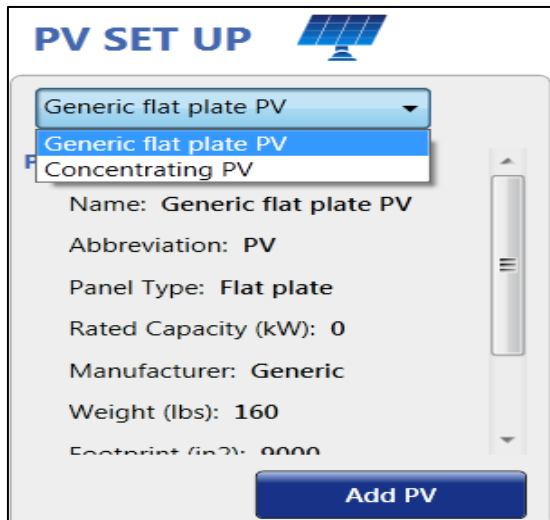


Şekil 5.2. Jeneratör çeşitleri

Yapılacak detaylı analizlerde, jeneratörün kapasitesi, ömrü, yıllık minimum çalışma süresi, hangi yük oranında çalışacağı gibi değerler girilebilir.

5.1.2. Solar panel

Solar paneller içerisindeki fotovoltaik hücreler sayesinde güneş enerjisini doğru akım enerjisine çeviren sistemlerdir [45]. HOMER veri tabanında 2 çeşit solar panel bulunmaktadır. Bunlar odaklanma özelliği ön planda olan Concentrating PV ve flat plate PV'lerdir (Şekil 5.3).

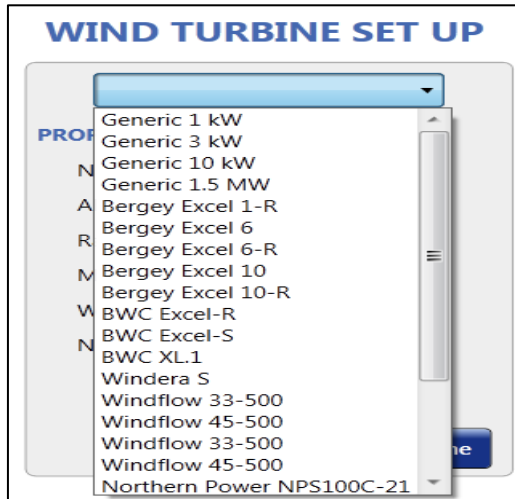


Şekil 5.3. Solar panel çeşitleri

Solar panel kullanılarak yapılacak detaylı analizlerde panelin çıkış gücü, çıkışında hangi bara tipinin bulunacağı, çevresel faktörler sebebiyle uğradığı kayıp, ömrü, bulunduğu bölgenin ışığı yansıtma miktarı, güneşi takip etme yeteneği, sıcaklıktan etkilenme oranı (çıkış gücü için), hücre sıcaklığı, normal test koşullarındaki verimliliği gibi değerler girilebilir.

5.1.3. Rüzgar türbini

Rüzgar türbinleri rüzgar enerjisinden, içerisinde bulundurdıkları mıknatıs sistemleri ile alternatif akım veya bulundurdıkları DC jeneratörler ile doğru akım üretmektedirler [45]. HOMER içerisinde 9 ayrı firmanın 22 farklı ürününü bulundurmaktadır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Rüzgar türbünü çeşitleri

Rüzgar türbini kullanılarak yapılacak detaylı analizlerde türbinin çıkışında hangi bara tipinin bulunacağı, merkez yüksekliği, ömrü, çıkış gücünün rüzgar hızıyla ilişkisi, çeşitli faktörler sebebiyle meydana gelen kayıplar ve bakım-onarım ihtiyacı gibi değerler girilebilir.

5.1.4. Şebeke

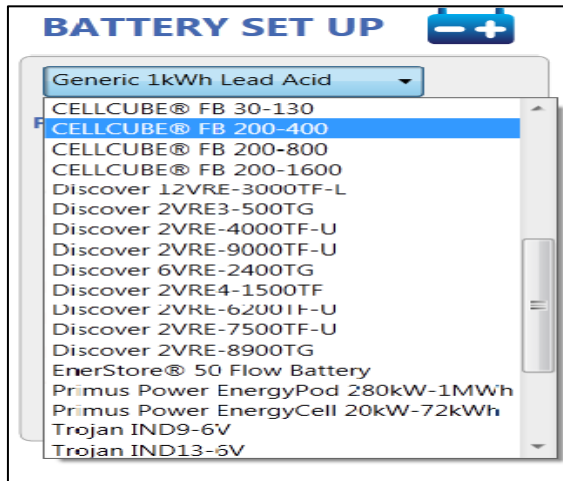
Elektrik şebekesi, üretilen elektril enerjisini kullanıcılara iletmek için oluşturulmuş ağıdır [45]. HOMER içerisinde “Simple Rates”, “Real Time Rates”, “Scheduled Rates” olmak üzere üç tip şebeke mevcuttur.

5.2. Enerji Depolama Elemanları

Enerji depolama elemanları, enerjiyi belirli formlarda depolayıp daha sonra ihtiyaç duyulduğu anda sisteme verebilen sistem elemanlarıdır [45]. HOMER veri tabanında bulunan enerji depolama elemanları batarya, volan ve hidrojen tankıdır. Uygulamada hazır olarak bulunmayan diğer enerji depolama elemanları (Hazneli Pompalı Hidroelektrik Santraller gibi) da HOMER’da modellenenbilmektedir.

5.2.1. Batarya

Enerjiyi kimyasal olarak depolayan sistem elemanıdır [45]. HOMER veri tabanında 9 ayrı firmanın 41 farklı ürününü bulundurmaktadır (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. Batarya çeşitleri

Batarya kullanılarak yapılacak detaylı analizlerde bataryadaki seri olarak bağlanmış eleman sayısı, bataryanın başlangıç sarj yüzdesi, bataryanın minimal sarj yüzdesi, bataryanın kWh cinsinden ömrü, minimum batarya ömrü gibi değerler girilebilir (Şekil 5.6).

BATTERY

Name:
Abbreviation:

Remove

Copy To Library

Properties

Round Trip Efficiency (%): 80

Float Life (years): 10

Maximum Capacity (Ah): 83.400

Capacity Ratio, c: 0.403

Rate Constant, k: 0.827

Suggested Life Throughput (kWh): 800

Max. Charge Rate (A/Ah): 1

Max. Charge Current (A): 16.6667

Max. Discharge Current (A): 24.33

Weight (lbs): 25

Volume (in3): 0.0125

Footprint (in2): 0.05

Website: www.homerenergy.com

Notes:

This is a generic 12 volt lead acid battery with 1 kWh of energy storage.

Costs

Quantity	Capital (TL)	Replacement (TL)	O&M (TL/year)	
1	300,00 TL	300,00 TL	10,00 TL	✕
Click here to add new item				

Multiplier:

Site Specific Input

Batteries per string: (12 V bus)

Initial State of Charge (%):

Minimum State of Charge (%):

Lifetime Throughput (kWh):

☐ Enforce minimum battery life?

Minimum battery life (yr)

Search Space

Batteries

0
1

Şekil 5.6. Batarya ekranı örnek görüntüsü

5.3. Dönüştürücüler

Hibrit sistemlerde dönüştürücüler, enerji dönüşümlerinden sorumludurlar [45]. AC-AC, AC-DC, DC-AC, DC-DC gibi dönüştürücü çeşitleri vardır. Ancak HOMER’da sadece AC-DC şeklinde bağlanan çift yönlü enerji dönüştürebilen “Converter” ve elektrik enerjisini termal enerjiye dönüştüren “Thermal Load Controller” bulunmaktadır.

“Converter” kullanılarak yapılacak detaylı analizlerde verimlilik, ömür ve converterin rectifier kapasitesinin inverter kapasitesine olan yüzde cinsinden oranı gibi değerler girilebilir (Şekil 5.7).

CONVERTER

Name: System Converter Abbreviation: Convert Remove Copy To Library

System Converter

Properties

Name: System Converter
 Abbreviation: Converter
 Manufacturer: Generic
 Weight (lbs): 1500
 Footprint (in2): 2000
 Website: www.homerenergy.com
 Notes: This is a generic system converter.

Costs

Capacity (kW)	Capital (TL)	Replacement (TL)	O&M (TL/year)
1	300,00 TL	300,00 TL	0,00 TL

Click here to add new item

Multiplier: {..} {..} {..}

Search Space

Size (kW)

100
0

Inverter Input

Lifetime (years): 15,00 {..}
 Efficiency (%): 90,00 {..}
☒ Parallel with AC generator?

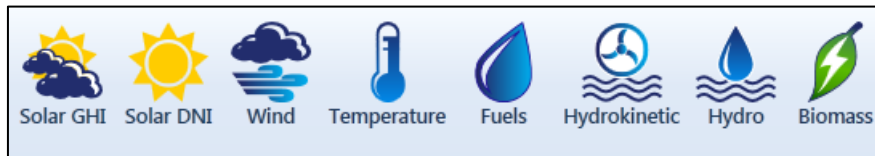
Rectifier Input

Relative Capacity (%): 100,00 {..}
 Efficiency (%): 85,00 {..}

Şekil 5.7. Converter ekranı örnek görüntüsü

5.4. Kaynaklar

Üretilen enerjinin hesaplanabilmesi için sistem elemanlarının özellikleri kadar kaynak özellikleri de önemlidir. HOMER bünyesinde her bir enerji kaynağı için farklı farklı kaynaklar bulunmaktadır. Bunlar; Solar GHI, SOLAR DNI, Wind, Temperature, Yakıts, Hydrokinetic, Hydro, Biomass olmak üzere 8'e ayrılmaktadır (Şekil 5.8).

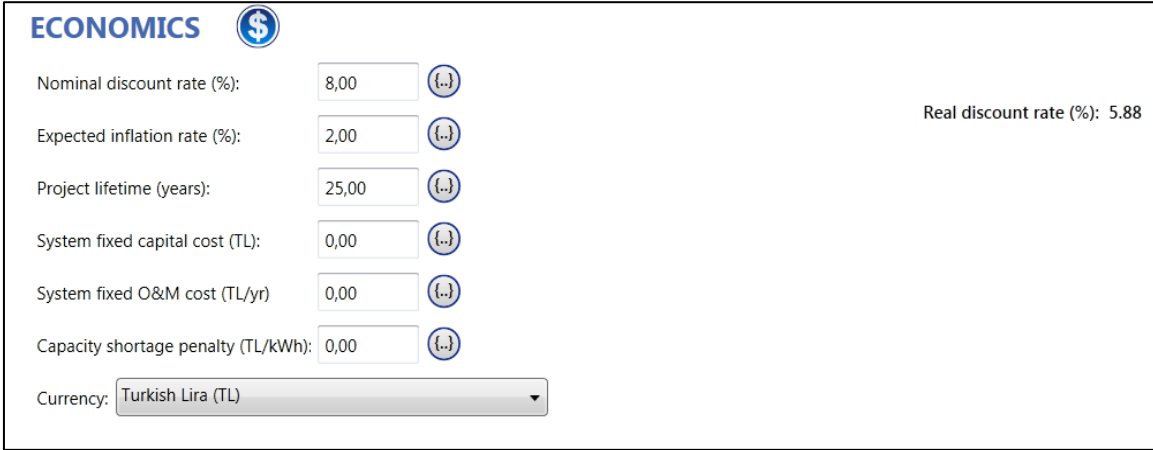


Şekil 5.8. Kaynaklar

HOMER, kaynaklar için gerekli verileri bilgisayardan sisteme yükleme ve internetten indirme imkanları sağlamaktadır.

5.5. Analiz ve Optimizasyon

Tasarlanan sistemin maliyet hesaplamaları HOMER ile yönetilebilmektedir. Maliyet hesapları için proje ömrü, indirim oranı, beklenen enflasyon oranı gibi parametreler girilebilir (Şekil 5.9).



The screenshot displays the 'ECONOMICS' section of the HOMER software interface. It features a list of input parameters for financial analysis, each with a text box for the value and a button with a dollar sign icon. The parameters and their values are:

- Nominal discount rate (%): 8,00
- Expected inflation rate (%): 2,00
- Project lifetime (years): 25,00
- System fixed capital cost (TL): 0,00
- System fixed O&M cost (TL/yr): 0,00
- Capacity shortage penalty (TL/kWh): 0,00

Below these inputs is a dropdown menu for 'Currency' set to 'Turkish Lira (TL)'. On the right side, the calculated 'Real discount rate (%)' is displayed as 5.88.

Şekil 5.9. "Economics "ana ekran görüntüsü

Tasarlanan sistemin optimizasyon ayarları da HOMER ile yönetilebilmektedir. Kullanıcılar ekonomi, yakıt veya ağırlık bazında optimizasyon yapabilmektedirler. Bunun dışında uygulamada, “ Sisteme iki tip rüzgar türbünüyle çalışması için izin ver.” , “Sistemin jeneratör kapasitesinin yük kapasitesinden küçük olabilmesine izin ver.” gibi seçenekler bulunmaktadır. Aynı zamanda sistem hesaplamalarının periyodu da dakika cinsinden değiştirilebilmektedir (Şekil 5.10).

HOMER, tasarlanana sisteme belirli sınırlandırmalar konulmasına olanak sağlamaktadır. Optimizasyon ve analiz hesaplamaları yapıldıktan sonra bu sınırlamalara uymayan olasılıklar elimine edilmektedir.

CONSTRAINTS

Maximum annual capacity shortage (%): 0,00 (x)

Minimum renewable fraction (%): 0,00 (x)

Operating Reserve

As a percentage of load

Load in current time step (%): 10,00 (x)

Annual peak load (%): 0,00 (x)

As a percentage renewable output

Solar power output (%): 25,00 (x)

Wind power output (%): 50,00 (x)

Şekil 5.10. “Constraints” ana ekran görüntüsü

5.6. Sonuçlar

Optimize ve analiz edilen sonuçların gösterildiği bölümdür. Sonuçlar 2 farklı şemaya ayrılarak gösterilmektedir. Bunlar Sensitivity Cases ve Optimization Cases’dir.

“Sensitivity Cases” bölümünde, sistem oluşturulurken girilen hassas değerler ile hesaplamalar yapıp teker teker kullanıcıya sunulmaktadır. Bu da kullanıcıya herhangi iki hassas koşul arasında optimizasyon yapma olanağı sunmaktadır. Örneğin; Şekil 5-11’de Solar GHI :5, 6, 7, 8, 9 ve Rüzgar hızı:10, 15, 20, 25 hassas değerleri girilmiştir. Maliyet optimizasyonu göz önünde bulundurulduğu takdirde açıkça görünmektedir ki sistem minimum maliyeti Solar GHI:9 ve Rüzgar hızı:15 iken elde etmektedir (Şekil 5.11).

Export...		Column Choices...		Sensitivity Cases: Left Click on sensitivity case to see optimization cases.																	
Sensitivity		Architecture								Cost			System	PV		MP-C					
Solar Scaled Average (kWh/m ² /day)	Wind Scaled Average (m/s)					PV (kW)	PVDC (kW)	MP-C	FB200-400	Grid (kW)	BDI 3P (kW)	Dispatch	COE (TL)	NPC (TL)	Operating cost (TL)	Initial capital (TL)	Ren. Frac. (%)	Capital Cost	Production	Capital Cost	Production
9	15					300	300	1	1	999.999	125	CC	-0.190 TL	-5.24 TLM	-873.178 TL	6.05 TLM	98	1.810.000	534.788	1.200.000	1.588.722
8	15					300	300	1	1	999.999	125	CC	-0.189 TL	-5.19 TLM	-868.972 TL	6.05 TLM	98	1.810.000	525.522	1.200.000	1.588.722
7	15					300	300	1	1	999.999	125	CC	-0.188 TL	-5.11 TLM	-863.239 TL	6.05 TLM	97	1.810.000	512.566	1.200.000	1.588.722
6	15					300	300	1	1	999.999	125	CC	-0.186 TL	-5.02 TLM	-856.124 TL	6.05 TLM	97	1.810.000	496.553	1.200.000	1.588.722
5	15					300	300	1	1	999.999	125	CC	-0.181 TL	-4.83 TLM	-841.316 TL	6.05 TLM	97	1.810.000	463.485	1.200.000	1.588.722
9	20					300	300	1	1	999.999	125	CC	-0.166 TL	-4.27 TLM	-797.773 TL	6.05 TLM	94	1.810.000	534.788	1.200.000	1.399.662
8	20					300	300	1	1	999.999	125	CC	-0.165 TL	-4.21 TLM	-793.775 TL	6.05 TLM	94	1.810.000	525.522	1.200.000	1.399.662
7	20					300	300	1	1	999.999	125	CC	-0.163 TL	-4.14 TLM	-788.274 TL	6.05 TLM	94	1.810.000	512.566	1.200.000	1.399.662
6	20					300	300	1	1	999.999	125	CC	-0.161 TL	-4.05 TLM	-781.167 TL	6.05 TLM	94	1.810.000	496.553	1.200.000	1.399.662
5	20					300	300	1	1	999.999	125	CC	-0.156 TL	-3.86 TLM	-766.481 TL	6.05 TLM	94	1.810.000	463.485	1.200.000	1.399.662
9	10					300	300	1	1	999.999	125	CC	-0.153 TL	-3.67 TLM	-751.338 TL	6.05 TLM	97	1.810.000	534.788	1.200.000	1.317.242
8	10					300	300	1	1	999.999	125	CC	-0.151 TL	-3.61 TLM	-747.054 TL	6.05 TLM	97	1.810.000	525.522	1.200.000	1.317.242
7	10					300	300	1	1	999.999	125	CC	-0.149 TL	-3.53 TLM	-741.239 TL	6.05 TLM	97	1.810.000	512.566	1.200.000	1.317.242
6	10					300	300	1	1	999.999	125	CC	-0.146 TL	-3.44 TLM	-734.180 TL	6.05 TLM	97	1.810.000	496.553	1.200.000	1.317.242
5	10					300	300	1	1	999.999	125	CC	-0.141 TL	-3.25 TLM	-719.197 TL	6.05 TLM	97	1.810.000	463.485	1.200.000	1.317.242
9	25					300	300	1	1	999.999	125	CC	-0.122 TL	-2.79 TLM	-683.251 TL	6.05 TLM	89	1.810.000	534.788	1.200.000	1.117.600
8	25					300	300	1	1	999.999	125	CC	-0.121 TL	-2.73 TLM	-679.237 TL	6.05 TLM	88	1.810.000	525.522	1.200.000	1.117.600
7	25					300	300	1	1	999.999	125	CC	-0.118 TL	-2.66 TLM	-673.566 TL	6.05 TLM	88	1.810.000	512.566	1.200.000	1.117.600
6	25					300	300	1	1	999.999	125	CC	-0.115 TL	-2.57 TLM	-666.671 TL	6.05 TLM	88	1.810.000	496.553	1.200.000	1.117.600

Şekil 5.11. “Sensitivity Cases” örneği

“Optimization Cases” bölümünde, girilen optimizasyon seçeneklerini değerlendirilir. Bunlar rüzgar türbünü çıkış gücü, solar panel çıkış gücü, batarya sayısı, converter verimliliği gibi değerlerdir.

Örneğin; Şekil 5.12’de Batarya sayısı: 1, 2, 3, 4, 5 ve Converter çıkış gücü: 125 kW, 300 kW, 500 kW, 1000 kW olarak seçilmiştir. Şekilde kırmızı ile gösterilen kısımda HOMER sistem elemanlarının mevcut olup olmaması ile ortaya çıkacak durumlarda sonuçları hesaplamaktadır. Şekilde yeşil ile gösterilen kısımda sistemde kullanılacak ise, kullanılacak olan batarya sayısını optimize etmektedir. Şekilde Siyah ile gösterilen kısımda Converterın çıkış gücü optimize edilmektedir. Şekilde kahverengi olan kısımda ise maliyet hesaplamaları gözükmektedir. Kahverengi kısma göre maliyetin en düşük olduğu durum için ; Solar panel 300kW, rüzgar türbünü 300kW, converter 125kW ve batarya sayısının 1 olduğu gözükmektedir. Buradan çıkarılabilecek bir diğer sonuç ise; batarya sayısının 1 ve converter gücünün 125 kW olduğu ve solar panelin kullanılmadığı durumun batarya sayının 2 ve converter gücünün 500kW olduğu fakat solar panel kullanıldığı durumdan daha kârlı olduğudur (Şekil 5-12).

Export...

Optimization Cases: Left Double Click on simulation to examine details.

Categorized Overall

Architecture										Cost			System	PV		MP-C		FB200-400	
	PV (kW)	PVDC (kW)	MP-C	FB200-400	Grid (kW)	B01 3P (kW)	Dispatch	COE (TL)	NPC (TL)	Operating cost (TL)	Initial capital (TL)	Ren. Frac. (%)	Capital Cost	Production	Capital Cost	Production	Autonomy	Annual Through	
	300	300	1	1	999.999	125	CC	-0.141 TL	-3.25 TLM	-719.197 TL	6.05 TLM	97	1.810.000	463.485	1.200.000	1.317.241	58	85.771	
	300	300	1	1	999.999	300	CC	-0.136 TL	-3.16 TLM	-716.604 TL	6.10 TLM	96	1.810.000	463.485	1.200.000	1.317.241	58	116.871	
	300	300	1	1	999.999	500	CC	-0.132 TL	-3.06 TLM	-713.060 TL	6.16 TLM	96	1.810.000	463.485	1.200.000	1.317.241	58	116.871	
	300	300	1	1	999.999	1.000	CC	-0.120 TL	-2.79 TLM	-704.199 TL	6.31 TLM	96	1.810.000	463.485	1.200.000	1.317.241	58	116.871	
			1	1	999.999	125	CC	-0.141 TL	-2.46 TLM	-518.226 TL	4.24 TLM	94			1.200.000	1.317.241	58	104.515	
			1	1	999.999	300	CC	-0.135 TL	-2.39 TLM	-516.429 TL	4.29 TLM	91			1.200.000	1.317.241	58	153.636	
			1	1	999.999	500	CC	-0.129 TL	-2.28 TLM	-512.885 TL	4.35 TLM	91			1.200.000	1.317.241	58	153.636	
			1	1	999.999	1.000	CC	-0.114 TL	-2.02 TLM	-504.024 TL	4.50 TLM	91			1.200.000	1.317.241	58	153.636	
	300	300	1	2	999.999	500	CC	0.00662 TL	159.619 TL	-696.219 TL	9.16 TLM	91	1.810.000	463.485	1.200.000	1.317.241	116	168.885	
	300	300	1	2	999.999	300	CC	0.00704 TL	166.397 TL	-691.053 TL	9.10 TLM	93	1.810.000	463.485	1.200.000	1.317.241	116	143.409	
	300	300	1	2	999.999	125	CC	0.00723 TL	166.950 TL	-686.949 TL	9.05 TLM	97	1.810.000	463.485	1.200.000	1.317.241	116	86.206	
	300	300	1	2	999.999	1.000	CC	0.0176 TL	424.168 TL	-687.358 TL	9.31 TLM	91	1.810.000	463.485	1.200.000	1.317.241	116	168.885	
			1	2	999.999	300	CC	0.0355 TL	677.824 TL	-511.481 TL	7.29 TLM	82			1.200.000	1.317.241	116	204.056	
			1	2	999.999	500	CC	0.0358 TL	698.970 TL	-514.486 TL	7.35 TLM	79			1.200.000	1.317.241	116	240.699	
			1	2	999.999	125	CC	0.0547 TL	955.010 TL	-485.978 TL	7.24 TLM	94			1.200.000	1.317.241	116	104.949	
			1	2	999.999	1.000	CC	0.0494 TL	863.519 TL	-505.626 TL	7.50 TLM	79			1.200.000	1.317.241	116	240.699	
	300	300		1	999.999	125	CC	0.316 TL	2.57 TLM	-176.346 TL	4.85 TLM	57	1.810.000	463.485			58	187.017	
	300	300		1	999.999	300	CC	0.322 TL	2.63 TLM	-175.844 TL	4.90 TLM	59	1.810.000	463.485			58	180.840	
	300	300		1	999.999	500	CC	0.335 TL	2.73 TLM	-172.300 TL	4.96 TLM	59	1.810.000	463.485			58	180.840	
	300	300		1	999.999	1.000	CC	0.367 TL	3.00 TLM	-163.439 TL	5.11 TLM	59	1.810.000	463.485			58	180.840	

Şekil 5.12. “Optimization Cases” örneği

Detaylı olarak incelenmek istenen senaryo için, belirli zaman aralığında sistemin bileşenleri için farklı ödeme tiplerine göre maliyet grafikleri, sistem elemanlarının zamana göre enerji üretim miktarları, sistemin çevresel değerleri (emisyon gibi), sistem bileşenlerinin giriş-çıkış güçleri, alınan-satılan enerji miktarları gibi birçok sonuç görüntülenebilmektedir.

6. SERHATKÖY GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİ'NİN ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMİ İLE BİRLİKTE KULLANIMI

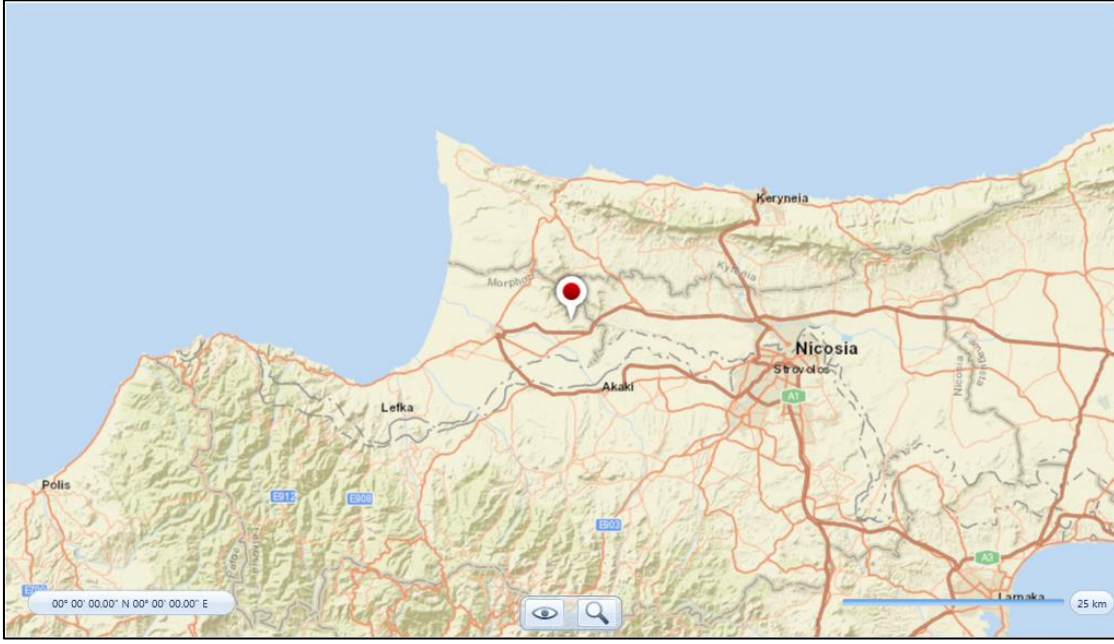
6.1. Hipotez

Bu çalışmada Kuzey Kıbrıs Güzelyurt ilçesine bağlı, 2011 yılı ölçümü itibariyle nüfusu 573 [46] olan Serhatköy bölgesinde bulunan Serhatköy Güneş Enerji Santrali ölçeğinde simulasyon ve analiz çalışmaları yapılmıştır. Farklı senaryolarda yapılan simulasyonlarda mevcut sistemde halihazırda olmayan ancak ilavesi durumunda en uygun depolama sistemi tasarımı yapılmıştır. Sonrasında santral ve depolama sistemlerinin kapasitelerinin birlikte artırılması durumları incelenmiştir. Bu analizler sonrasında; Kuzey Kıbrıs'ın ana şebeke bağlantısının kesilmesi durumunda kapasitesi artırılmış tasarlanan sistem ile mikroşebeke olarak çalıştırılma şartlarında gerekecek güneş enerji santrali ve enerji depolama sistemi modellenmiştir.

Bu çalışma ile, Serhatköy'de bulunan 1,3 MW kapasiteli güneş enerji santrali, uygun bir depolama sistemi ile birlikte kullanıldığında; güneşten üretimin fazla olduğu saatlerde tüketimin az olması, şebekeden alınacak enerjinin fiyatının fazla olması, şebeke güvenilirliğinin zayıf olması (yüksek kapasiteli başka bir şebekeye bağlı olmaması) gibi olumsuz durumların etkilerinin minimuma indirileceği gösterilmiştir.

6.2. Simulasyon

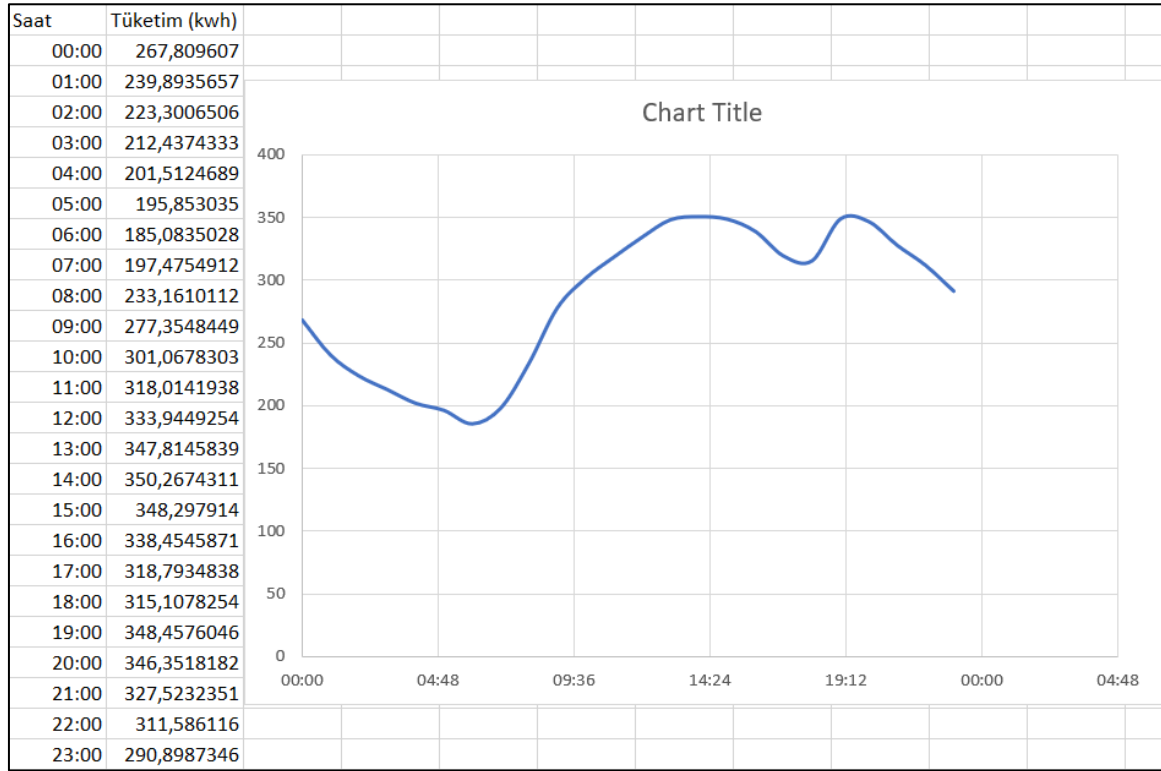
Farklı koşullarda güneş enerji santrali ve depolama sistemi kullanılma durumlarını analiz edebilmek amacıyla toplam 4 adet simulasyon koşulmuştur. Bu simulasyonların ilkinde Serhatköy'de, mevcutta bulunan santralin şebekeye bağlı olduğu durumda depolama ile birlikte kullanımı simule edilmiştir. 2. ve 3. simulasyon senaryolarında, güneş enerji santralinin kapasitesi optimal olarak artırılarak teknik ve mali verimlilikleri incelenmiştir. Son olarak 4. senaryoda ise sistemin, şebekeye bağlı olmadan çalışacağı bir durum incelenmiştir.



Şekil 6.1. Kıbrıs Serhatköy harita görüntüsü

6.2.1. Kıbrıs şebekesi tüketim verileri

Yapılan simülasyonlarda yük olarak Kıbrıs'ın 2020 yılı Eylül ayına ait tüketim verileri kullanılmıştır. Yıllık tüketim verileri incelenerek ortalama alındığında Eylül tüketiminin ortalamayı yansıttığı görülmüştür. Buna ek olarak kış aylarında yenilenebilir enerji üretimlerindeki sert düşüş, yaz aylarında soğutma (iklimlendirme) ihtiyacından kaynaklanan elektrik tüketimindeki sert artış sebebiyle iklimsel anlamda daha ortalama koşulların yaşandığı Eylül ayı seçilmiştir. KIBTEK tarafından paylaşılan veriler günlük minimum ve maksimum tüketim değerleri ve bunların zamanları şeklindedir. HOMER programının saatlik ölçekte çalışması sebebiyle TEİAŞ Şeffaflık Platformu üzerinden Türkiye-Toroslar dağıtım bölgesine ait ilgili ayın tüketim profili alınarak, KIBTEK'in paylaştığı olduğu minimum ve maksimum değerlerine göre normalize edilmiştir.



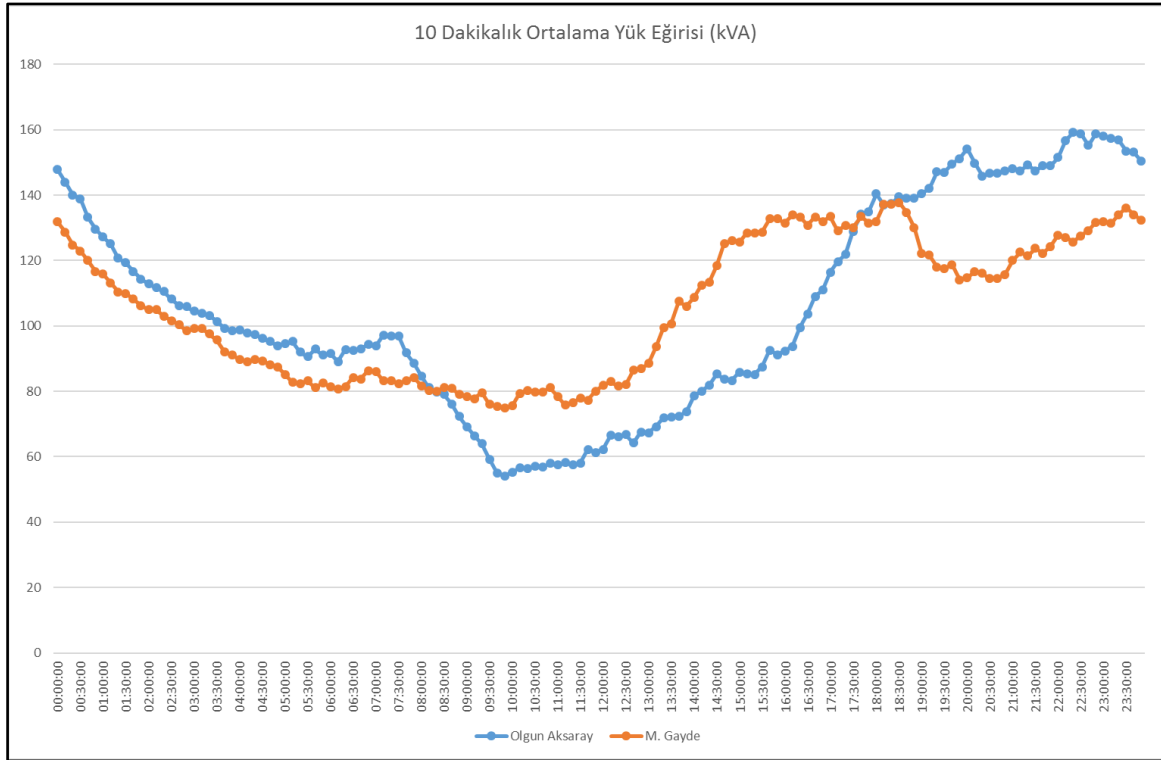
Şekil 6.2. Kıbrıs Eylül ayı normalize edilmiş günlük tüketim değerleri

Yapılan bu tahminin doğruluğunun incelenmesi için Lefkoşa ili sınırları içerisinde yer alan “Olgun Aksaray” (200kVA) ve “M. Gayde” trafo merkezi’nden (315kVA) alınan ölçümler incelenmiştir. Bahsi geçen trafo merkezlerinin ölçüm noktası olarak seçilmesinin temel sebeplerinden biri PV bağlantı noktaları ve konumlarıdır. Bu bağlamda, çatı ve tarla tipi PV enerji üretimine sahip mesken ve arazilerin yaygın bulunduğu dağıtım bölgelerindeki Olgun Aksaray ve M. Gayde gibi trafo merkezleri, analizler açısından daha sağlıklı ölçümler sağlayabilmektedir.

Analizler için ölçümlerin alınması C.A. 8435 (Qualistar+) 3 faz, renkli grafik ekranlı, şarj edilebilir güç kalitesi enerji analizörü tarafından sağlanmıştır. Cihaz ölçüm kayıtlarını $\pm$ %1.0 hassasiyet ile tutmuştur. Ayrıca cihaz miliAmper (MN93A) seviyesinden kiloamper (AmpFlex®) seviyesine kadar ölçüm aralığına sahiptir.

Olgun Aksaray trafosundan 15 – 23 Eylül 2020 tarihleri arasında 10 dakikalık periyotlarla ölçümler alınmıştır.

M. Gayde trafosundan 24 – 31 Ağustos 2020 tarihleri arasında 10 dakikalık periyotlarla ölçümler alınmıştır.



Şekil 6.3. Trafo ortalama yük eğrileri

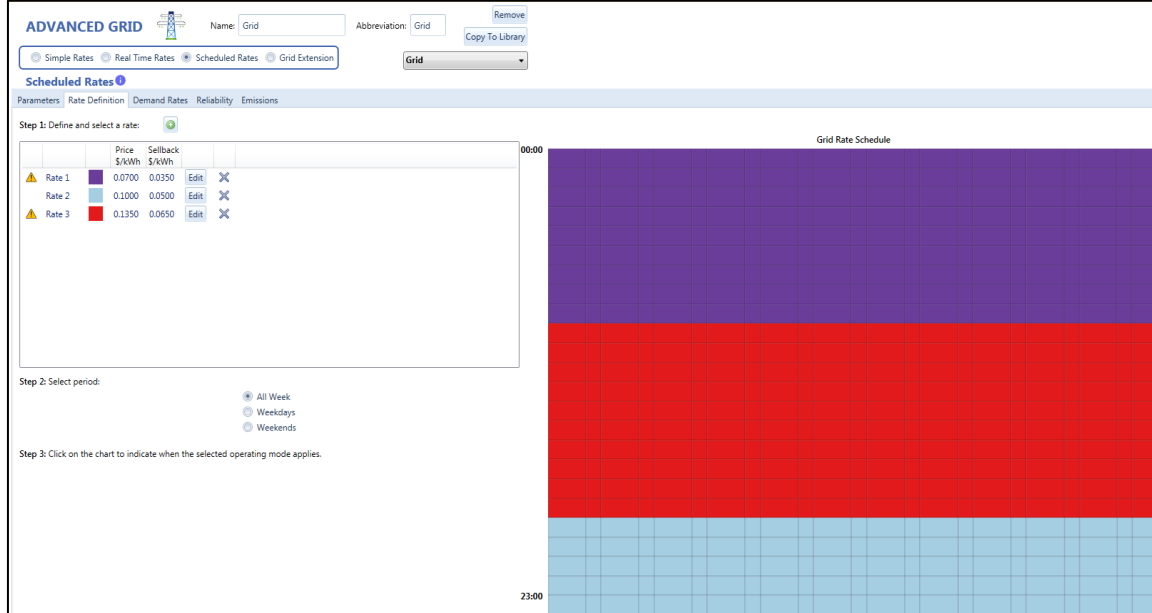
1 haftalık ortalama değerlere bakıldığında, Olgun Aksaray trafosu için maksimum yüklenme saat 22:20’de 159,2 kVA (% 79,6) olarak gerçekleşmiştir. M. Gayde için maksimum trafo yüklenmesi ise saat 18:30’da 137,7 kVA (% 43,7) olarak gerçekleşmiştir. Olgun Aksaray ve M. Gayde için minimum trafo yüklenmeleri PV üretiminin yoğun olduğu zamanlardan biri olan saat 09:50’de sırasıyla 54,1 kVA (% 27,1) ve 74,8 kVA (%23,7) olarak gerçekleşmiştir. Özellikle sabah saatlerinde yük eğrisinin yükselme eğilimin başladığı zamanlarda, sisteme bağlı PV üretimi etkisiyle yük eğrisi tekrar düşük seviyelere indiği görülmektedir. Yine aynı şekilde Olgun Aksaray bölgesi için de PV üretimi nedeniyle ciddi şekilde yük eğrisinde bir düşüş görülmektedir.

Ölçümler incelendiğinde Kıbrıs geneli için yapılan modellemenin makul olduğu görülmektedir.

6.2.2. Simulasyon parametreleri

Şebeke, KIBRIS’ta kullanılmakta olan, 3 tarifeli şekilde modellenmiştir. “Yoğun Olmayan Saatler (00:00-09:00)” için şebekenin satış fiyatı 0,07\$, alış fiyatı ise 0,035\$; “Normal Saatler (09:00-19:00)” için şebekenin satış fiyatı 0,1\$, alış fiyatı ise 0,05\$; “Yoğun Saatler

(19:00-00:00)” için şebekenin satış fiyatı 0,135\$, alış fiyatı ise 0,065\$ olarak hesaplanmıştır [47].



Şekil 6.4. HOMER şebeke fiyat parametreleri

PV maliyeti olarak 1MW santral için Sermaye maliyeti 883 000\$, Değiştirme maliyeti 883 000\$, işletme ve bakım maliyeti yıllık 10 000\$ olarak belirlenmiştir. PV, şebekeye DC’den bağlanacak şekilde modellenmiştir. Simulasyonda panel olarak HOMER Pro kütüphanesinden “Generic Flat Plate PV” kullanılmıştır. Panel özellikleri Şekil 6.5’teki gibidir:

Properties	
Name:	Generic flat plate PV
Abbreviation:	PV
Panel Type:	Flat plate
Rated Capacity (kW):	3000
Temperature Coefficient:	-0.5
Operating Temperature (°C):	47
Efficiency (%):	13
Manufacturer:	Generic
	www.homerenergy.com
Notes:	
	This is a generic PV system.

Şekil 6.5. HOMER pv parametreleri

Simulasyonda depolama birimi olarak HOMER Pro kütüphanesinden “Generic 1kWh Li-Ion” kullanılmıştır. Depolama biriminin özellikleri Şekil 6.6’daki gibidir:

Properties	
Idealized Battery Model	
Nominal Voltage (V):	6
Nominal Capacity (kWh):	1
Nominal Capacity (Ah):	167
Roundtrip efficiency (%):	90
Maximum Charge Current (A):	167
Maximum Discharge Current (A):	500

Şekil 6.6. HOMER batarya parametreleri

Simulasyonlarda kullanılan ekonomik parametreler ise Şekil 6.7 ve Şekil 6.8’de görülmektedir:

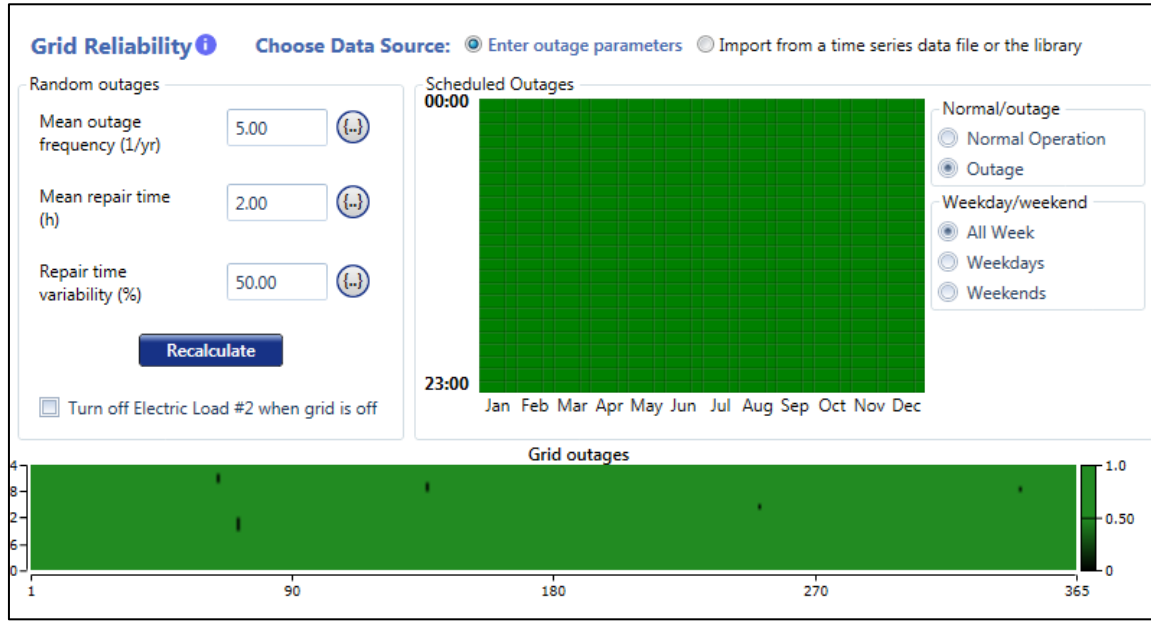
ECONOMICS  	
Nominal discount rate (%):	8.00 
Expected inflation rate (%):	20.00 
Project lifetime (years):	25.00 
System fixed capital cost (\$):	0.00 
System fixed O&M cost (\$/yr)	0.00 
Capacity shortage penalty (\$/kWh):	0.00 
Currency:	US Dollar (\$) 

Şekil 6.7. HOMER ekonomik parametreler-1

Discount rate (%):	8.00	
Inflation rate (%):	20.00	
Annual capacity shortage (%):	0.00	
Project lifetime (years):	25.00	

Şekil 6.8. HOMER ekonomik parametreler-2

Şebekenin güvenilirlik parametreleri Şekil 6.9’da verildiği gibi kullanılmıştır:



Şekil 6.9. HOMER şebeke güvenilirlik parametreleri

6.3. Sonuçlar

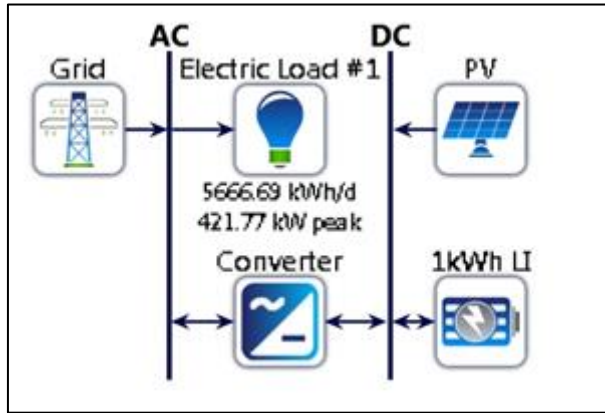
6.3.1. Senaryo 1: 1,3MW PV, şebeke bağlı durum

Senaryo 1 Sistem Mimarisi

Çizelge 6.1. Senaryo 1 sistem mimarisi

Bileşen	İsim	Boyut	Birim
PV	Generic flat plate PV	1 300	kW
Depolama	Generic 1kWh Li-Ion	2 322	strings
Konvertör	System Converter	920	kW
Şebeke	Grid	1 470 841	kW

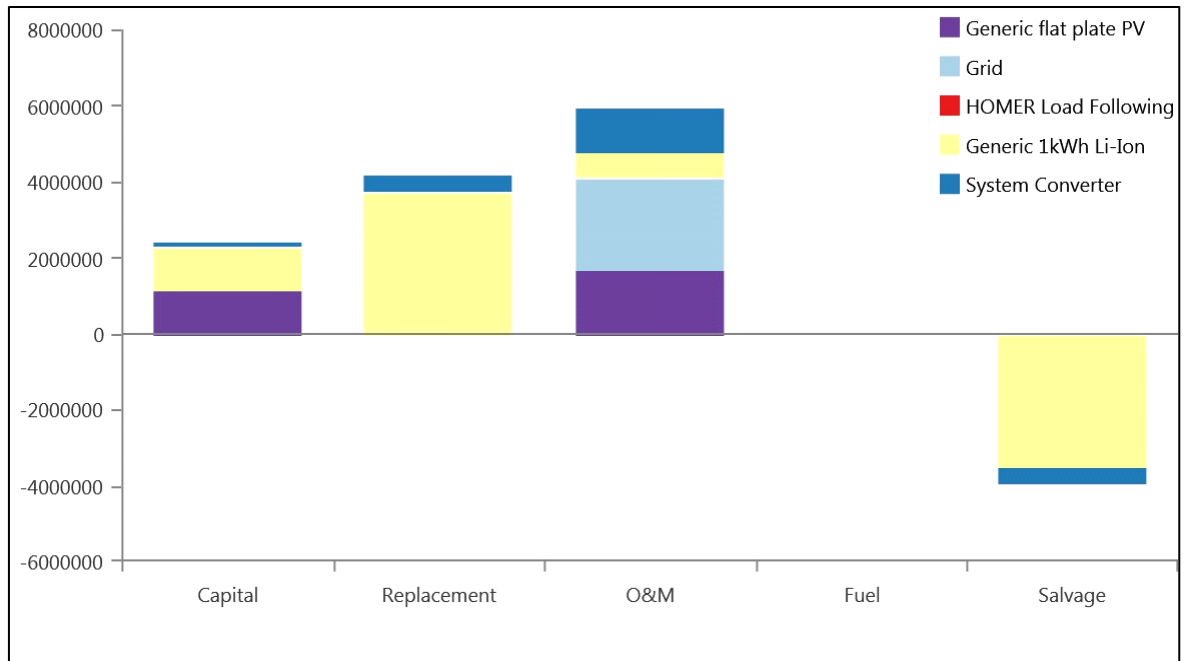
Senaryo 1'in şematik gösterimi Şekil 6.10'da görüldüğü biçimdedir:



Şekil 6.10. Senaryo 1 şematik şebeke gösterimi

Senaryo 1 Maliyet Özeti

Şekil 6.11'de 1. Senaryoya ait maliyet özetleri verilmektedir:



Şekil 6.11. Senaryo 1 maliyet özeti

Senaryo 1 Net Bugünkü Maliyet

Senaryo 1'in net bugünkü maliyet özeti aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.2. Senaryo 1 net bugünkü maliyet

Bileşen	Sermaye	Değişirme	İşletme Ve Bakım	Yakıt	Kazanım	Toplam
Generic flat plate PV	\$1,15M	\$0,00	\$1,68M	\$0,00	\$0,00	\$2,83M
Grid	\$0,00	\$0,00	\$2,39M	\$0,00	\$0,00	\$2,39M
Generic 1kWh Li-Ion	\$1,15M	\$3,73M	\$662 016	\$0,00	-\$3,57M	\$1,98M
System Converter	\$110 353	\$446 647	\$1,19M	\$0,00	-\$426 990	\$1,32M
System	\$2,41M	\$4,18M	\$5,93M	\$0,00	-\$3,99M	\$8,52M

Senaryo 1 Yıllık Maliyet

Senaryo 1'in yıllık maliyet özeti aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.3. Senaryo 1 yıllık maliyet

Bileşen	Sermaye	Değişirme	İşletme Ve Bakım	Yakıt	Kazanım	Toplam
Generic flat plate PV	\$8,878	\$0,00	\$13,000	\$0,00	\$0,00	\$21,878
Grid	\$0,00	\$0,00	\$18,509	\$0,00	\$0,00	\$18,509

Çizelge 6.4. (devam) Senaryo 1 yıllık maliyet

Generic 1kWh Li- Ion	\$8,910	\$28,851	\$5,120	\$0,00	-\$27,581	\$15,300
System Converter	\$853,49	\$3,454	\$9,196	\$0,00	-\$3,302	\$10,202
System	\$18,642	\$32,305	\$45,826	\$0,00	-\$30,883	\$65,889

Senaryo 1 Üretim Özeti

Senaryo 1'in üretim özeti aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.5. Senaryo 1 üretim özeti

Bileşen	Üretim (kWh/yr)	Yüzde
Solar Panel	2,112,693	76,6
Şebeke Satın Alımları	645,040	23,4
Toplam	2,757,733	100

Senaryo 1 Tüketim Özeti

Senaryo 1'in tüketim özeti aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.6. Senaryo 1 tüketim özeti

Bileşen	Tüketim (kWh/yr)	Yüzde
AC Yük	2 068,342	80,1
DC Yük	0	0
Şebeke Satışları	514 024	19,9
Toplam	2 582,366	100

Senaryo 1 PV Elektriksel Özet

Senaryo 1'in PV elektriksel özeti özeti aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.7. Senaryo 1 pv elektriksel özet

Nicelik	Değer	Birim
Minimum Çıkış	0	kW
Maksimum Çıkış	1 193	kW
PV Güç-Yük Oranı	102	%
Çalışma Süresi	4 389	hrs/yr
Seviyelendirilmiş Maliyet	0,0104	\$/kWh

Senaryo 1 PV İstatistikleri

Senaryo 1'in PV istatistikleri aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.8. Senaryo 1 pv istatistikleri

Nicelik	Değer	Birim
Anma Kapasitesi	1 300	kW
Ortalama Çıktı	241	kW
Ortalama Çıktı	5 788	kWh/d
Kapasite Faktörü	18,6	%
Toplam Üretim	2 112,693	kWh/yr

Senaryo 1 Depolama Birimi Özellikleri

Senaryo 1’deki depolama birimi özellikleri aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.9. Senaryo 1 depolama birimi özellikleri

Nicelik	Değer
Batteries	2 322
Bara Gerilimi	6,00

Senaryo 1 Depolama Birimi Sonuçları

Senaryo 1’deki depolama birimi sonuçları aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.10. Senaryo 1 depolama birimi sonuçları

Nicelik	Değer	Birim
Ortalama Enerji Maliyeti	0	\$/kWh
Enerji Girişi	649,583	kWh/yr
Enerji Çıkışı	586,607	kWh/yr
Depolama Şarj Durumu Farkı	2,090	kWh/yr
Kayıplar	65,066	kWh/yr
Yıllık Çıktı	618,338	kWh/yr

Senaryo 1 Depolama Birimi İstatistikleri

Senaryo 1'deki depolama birimi istatistikleri aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.11. Senaryo 1 depolama birimi istatistikleri

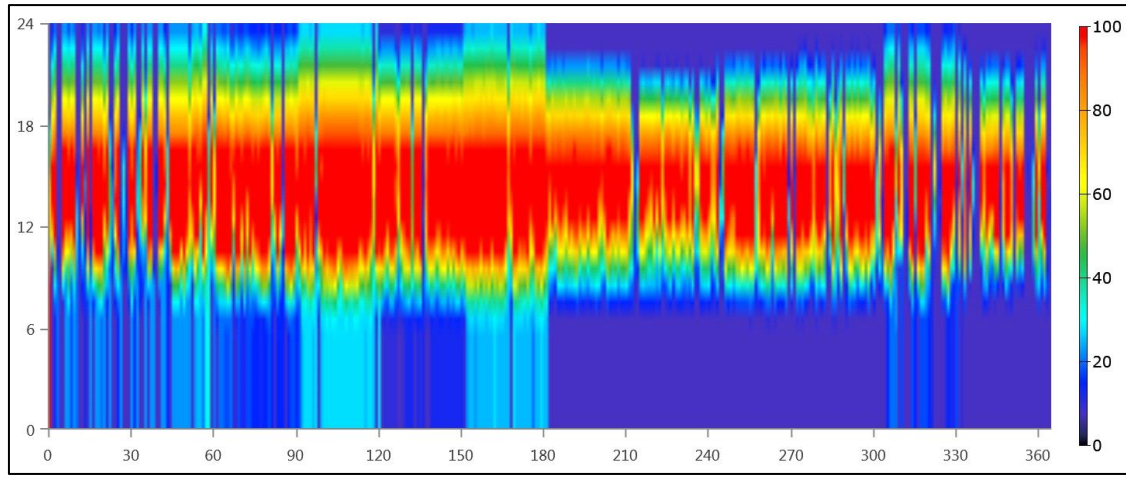
Nicelik	Değer	Birim
Depolama Kapasitesi/Ortalama Yük	8,85	hr
Depolama Çevrim Maliyeti	0,0872	\$/kWh
Nominal Kapasite	2,322	kWh
Kullanılabilir Nominal Kapasite	2,090	kWh

Çizelge 6.12. (devam) Senaryo 1 depolama birimi istatistikleri

Ömür Boyu Toplam Çıktı	9 275,074	kWh
Beklenen Ömür	15,0	yr

Senaryo 1 Depolama Birimi Şarj Durumu (%)

Senaryo 1’deki depolama birimi şarj durumu Şekil 6.12’de verilmiştir:



Şekil 6.12. Senaryo 1 depolama birimi şarj durumu

Senaryo 1 Konvertör Elektriksel Özet

Senaryo 1’in konvertör elektriksel özeti aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.13. Senaryo 1 konvertör elektriksel özet

Nicelik	Değer	Birim
Çalışma Süresi	6 124	hrs/yr
Enerji Çıkışı	1 937,326	kWh/yr
Enerji Girişi	2 039,290	kWh/yr

Çizelge 6.14. (devam) Senaryo 1 konvertör elektriksel özet

Kayıplar	101,965	kWh/yr
----------	---------	--------

Senaryo 1 Konvertör İstatistikleri

Senaryo 1’deki konvertör istatistikleri aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.15. Senaryo 1 konvertör istatistikleri

Nicelik	Değer	Birim
Kapasite	920	kW
Ortalama Çıktı	221	kW
Minimum Çıkış	0	kW
Maksimum Çıkış	920	kW
Kapasite Faktörü	24,0	%

Senaryo 1 Şebeke Elektriksel Özet

Senaryo 1’deki şebeke elektriksel özet aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.16. Senaryo 1 şebeke elektriksel özet

Ay	Satın Alınan Enerji(kWh)	Satılan Enerji(kWh)	Net Satın Alınan Enerji(kWh)	En Yüksek Talep(kW)	Enerji Maliyeti
Ocak	60,856	38,481	22,375	253	\$2,688
Şubat	42,113	44,197	-2,084	250	\$411,16
Mart	37,858	79,117	-41,258	291	-\$2,371
Nisan	30,953	70,944	-39,991	243	-\$2,404
Mayıs	39,008	53,800	-14,791	294	-\$639,34
Haziran	27,060	63,943	-36,883	191	-\$2,261
Temmuz	57,356	26,149	31,208	327	\$2,677
Ağustos	90,550	15,082	75,468	409	\$6,348
Eylül	62,225	36,703	25,521	348	\$2,675
Ekim	57,465	29,531	27,934	320	\$2,778
Kasım	54,753	35,248	19,505	253	\$2,330
Aralık	84,843	20,829	64,014	308	\$6,278
Annual	645,040	514,024	131,016	409	\$18,509

Senaryo 1 Yenilenebilir Enerji Özet

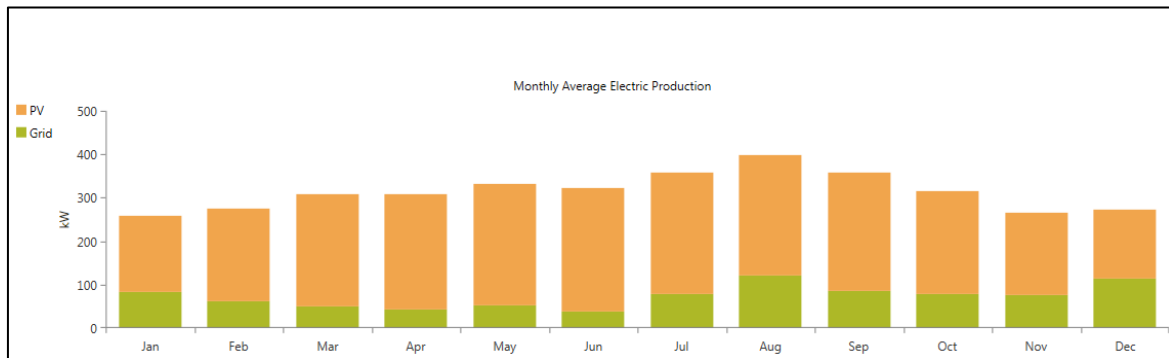
Senaryo 1'in yenilenebilir enerji özeti aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.17. Senaryo 1 yenilenebilir enerji özet

Kapasite tabanlı metrikler	Değer	Birim
Nominal yenilenebilir kapasite - Toplam nominal kapasite oranı	100	%
Kullanılabilir yenilenebilir kapasite - Toplam kapasite oranı	100	%
Enerji tabanlı metrikler	Değer	Birim
Toplam yenilenebilir üretim - Yük oranı	81,8	%
Toplam yenilenebilir üretim - Toplam üretim oranı	76,6	%
Tepe Değerler	Değer	Birim
Yenilenebilir Çıkış - Yük oranı	772	%
Yenilenebilir Çıkış - Toplam Üretim oranı	100	%

Senaryo 1 Aylık Ortalama Elektrik Üretimi

Senaryo 1'deki aylık ortalama elektrik üretimi Şekil 6.13'de gösterilmiştir:



Şekil 6.13. Senaryo 1 aylık ortalama elektrik üretimi

Senaryo 1 Ekonomik Özet

Senaryo 1’deki ekonomik özet Şekil 6.14’de gösterilmiştir:

Metric	Value	
Present worth (\$)	\$20,091,990	
Annual worth (\$/yr)	\$1,882,193	
Return on investment (%)	6.5	
Internal rate of return (%)	4.1	
Simple payback (yr)	13.49	
Discounted payback (yr)	8.10	

Şekil 6.14. Senaryo 1 ekonomik özet

6.3.2. Senaryo 2: 2,5 MW PV, şebeke bağlı durum

Senaryo 2 Sistem Mimarisi

2. senaryoda PV gücünün 2.5MW’a çıkarılması durumunda oluşacak sistem mimarisi aşağıda verilmiştir:

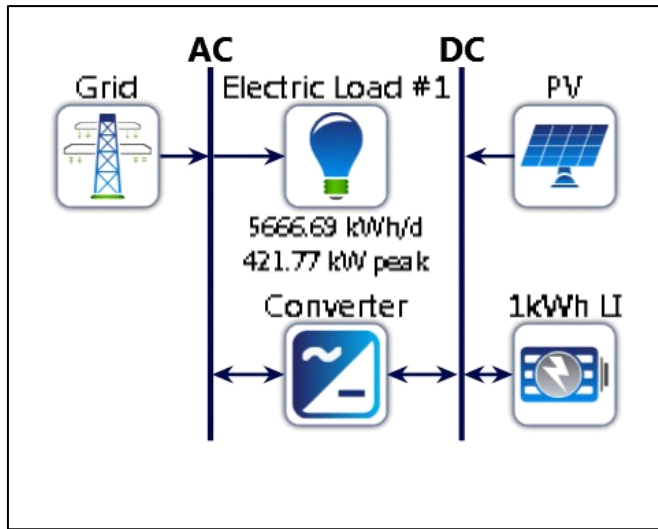
Çizelge 6.18. Senaryo 2 sistem mimarisi

Bileşen	İsim	Boyut	Birim
PV	Generic flat plate PV	2 600	kW
Depolama	Generic 1kWh Li-Ion	2 643	strings
Konvertör	System Converter	1 807	kW

Çizelge 6.19. (devam) Senaryo 2 sistem mimarisi

Şebeke	Grid	1 470,841	kW
--------	------	-----------	----

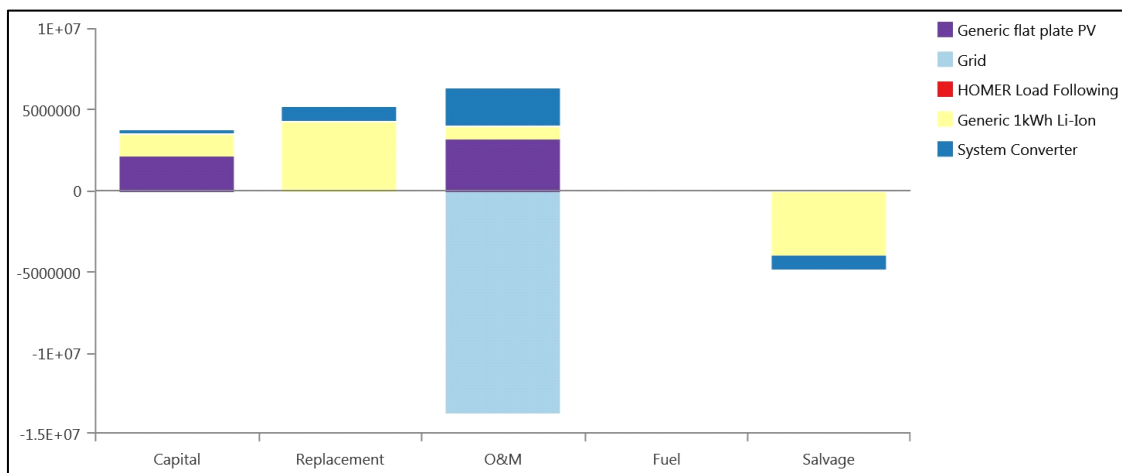
Senaryo 2'nin şematik gösterimi Şekil 6.15'te görüldüğü biçimdedir:



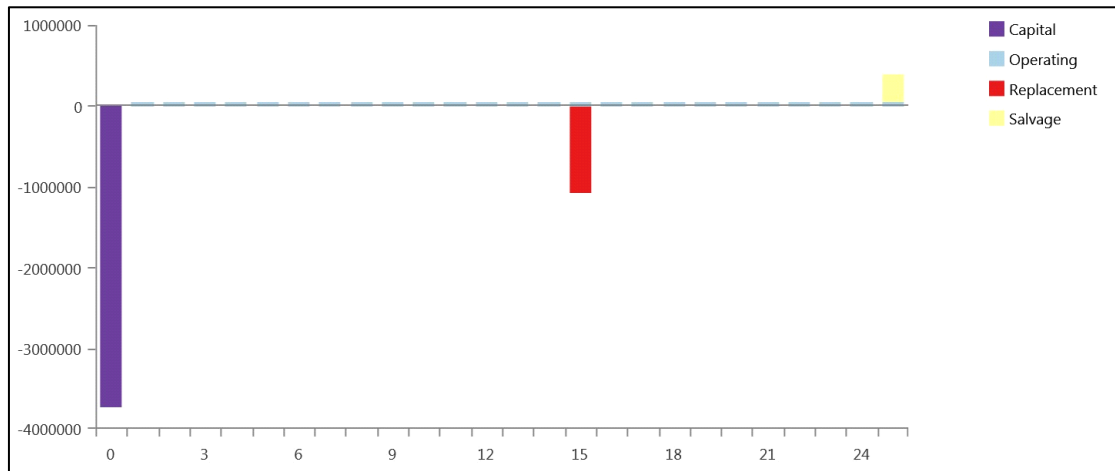
Şekil 6.15. Senaryo 2 şematik şebeke gösterimi

Senaryo 2 Maliyet Özeti

Şekil 6.16 ve Şekil 6.17'de 2. Senaryoya ait maliyet özetleri verilmektedir:



Şekil 6.16. Senaryo 2 maliyet özeti-1



Şekil 6.17. Senaryo 2 maliyet özeti-2

Senaryo 2 Net Bugünkü Maliyet

Senaryo 2'nin net bugünkü maliyet özeti aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.20. Senaryo 2 net bugünkü maliyet

Bileşen	Sermaye	Değiştirme	İşletme Ve Bakım	Yakıt	Kazanım	Toplam
Generic flat plate PV	\$2,21M	\$0,00	\$3,23M	\$0,00	\$0,00	\$5,44M
Grid	\$0,00	\$0,00	-\$13,7M	\$0,00	\$0,00	-\$13,7M
Generic 1kWh Li-Ion	\$1,31M	\$4,25M	\$753,535	\$0,00	-\$4,06M	\$2,25M
System Converter	\$216,867	\$877,758	\$2,34M	\$0,00	-\$839,128	\$2,59M
System	\$3,74M	\$5,12M	-\$7,35M	\$0,00	-\$4,90M	-\$3,39M

Senaryo 2 Yıllık Maliyet

Senaryo 2'nin yıllık maliyet özeti aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.21. Senaryo 2 yıllık maliyet

Bileşen	Sermaye	Değiştirme	İşletme Ve Bakım	Yakıt	Kazanım	Toplam
Generic flat plate PV	\$17,073	\$0,00	\$25,000	\$0,00	\$0,00	\$42,073
Grid	\$0,00	\$0,00	-\$105,756	\$0,00	\$0,00	-\$105,756
Generic 1kWh Li-Ion	\$10,142	\$32,839	\$5,828	\$0,00	-\$31,394	\$17,415
System Converter	\$1,677	\$6,789	\$18,072	\$0,00	-\$6,490	\$20,048
System	\$28,892	\$39,628	-\$56,856	\$0,00	-\$37,884	-\$26,219

Senaryo 2 Üretim Özeti

Senaryo 2'nin üretim özeti aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.22. Senaryo 2 üretim özeti

Bileşen	Üretim (kWh/yr)	Yüzde
Solar Panel	4 062,871	89,0
Şebeke Satın Alımları	500,059	11,0
Toplam	4 562,930	100

Senaryo 2 Tüketim Özeti

Senaryo 2'nin tüketim özeti aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.23. Senaryo 2 tüketim özeti

Bileşen	Tüketim (kWh/yr)	Yüzde
AC Yük	2 068,342	48,5
DC Yük	0	0
Şebeke Satışları	2 200,162	51,5
Toplam	4 268,504	100

Senaryo 2 PV Elektriksel Özet

Senaryo 2'nin PV elektriksel özeti aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.24. Senaryo 2 pv elektriksel özet

Nicelik	Değer	Birim
Minimum Çıkış	0	kW
Maksimum Çıkış	2 294	kW
PV Güç-Yük Oranı	196	%
Çalışma Süresi	4 389	hrs/yr
Seviyelendirilmiş Maliyet	0,0104	\$/kWh

Senaryo 2 PV İstatistikleri

Senaryo 2'deki PV istatistikleri aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.25. Senaryo 2 pv istatistikleri

Nicelik	Değer	Birim
Anma Kapasitesi	2,500	kW
Ortalama Çıktı	464	kW
Ortalama Çıktı	11 131	kWh/d
Kapasite Faktörü	18,6	%
Toplam Üretim	4 062,871	kWh/yr

Senaryo 2 Depolama Birimi Özellikleri

Senaryo 2'deki depolama birimi özellikleri aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.26. Senaryo 2 depolama birimi özellikleri

Nicelik	Değer	Birim
Batarya	2 643	
Bara Gerilimi	6,00	

Senaryo 2 Depolama Birimi Sonuçları

Senaryo 2'deki depolama birimi sonuçları aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.27. Senaryo 2 depolama birimi sonuçları

Nicelik	Değer	Birim
Ortalama Enerji Maliyeti	0	\$/kWh
Enerji Girişi	739 885	kWh/yr
Enerji Çıkışı	668 153	kWh/yr
Depolama Şarj Durumu Farkı	2 379	kWh/yr
Kayıplar	74 111	kWh/yr
Yıllık Çıktı	704 295	kWh/yr

Senaryo 2 Depolama Birimi İstatistikleri

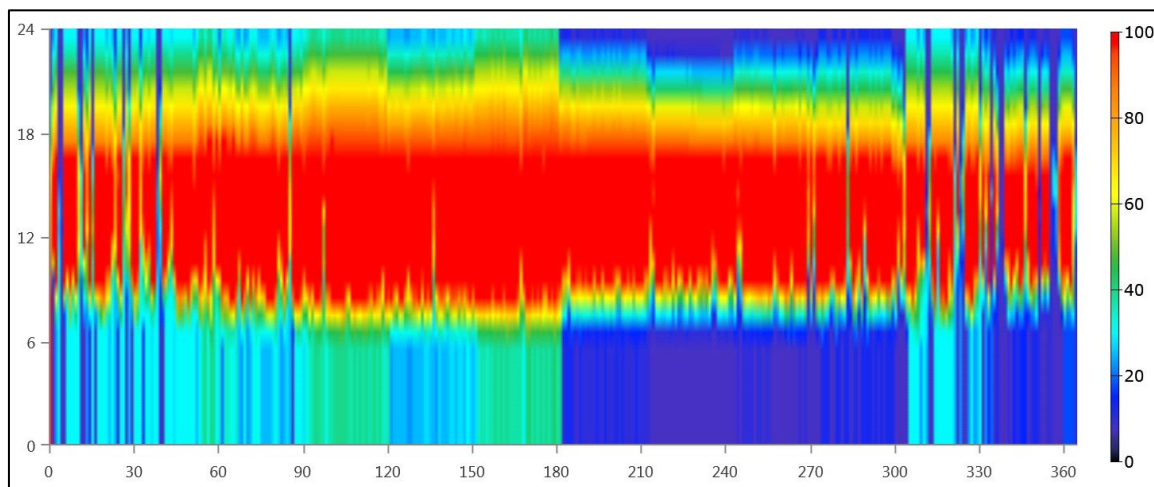
Senaryo 2'deki depolama birimi istatistikleri aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.28. Senaryo 2 depolama birimi istatistikleri

Nicelik	Değer	Birim
Depolama Kapasitesi/Ortalama Yük	10,1	hr
Depolama Çevrim Maliyeti	0,0872	\$/kWh
Nominal Kapasite	2 643	kWh
Kullanılabilir Nominal Kapasite	2 379	kWh
Ömür Boyu Toplam Çıktı	10 564,424	kWh
Beklenen Ömür	15,0	yr

Senaryo 2 Depolama Birimi Şarj Durumu (%)

Senaryo 2'deki depolama birimi şarj durumu Şekil 6.18'de verilmiştir:



Şekil 6.18. Senaryo 2 depolama birimi şarj durumu

Senaryo 2 Konvertör Elektriksel Özet

Senaryo 2'nin konvertör elektriksel özeti aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.29. Senaryo 2 konvertör elektriksel özet

Nicelik	Değer	Birim
Çalışma Süresi	6 482	hrs/yr
Enerji Çıkışı	3 768,445	kWh/yr
Enerji Girişi	3 966,784	kWh/yr
Kayıplar	198 339	kWh/yr

Senaryo 2 Konvertör İstatistikleri

Senaryo 2'deki konvertör istatistikleri aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.30. Senaryo 2 konvertör istatistikleri

Nicelik	Değer	Birim
Kapasite	1 807	kW
Ortalama Çıktı	430	kW
Minimum Çıkış	0	kW
Maksimum Çıkış	1 807	kW
Kapasite Faktörü	23,8	%

Senaryo 2 Şebeke Elektriksel Özet

Senaryo 2'nin şebeke elektriksel özeti aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.31. Senaryo 2 şebeke elektriksel özet

Ay	Satın Alınan Enerji(kWh)	Satılan Enerji(kWh)	Net Satın Alınan Enerji(kWh)	En Yüksek Talep(kW)	Enerji Maliyeti
Ocak	46,550	136,576	-90,026	253	-\$5,311
Şubat	33,932	157,041	-123,109	250	-\$7,759
Mart	34,701	241,422	-206,721	261	-\$13,192
Nisan	28,828	236,349	-207,521	191	-\$13,232
Mayıs	34,092	230,537	-196,445	231	-\$12,571
Haziran	25,880	243,056	-217,176	191	-\$13,847
Temmuz	43,023	195,150	-152,127	303	-\$9,673
Ağustos	65,769	169,309	-103,541	363	-\$6,097
Eylül	41,797	184,231	-142,434	291	-\$9,011
Ekim	39,483	164,719	-125,236	303	-\$7,862
Kasım	41,286	138,713	-97,427	253	-\$5,862
Aralık	64,719	103,059	-38,340	308	-\$1,340
Annual	500,059	2,200,162	-1,700,103	363	-\$105,756

Senaryo 2 Yenilenebilir Enerji Özet

Senaryo 2'nin yenilenebilir enerji özeti aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.32. Senaryo 2 yenilenebilir enerji özet

Kapasite tabanlı metrikler	Değer	Birim
Nominal yenilenebilir kapasite - Toplam nominal kapasite oranı	100	%
Kullanılabilir yenilenebilir kapasite - Toplam kapasite oranı	100	%
Enerji tabanlı metrikler	Değer	Birim
Toplam yenilenebilir üretim - Yük oranı	95,2	%
Toplam yenilenebilir üretim - Toplam üretim oranı	89,0	%
Tepe Değerler	Değer	Birim
Yenilenebilir Çıkış - Yük oranı	1 238	%
Yenilenebilir Çıkış - Toplam Üretim oranı	100	%

Senaryo 2 Ekonomik Özet

Senaryo 2'nin ekonomik özeti Şekil 6.19'da verilmiştir:

Metric	Value	
Present worth (\$)	\$32,001,210	
Annual worth (\$/yr)	\$2,997,834	
Return on investment (%)	6.8	
Internal rate of return (%)	4.5	
Simple payback (yr)	13.27	
Discounted payback (yr)	8.02	

Şekil 6.19. Senaryo 2 ekonomik özet

6.3.3. Senaryo 3: 5,6 MW PV, şebeke bağlı durum

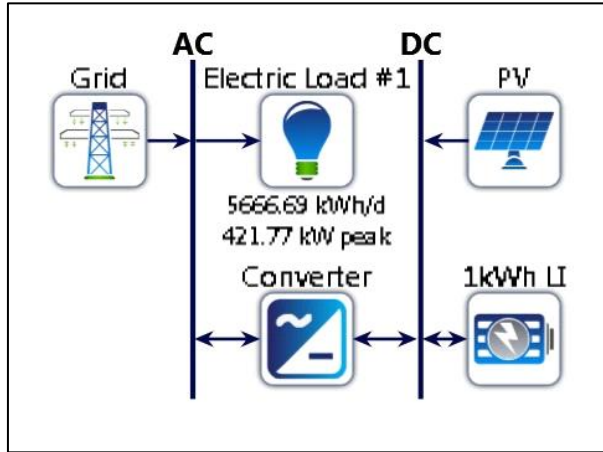
Senaryo 3 Sistem Mimarisi

3. senaryoda depolama kapasitesi sabit tutularak, PV gücünün uygun olan en yüksek kapasiteye arttırılması durumunda oluşacak sistem mimarisi aşağıda verilmiştir:

Çizelge 6.33. Senaryo 3 sistem mimarisi

Bileşen	İsim	Boyut	Birim
PV	Generic flat plate PV	5 622	kW
Depolama	Generic 1kWh Li-Ion	2 648	strings
Konvertör	System Converter	1 899	kW
Şebeke	Grid	1 470 841	kW
Sevk Stratejisi	HOMER Load Following		

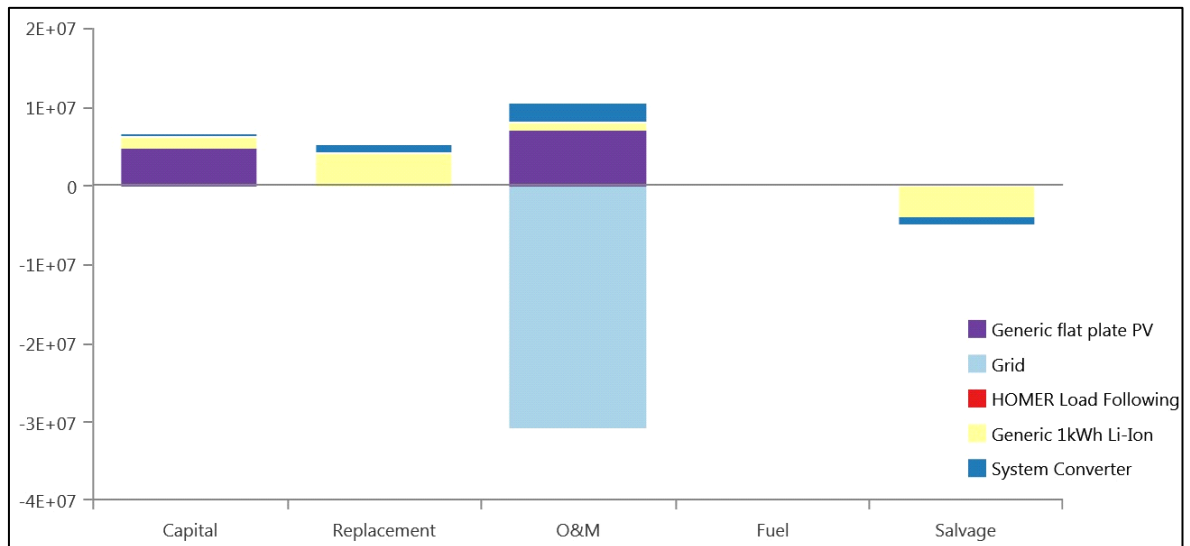
Senaryo 3'ün şematik gösterimi Şekil 6.20'de görüldüğü biçimdedir:



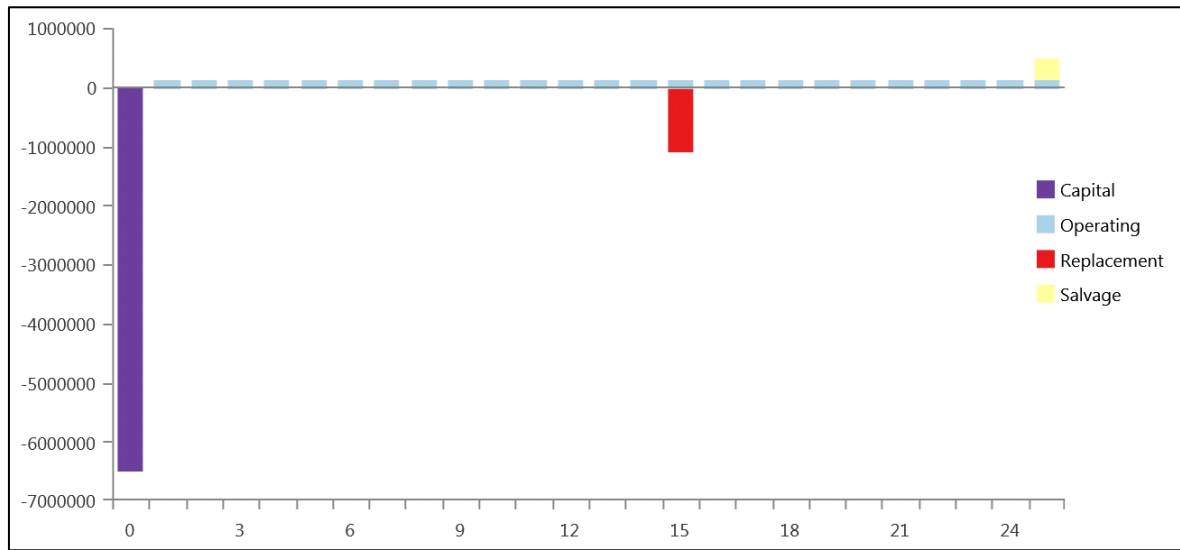
Şekil 6.20. Senaryo 3 şematik şebeke gösterimi

Senaryo 3 Maliyet Özeti

Şekil 6.21 ve Şekil 6.22'de 3. Senaryoya ait maliyet özetleri verilmektedir:



Şekil 6.21. Senaryo 3 maliyet özeti-1



Şekil 6.22. Senaryo 3 maliyet özeti-2

Senaryo 3 Net Bugünkü Maliyet

Senaryo 3'ün net bugünkü maliyet özeti aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.34. Senaryo 3 net bugünkü maliyet

Bileşen	Sermaye	Değiştirme	İşletme Ve Bakım	Yakıt	Kazanım	Toplam
Generic flat plate PV	\$4,96M	\$0,00	\$7,27M	\$0,00	\$0,00	\$12,2M
Grid	\$0,00	\$0,00	-\$30,6M	\$0,00	\$0,00	-\$30,6M
Generic 1kWh Li-Ion	\$1,31M	\$4,25M	\$754,961	\$0,00	-\$4,07M	\$2,26M
System Converter	\$227,880	\$922,332	\$2,46M	\$0,00	-\$881,741	\$2,72M

Çizelge 6.35. (devam) Senaryo 3 net bugünkü maliyet

System	\$6,51M	\$5,18M	-\$20,1M	\$0,00	-\$4,95M	- \$13,4M
--------	---------	---------	----------	--------	----------	--------------

Senaryo 3 Yıllık Maliyet

Senaryo 3'ün yıllık maliyet özeti aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.36. Senaryo 3 yıllık maliyet

Bileşen	Sermaye	Değiştirme	İşletme Ve Bakım	Yakıt	Kazanım	Toplam
Generic flat plate PV	\$38,392	\$0,00	\$56,216	\$0,00	\$0,00	\$94,608
Grid	\$0,00	\$0,00	-\$236,720	\$0,00	\$0,00	- \$236,720
Generic 1kWh Li-Ion	\$10,161	\$32,901	\$5,839	\$0,00	-\$31,453	\$17,448
System Converter	\$1,762	\$7,134	\$18,990	\$0,00	-\$6,820	\$21,066
System	\$50,316	\$40,035	-\$155,674	\$0,00	-\$38,273	- \$103,597

Senaryo 3 Üretim Özeti

Senaryo 3'ün üretim özeti aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.37. Senaryo 3 üretim özeti

Bileşen	Üretim (kWh/yr)	Yüzde
Solar Panel	9 136,009	95,3
Şebeke Satın Alımları	446 160	4,66
Toplam	9 582,168	100

Senaryo 3 Tüketim Özeti

Senaryo 3'ün tüketim özeti aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.38. Senaryo 3 tüketim özeti

Bileşen	Tüketim (kWh/yr)	Yüzde
AC Yük	2 068,342	32,3
DC Yük	0	0
Şebeke Satışları	4 336,025	67,7
Toplam	6 404,367	100

Senaryo 3 PV Elektriksel Özet

Senaryo 3'ün PV elektriksel özeti aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.39. Senaryo 3 pv elektriksel özet

Nicelik	Değer	Birim
Minimum Çıkış	0	kW
Maksimum Çıkış	5 159	kW
PV Güç-Yük Oranı	442	%
Çalışma Süresi	4 389	hrs/yr
Seviyelendirilmiş Maliyet	0,0104	\$/kWh

Senaryo 3 PV İstatistikleri

Senaryo 3'ün PV istatistikleri aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.40. Senaryo 3 pv istatistikleri

Nicelik	Değer	Birim
Anma Kapasitesi	5 622	kW
Ortalama Çıktı	1 043	kW
Ortalama Çıktı	25,030	kWh/d
Kapasite Faktörü	18,6	%
Toplam Üretim	9 136,009	kWh/yr

Senaryo 3 Depolama Birimi Özellikleri

Senaryo 3'ün depolama birimi özellikleri aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.41. Senaryo 3 depolama birimi özellikleri

Nicelik	Değer	Birim
Batarya	2 648	
Bara Gerilimi	6,00	

Senaryo 3 Depolama Birimi Sonuçları

Senaryo 3'teki depolama birimi sonuçları aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.42. Senaryo 3 depolama birimi sonuçları

Nicelik	Değer	Birim
Ortalama Enerji Maliyeti	0	\$/kWh
Enerji Girişi	741 042	kWh/yr
Enerji Çıkışı	669 185	kWh/yr
Depolama Şarj Durumu Farkı	2 368	kWh/yr
Kayıplar	74 226	kWh/yr
Yıllık Çıktı	705 383	kWh/yr

Senaryo 3 Depolama Birimi İstatistikleri

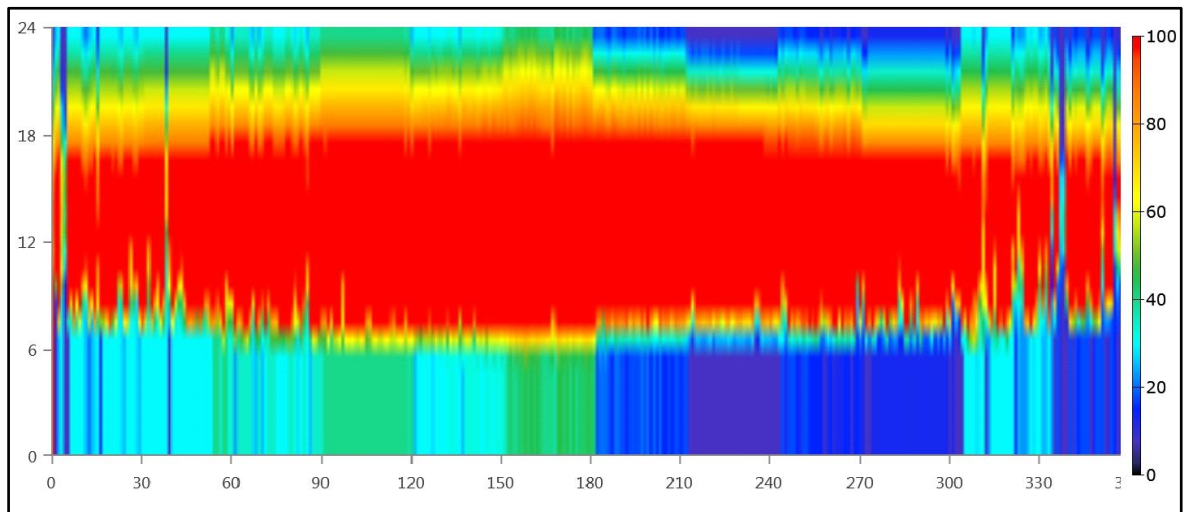
Senaryo 3'teki PV istatistikleri aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.43. Senaryo 3 depolama birimi istatistikleri

Nicelik	Değer	Birim
Depolama Kapasitesi/Ortalama Yük	10,1	hr
Depolama Çevrim Maliyeti	0,0872	\$/kWh
Nominal Kapasite	2 648	kWh
Kullanılabilir Nominal Kapasite	2 383	kWh
Ömür Boyu Toplam Çıktı	10 580,738	kWh
Beklenen Ömür	15,0	yr

Senaryo 3 Depolama Birimi Şarj Durumu (%)

Senaryo 3'teki depolama birimi şarj durumu Şekil 6.23'te verilmiştir:



Şekil 6.23. Senaryo 3 depolama birimi şarj durumu

Senaryo 3 Konvertör Elektriksel Özet

Senaryo 3'ün konvertör elektriksel özeti aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.44. Senaryo 3 konvertör elektriksel özet

Nicelik	Değer	Birim
Çalışma Süresi	6 597	hrs/yr
Enerji Çıkışı	5 958,207	kWh/yr
Enerji Girişi	6 271,797	kWh/yr
Kayıplar	313 590	kWh/yr

Senaryo 3 Konvertör İstatistikleri

Senaryo 3'ün konvertör istatistikleri aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.45. Senaryo 3 konvertör istatistikleri

Nicelik	Değer	Birim
Kapasite	1 899	kW
Ortalama Çıktı	680	kW
Minimum Çıkış	0	kW
Maksimum Çıkış	1 899	kW
Kapasite Faktörü	35,8	%

Senaryo 3 Şebeke Elektriksel Özet

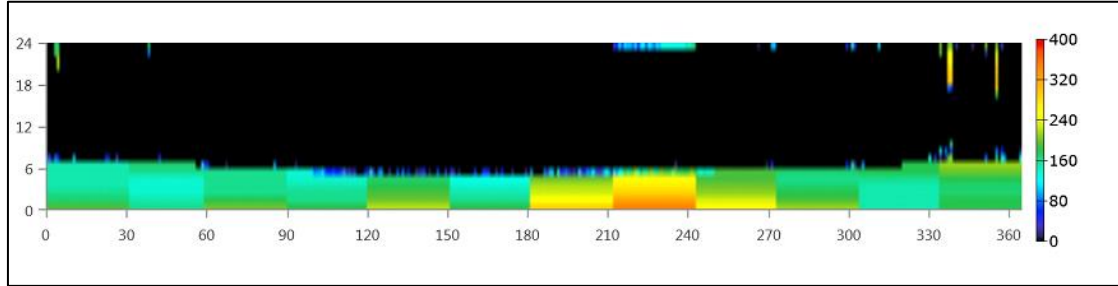
Senaryo 3'ün şebeke elektriksel özeti aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.46. Senaryo 3 şebeke elektriksel özet

Ay	Satın Alınan Enerji(kWh)	Satılan Enerji(kWh)	Net Satın Alınan Enerji(kWh)	En Yüksek Talep(kW)	Enerji Maliyeti
Ocak	38,403	268,041	-229,638	227	-\$14,195
Şubat	31,466	301,263	-269,797	192	-\$16,926
Mart	33,686	412,912	-379,225	212	-\$23,229
Nisan	27,749	428,235	-400,486	191	-\$24,180
Mayıs	32,323	437,634	-405,311	231	-\$24,261
Haziran	24,659	449,841	-425,182	191	-\$25,366
Temmuz	40,687	417,884	-377,197	303	-\$22,933
Ağustos	57,615	383,114	-325,499	363	-\$19,664
Eylül	40,237	370,300	-330,063	268	-\$20,017
Ekim	35,980	356,777	-320,797	222	-\$19,751
Kasım	33,166	278,668	-245,501	192	-\$15,149
Aralık	50,189	231,357	-181,169	308	-\$11,049
Annual	446,160	4,336,025	-3,889,865	363	-\$236,720

Senaryo 3 Şebekeden Alınan Enerji (kW)

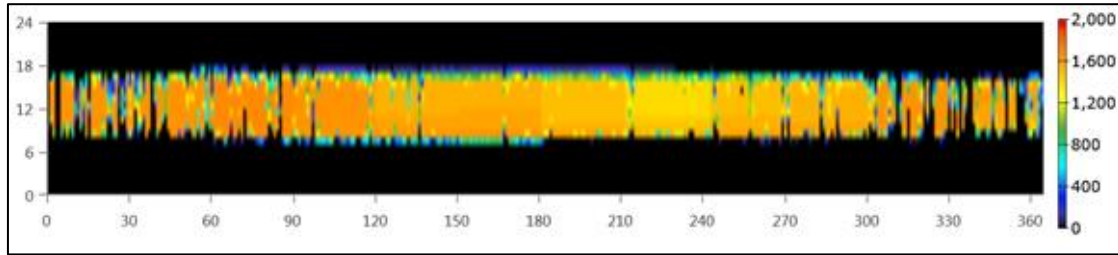
Senaryo 3'teki şebekeden alınan enerji Şekil 6.24'te gösterilmiştir:



Şekil 6.24. Senaryo 3 şebekeden alınan enerji

Senaryo 3 Şebekeye Satılan Enerji (kW)

Senaryo 3'teki şebekeye satılan enerji Şekil 6.25'te gösterilmiştir:



Şekil 6.25. Senaryo 3 şebekeye satılan enerji

Senaryo 3 Yenilenebilir Enerji Özet

Senaryo 3'ün şebeke elektriksel özeti aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.47. Senaryo 3 yenilenebilir enerji özet

Kapasite tabanlı metrikler	Değer	Birim
Nominal yenilenebilir kapasite - Toplam nominal kapasite oranı	100	%
Kullanılabilir yenilenebilir kapasite - Toplam kapasite oranı	100	%
Enerji tabanlı metrikler	Değer	Birim
Toplam yenilenebilir üretim - Yük oranı	143	%
Toplam yenilenebilir üretim - Toplam üretim oranı	95,3	%
Tepe Değerler	Değer	Birim
Yenilenebilir Çıkış - Yük oranı	1 834	%
Yenilenebilir Çıkış - Toplam Üretim oranı	100	%

Senaryo 3 Ekonomik Özet

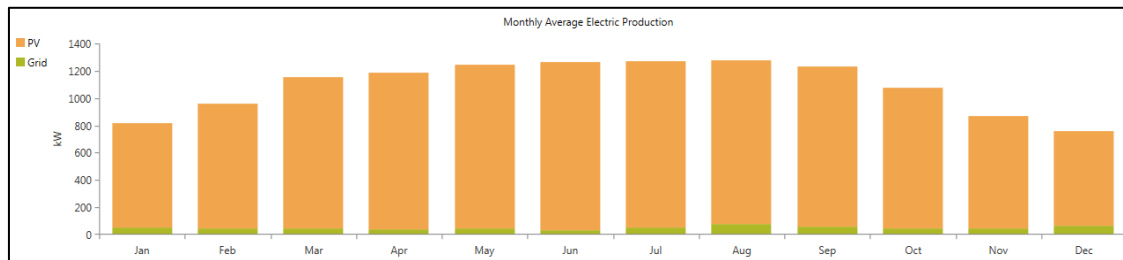
Senaryo 3'ün ekonomik özeti Şekil 6.26'da verilmiştir:

Metric	Value	
Present worth (\$)	\$42,005,790	
Annual worth (\$/yr)	\$3,935,051	
Return on investment (%)	5.4	
Internal rate of return (%)	2.4	
Simple payback (yr)	19.89	
Discounted payback (yr)	9.47	

Şekil 6.26. Senaryo 3 ekonomik özet

Senaryo 3 Aylık Ortalama Elektrik Üretimi

Senaryo 3'ün aylık ortalama elektrik üretimi Şekil 6.26'da verilmiştir:



Şekil 6.27. Senaryo 3 aylık ortalama elektrik üretimi

6.3.4. Senaryo 4: 3,6 MW PV, şebekeden bağımsız durumu

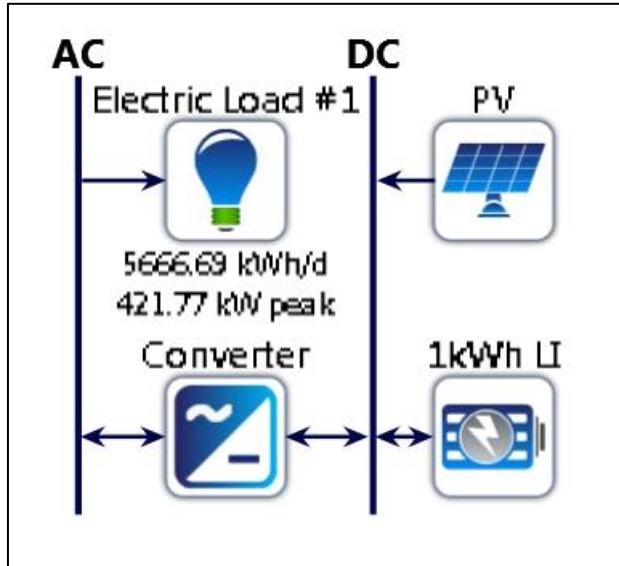
Senaryo 4 Sistem Mimarisi

4. senaryoda sistemin şebeke bağlantısı kesildiğinde oluşacak sistem mimarisi aşağıda verilmiştir:

Çizelge 6.48. Senaryo 4 sistem mimarisi

Bileşen	İsim	Boyut	Birim
PV	Generic flat plate PV	3 786	kW
Depolama	Generic 1kWh Li-Ion	14 411	strings
Konvertör	System Converter	692	kW
Sevk Stratejisi	HOMER Cycle Charging		

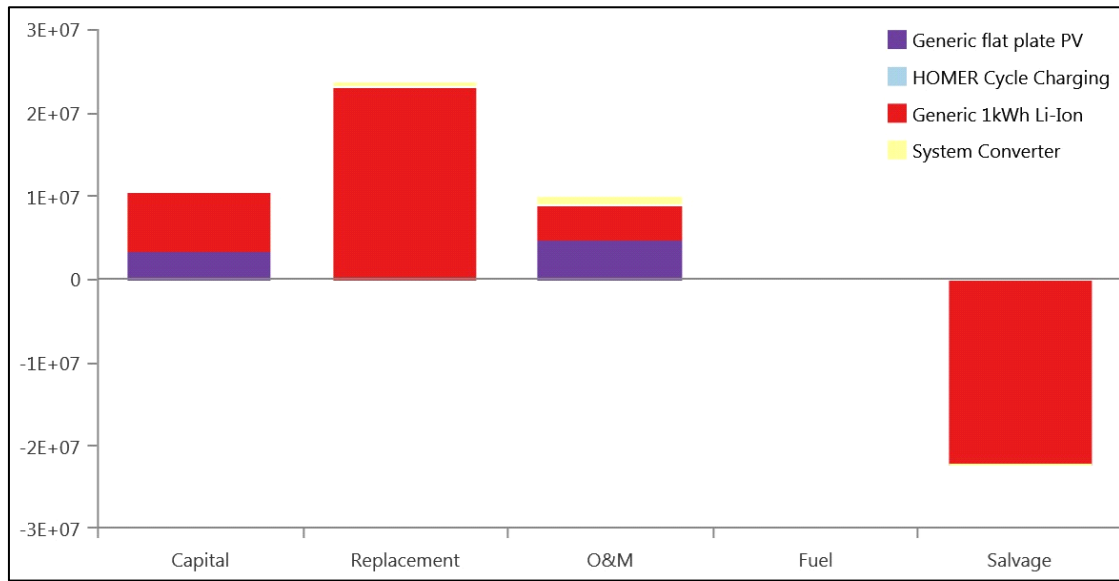
Senaryo 4'ün şematik gösterimi Şekil 6.28'de görüldüğü biçimdedir:



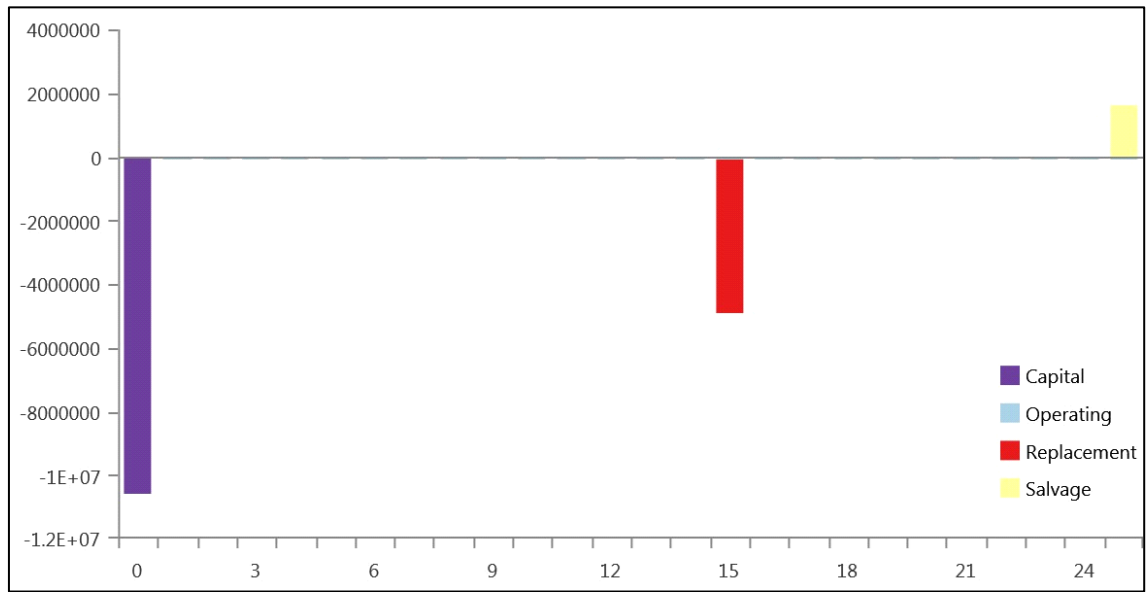
Şekil 6.28. Senaryo 4 şematik şebeke gösterimi

Senaryo 4 Maliyet Özeti

Şekil 6.29 ve Şekil 6.30'da 4. Senaryoya ait maliyet özetleri verilmektedir:



Şekil 6.29. Senaryo 4 maliyet özeti-1



Şekil 6.30. Senaryo 4 maliyet özeti-2

Senaryo 4 Net Bugünkü Maliyet

Senaryo 4'ün net bugünkü maliyet özeti aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.49. Senaryo 4 net bugünkü maliyet

Bileşen	Sermaye	Değiştirme	İşletme Ve Bakım	Yakıt	Kazanım	Toplam
Generic flat plate PV	\$3,34M	\$0,00	\$4,90M	\$0,00	\$0,00	\$8,24M
Generic 1kWh Li- Ion	\$7,15M	\$23,2M	\$4,11M	\$0,00	-\$22,1M	\$12,3M
System Converter	\$83,032	\$336,067	\$894,638	\$0,00	-\$321,277	\$992,460
System	\$10,6M	\$23,5M	\$9,90M	\$0,00	-\$22,5M	\$21,5M

Senaryo 4 Yıllık Maliyet

Senaryo 4'ün yıllık maliyet özeti aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.50. Senaryo 4 yıllık maliyet

Bileşen	Sermaye	Değiştirme	İşletme Ve Bakım	Yakıt	Kazanım	Toplam
Generic flat plate PV	\$25,859	\$0,00	\$37,865	\$0,00	\$0,00	\$63,723
Generic 1kWh Li- Ion	\$55,299	\$179,055	\$31,777	\$0,00	-\$171,175	\$94,956

Çizelge 6.51. (devam) Senaryo 4 yıllık maliyet

System Converter	\$642,19	\$2,599	\$6,919	\$0,00	-\$2,485	\$7,676
System	\$81,800	\$181,654	\$76,561	\$0,00	-\$173,660	\$166,356

Senaryo 4 Üretim Özeti

Senaryo 4'ün üretim özeti aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.52. Senaryo 4 üretim özeti

Bileşen	Üretim (kWh/yr)	Yüzde
Solar Panel	6 153,555	100
Toplam	6 153,555	100

Senaryo 4 Tüketim Özeti

Senaryo 4'ün tüketim özeti aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.53. Senaryo 4 tüketim özeti

Bileşen	Tüketim (kWh/yr)	Yüzde
AC Yük	2 067,498	100
DC Yük	0	0
Toplam	2 067,498	100

Senaryo 4 PV Elektriksel Özet

Senaryo 4'ün PV elektriksel özeti aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.54. Senaryo 4 pv elektriksel özet

Nicelik	Değer	Birim
Minimum Çıkış	0	kW
Maksimum Çıkış	3 475	kW
PV Güç-Yük Oranı	298	%
Çalışma Süresi	4 389	hrs/yr
Seviyelendirilmiş Maliyet	0,0104	\$/kWh

Senaryo 4 PV İstatistikleri

Senaryo 4'teki PV istatistikleri aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.55. Senaryo 4 pv istatistikleri

Nicelik	Değer	Birim
Anma Kapasitesi	3 786	kW
Ortalama Çıktı	702	kW
Ortalama Çıktı	16 859	kWh/d
Kapasite Faktörü	18,6	%
Toplam Üretim	6 153,555	kWh/yr

Senaryo 4 Depolama Birimi Özellikleri

Senaryo 4'teki depolama birimi özellikleri aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.56. Senaryo 4 depolama birimi özellikleri

Nicelik	Değer	Birim
Batarya	14 411	
Bara Gerilimi	6,00	

Senaryo 4 Depolama Birimi Sonuçları

Senaryo 4'teki depolama birimi sonuçları aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.57. Senaryo 4 depolama birimi sonuçları

Nicelik	Değer	Birim
Ortalama Enerji Maliyeti	0	\$/kWh
Enerji Girişi	1 283,552	kWh/yr
Enerji Çıkışı	1 159,436	kWh/yr
Depolama Şarj Durumu Farkı	4 468	kWh/yr
Kayıplar	128 584	kWh/yr
Yıllık Çıktı	1 222,152	kWh/yr

Senaryo 4 Depolama Birimi İstatistikleri

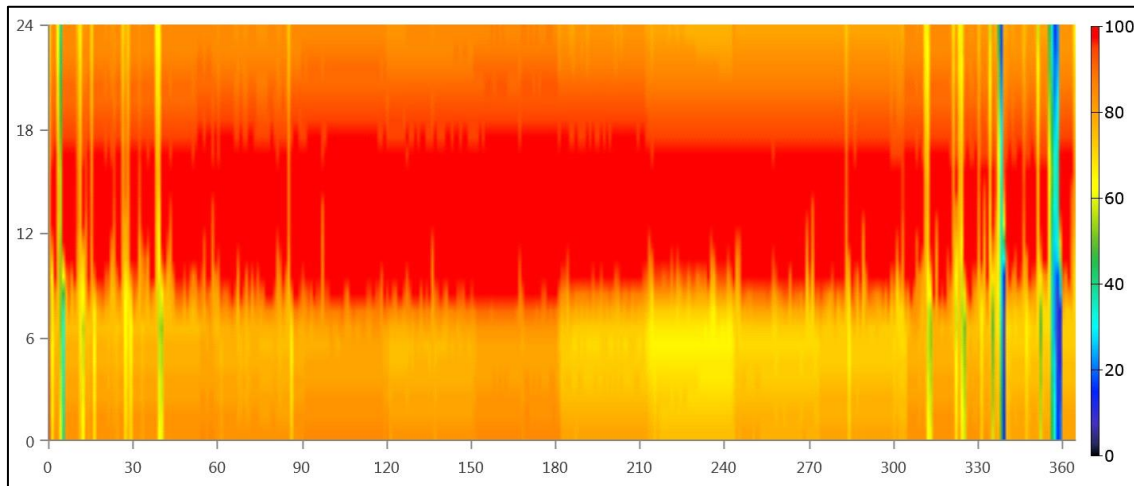
Senaryo 4'teki depolama birimi istatistikleri aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.58. Senaryo 4 depolama birimi istatistikleri

Nicelik	Değer	Birim
Depolama Kapasitesi/Ortalama Yük	54,9	hr
Depolama Çevrim Maliyeti	0,0872	\$/kWh
Nominal Kapasite	14 411	kWh
Kullanılabilir Nominal Kapasite	12 970	kWh
Ömür Boyu Toplam Çıktı	18 332,285	kWh

Senaryo 4 Depolama Birimi Şarj Durumu (%)

Senaryo 4'teki depolama birimi şarj durumu Şekil 6.31'de verilmiştir:



Şekil 6.31. Senaryo 4 depolama birimi şarj durumu

Senaryo 4 Konvertör Elektriksel Özet

Senaryo 4'ün konvertör elektriksel özeti aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.59. Senaryo 4 konvertör elektriksel özet

Nicelik	Değer	Birim
Çalışma Süresi	8 757	hrs/yr
Enerji Çıkışı	2 067,498	kWh/yr
Enerji Girişi	2 176,313	kWh/yr
Kayıplar	108 816	kWh/yr

Senaryo 4 Konvertör İstatistikleri

Senaryo 4'teki konvertör istatistikleri aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.60. Senaryo 4 konvertör istatistikleri

Nicelik	Değer	Birim
Kapasite	692	kW
Ortalama Çıktı	236	kW
Minimum Çıkış	0	kW
Maksimum Çıkış	422	kW
Kapasite Faktörü	34,1	%

Senaryo 4 Yenilenebilir Enerji Özet

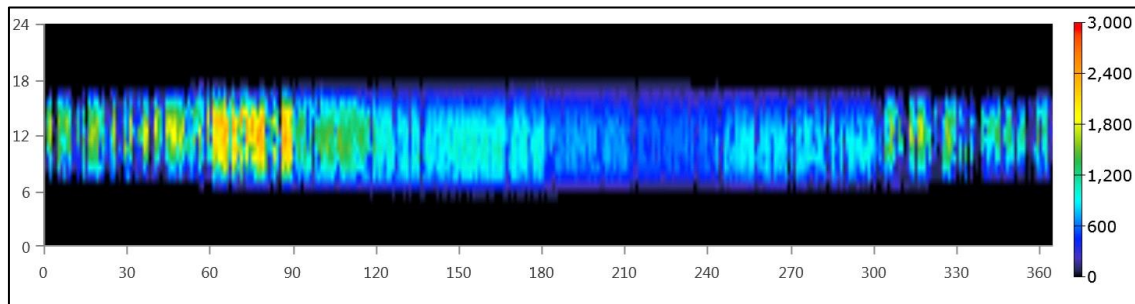
Senaryo 4'ün yenilenebilir enerji özeti aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.61. Senaryo 4 yenilenebilir enerji özet

Kapasite tabanlı metrikler	Değer	Birim
Nominal yenilenebilir kapasite - Toplam nominal kapasite oranı	100	%
Kullanılabilir yenilenebilir kapasite - Toplam kapasite oranı	100	%
Enerji tabanlı metrikler	Değer	Birim
Toplam yenilenebilir üretim - Yük oranı	298	%
Toplam yenilenebilir üretim - Toplam üretim oranı	100	%
Tepe Değerler	Değer	Birim
Yenilenebilir Çıkış - Yük oranı	2,673	%
Yenilenebilir Çıkış - Toplam Üretim oranı	100	%

Senaryo 4 Toplam Yükün Anlık Yenilenebilir Çıkış Oranı (%)

Senaryo 4'teki toplam yükün anlık yenilenebilir çıkış oranı Şekil 6.32'de verilmiştir:



Şekil 6.32. Senaryo 4 toplam yükün anlık yenilenebilir çıkış oranı (%)

Senaryo 4 Ekonomik Özet

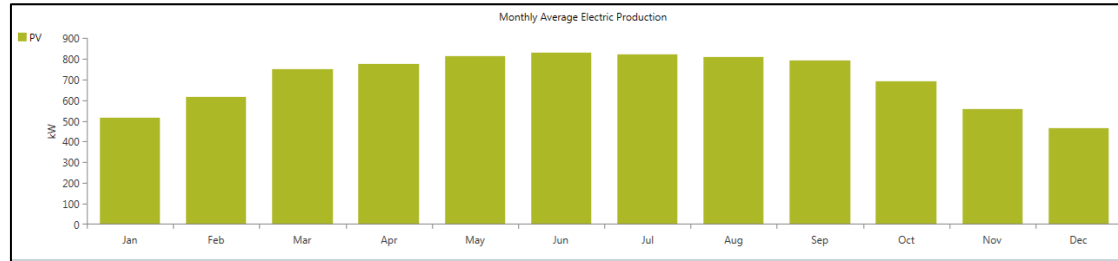
Senaryo 4'ün ekonomik özeti Şekil 6.33'te verilmiştir:

Metric	Value	
Present worth (\$)	\$0	
Annual worth (\$/yr)	\$0	
Return on investment (%)	0.0	
Internal rate of return (%)	n/a	
Simple payback (yr)	n/a	
Discounted payback (yr)	n/a	

Şekil 6.33. Senaryo 4 ekonomik özet

Senaryo 4 Aylık Ortalama Elektrik Üretimi

Senaryo 4'teki aylık ortalama elektrik üretimi Şekil 6.34'te verilmiştir:



Şekil 6.34. Senaryo 4 aylık ortalama elektrik üretimi

7. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Üretim gücü yüksek olan şebekelere bağlı olmayan ada şebekeleri kendi üretim-tüketim dengelerini korumak zorundadırlar. Çevresel endişeler de göz önüne alınarak ada şebekelerin üretim-tüketim dengelerini korurken elektrik ihtiyaçlarını yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılamaları ideal bir senaryo olacaktır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının üretim değerleri anlık olarak yüksek değişkenlik gösterebileceğinden, ada şebekelerinin üretim-tüketim dengelerini korumaları için enerji depolama sistemi kullanılması gerekmektedir. Türkiye’de bulunan adalar, yenilenebilir enerji potansiyeli açısından zengin imkanlara sahiptirler. Kıbrıs özellikle güneş enerjisi açısından en zengin kaynaklara sahip adalardan birisidir. Kuzey Kıbrıs’ta bulunan yaklaşık 2,6MW gücündeki güneş enerji santralleri bunun bir göstergesidir. Ancak mevcut kurulu tesisler, yüksek oranda yenilenebilir enerji kullanımı ile anlık üretim-tüketim dengesinin sağlanmasının zor olması sebebiyle enerji potansiyelinin tamamının kullanımına olanak sağlamamaktadır.

Bu çalışmada Kuzey Kıbrıs’ta bulunan Serhatköy Güneş Enerji Santrali ölçeğinde simülasyon ve analiz çalışmaları yapılmıştır. Farklı senaryolarda yapılan simülasyonlarda mevcut sistem için en uygun depolama sistemi kapasitesi tasarımı yapılmış, santralin kapasitenin artırılmasının depolama sistemine etkisi incelenmiş ve Kuzey Kıbrıs’ın ana şebeke bağlantısı kesilerek mikroşebeke olarak çalışması durumunda gerekecek güneş enerji santrali ve enerji depolama sistemi modellenmiştir.

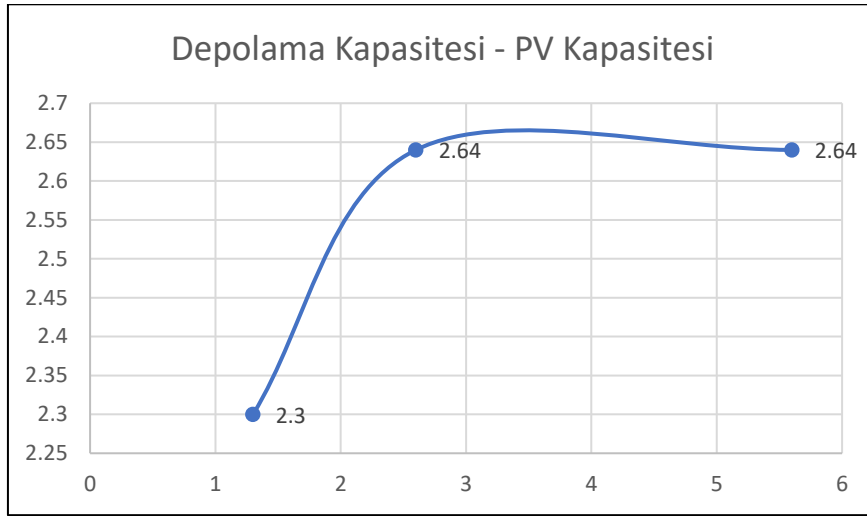
Simülasyonlardan elde edilen sonuçlardan; mevcut durumdaki yaklaşık 1,3MW kapasiteli santral için 2,3MW kapasiteli, Lityum-İyon teknolojisine sahip bir enerji depolama sistemi en uygun görülmüştür. Lityum-İyon teknolojisi; uzun çevrim ömrü, makul şarj süresi ve yüksek yük kapasitesine sahip olması sayesinde ve yenilenebilir enerji kaynaklarının şebeke entegrasyonlarında sıkça kullanılması sebebiyle tercih edilmiştir. Bu tasarıma göre şebekeden alınan yıllık ortalama elektrik miktarı azalacak ve belirli zamanlarda şebekeye enerji satılabilecektir. Net bugünkü maliyet açısından bakıldığında; 2,41M\$’ı ilk maliyet olmak üzere toplam 8,52M\$’lık bir maliyet oluşmuştur. Yıllık ihtiyaç duyulan yaklaşık 2 757 kWh’lık enerji ihtiyacının 2112 kWh’ı güneş enerjisinden karşılanmış, 645 kWh’ı ise şebekeden temin edilmiştir. Toplam üretimin %76,6’sı yenilenebilir enerji kaynakları tarafından sağlanabileceği görülmektedir.

Güneş enerji santrali kapasitesinin 2,6MW'a çıkarılması durumunda enerji depolama sistemine duyulan ihtiyaç artmış ve yaklaşık 2,64MW'lık bir Lityum-İyon depolama sistemi uygun görülmüştür. Şebekeden alınan yıllık ortalama elektrik miktarı azalarak 500 kWh'a düşmüş, satılan elektrik 2 200 kWh'a yükselmiştir. Bunun sonucunda 3,74M\$'lık bir ilk maliyete karşın, toplam net bugünkü maliyet -3,39M\$ olarak hesaplanmıştır. Yani sistemin, elektriksel ihtiyacı karşılarken ekonomik açıdan da kazanç getireceği gözlenmiştir. Toplam üretimin %89'u yenilenebilir enerji kaynakları tarafından sağlanabileceği görülmüştür.

Depolama kapasitesi 2,64MW olarak sabit tutulduğunda kullanılabilecek maksimum santral kapasitesi 5,6MW olarak hesaplanmıştır. Bunun sonucunda şebekeden yıllık ortalama olarak yaklaşık 446 kWh elektrik temin edilmiş, yaklaşık 4 336 kWh'lık enerji sebekeye satılmıştır. Toplam net bugünkü maliyet -13,4M\$ olarak hesaplanmıştır. Toplam üretimin %95,3'ü yenilenebilir enerji kaynakları tarafından sağlanabileceği görülmüştür.

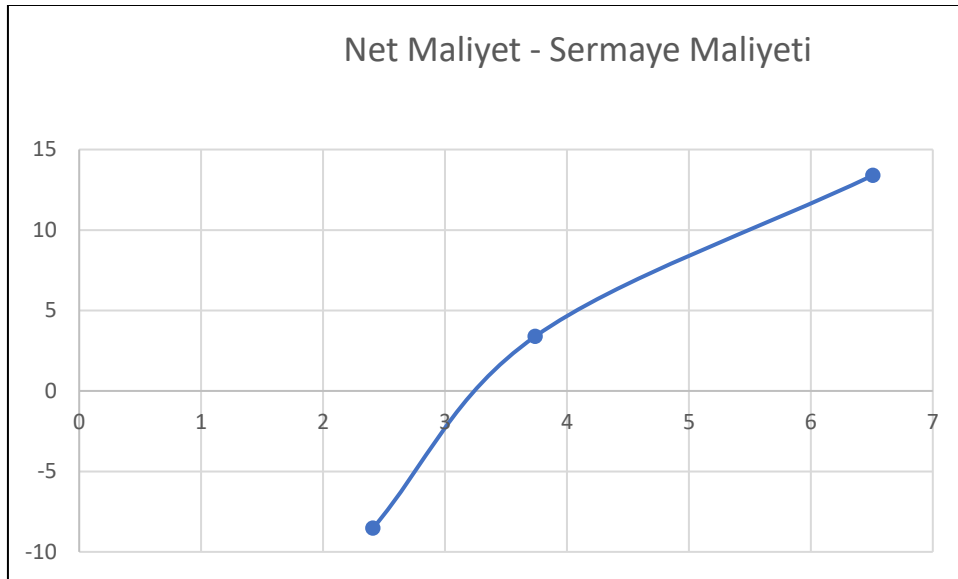
Kuzey Kıbrıs'ın Güney Kıbrıs şebekesiyle olan bağlantısı kesilip, mikroşebeke modu ile çalışmaya başlanırsa, enerji ihtiyacını karşılamak için ihtiyaç duyulacak güneş enerji santrali kapasitesi 3,6MW, enerji depolama sistemi kapasitesi 14,4MW olarak hesaplanmıştır. Toplam net bugünkü maliyet 21,5M\$ olup, bunun 10,6M\$'ı ilk maliyettir. Enerji ihtiyacını karşılamak için güneş enerjisinden yıllık toplam 6 153 kWh elektrik enerjisi elde edilmiştir. Depolama birimine yıllık ortalama 1 283 kWh giren enerji, 1 159 kWh çıkan enerji olmuştur.

Senaryolar kıyaslandığında, depolama kapasitesi - PV kapasitesi ilişkisinin belirli bir noktadan sonra doyuma ulaştığı görülmüştür (Şekil 7.1). Bu durum göz önüne alındığında depolama kapasitesi 2.64MW olarak sabit tutularak PV kapasitesinin arttırılabileceği değerlendirilmiştir.



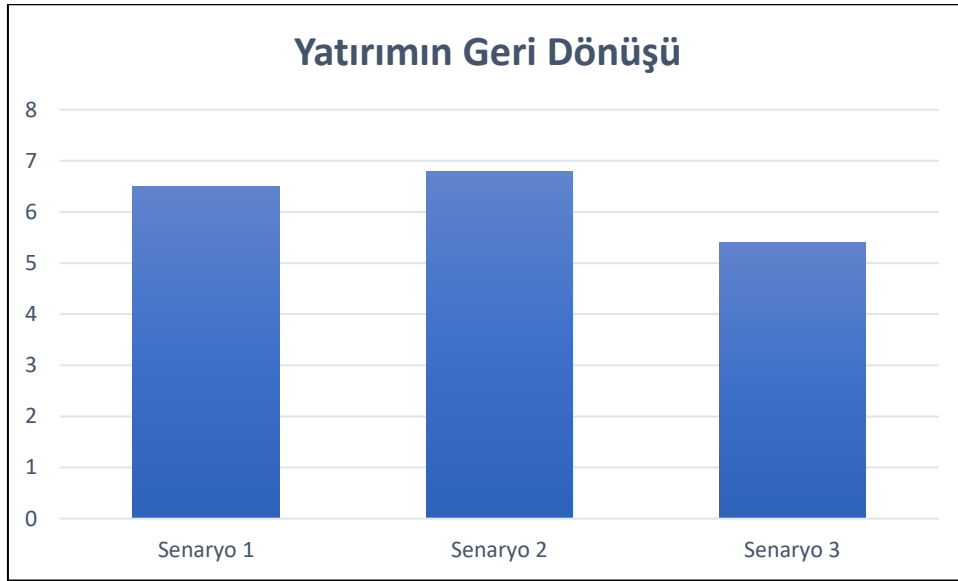
Şekil 7.1. Depolama kapasitesi - pv kapasitesi

Maliyet ilişkisine bakıldığında ise sistemin kar getirebilmesi için en az yaklaşık 3,2M \$'lık bir sermaye yatırımına ihtiyaç duyulduğu görülmüştür (Şekil 7.2). Bu sebeple mali kazanç beklenmesi için en az yaklaşık 3,2MW kapasiteli bir PV sistemi tercih edilmelidir.



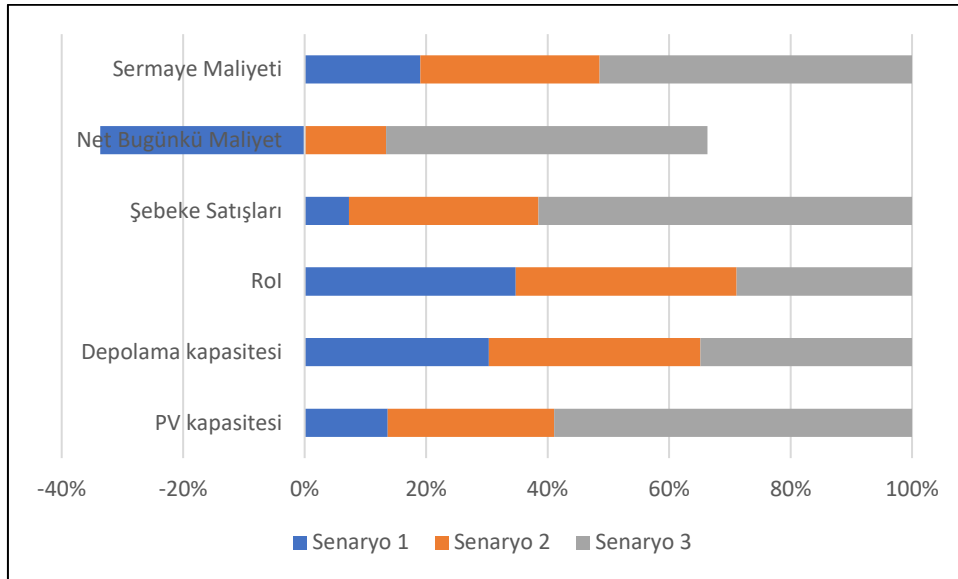
Şekil 7.2. Net maliyet - sermaye maliyeti

Yatırımın mali geri dönüşü verilerine bakıldığında sistemin PV ve depolama kapasitesinin artırılması halinde geri dönüş süresinin azaldığı saptanmıştır (Şekil 7.3).



Şekil 7.3. Yatırımın geri dönüşü

Ek olarak, şebekeye bağlı durumlar için koşulan senaryolara ait simülasyon sonuçları Şekil 7.4'te verilmiştir.



Şekil 7.4. Senaryo kıyaslama tablosu

Yapılan simülasyondaki farklı senaryolar değerlendirildiğinde; mevcuttaki PV kapasitesinin depolama ile kullanılmasının mali açıdan verimli olmadığı; depolama ile birlikte kullanımın PV kapasitesinin artırılabilmesine imkan sağladığı ve bu sebeple Senaryo 2 ve 3'ün ekonomik açıdan daha uygun çözümler olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Simulasyon sonuçlarından görüldüğü üzere, Kuzey Kıbrıs elektrik şebekesi Serhatköy Güneş Enerji santrali ölçeğinde düşünüldüğünde; santralin enerji depolama sistemi ile birlikte kullanılması durumunda teknik gereksinimler karşılanırken maliyet bakımından avantaj elde edilebileceği gösterilmiş, şebekeye duyulan ihtiyaç azaltılabilmektedir. Bu sayede, Güney Kıbrıs elektrik şebekesi ile olan bağlantı kesilip mikroşebeke modunda çalışmaya geçirilmesi durumunda bile, adanın güneş enerji potansiyelinin bu senaryodaki ihtiyacı karşılayacağı görülmektedir. Tüm bunlar ada sakinlerinin daha güvenilir ve daha uygun fiyatlı elektrik tüketmesine imkan sağlarken, kişi başına düşen yıllık milli geliri arttıracaktır.

7.1. Gelecekte Yapılabilecek Çalışmalar

Bu çalışmada yapılan analizler Kuzey Kıbrıs elektrik şebekesi, Serhatköy Güneş Enerji Santrali'ne göre ölçeklenerek yapılmıştır. Üretim verileri ve üretim potansiyeli ilgili konuma göre hesaplanmıştır. Şebekenin tamamı, buhar türbinli ve dizel jeneratörlü santraller de dikkate alınarak, yapılacak modelleme ve bu model kullanılarak yapılacak analizler şebekenin geneli için daha geniş perspektifli bir görüş sunacaktır.

KAYNAKLAR

1. İnternet: Ken Geisler. How Distributed Generation is Changing Grid Design. Web: <http://www.siemens.com/press/en/events/2012/corporate/2012-06-wildpoldsried.php>. Son Erişim Tarihi: 10.10.2021.
2. Koç. İ. M. (2015, 4-6 Haziran). *Akıllı şebekelerde enerji depolama uygulamaları ve standartların incelenmesi*. Enerji Verimliliği, Kalitesi Sempozyumu ve Sergisi, Sakarya, 1-5.
3. Yılmaz U. (2010). Gökçeada'da Yenilenebilir Enerji Kaynaklarıyla Elektrik Üretimi. *Politeknik Dergisi*, 13(3), 215-223.
4. Kalıncı Y. (2015). Alternative energy scenarios for Bozcaada island, Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 468-480.
5. Stiel A. and Skyllas-Kazacos M. (2012). Techno-Economic Analysis of Off-Grid PV/Wind/FuelCell Hybrid System. *Applied Science*, 2, 726-737.
6. Garimella N. and Nirmal-Kumar C. N. (2009). Assessment of Battery Energy Storage Systems for Small-Scale Renewable Energy Integration. *Energy and Buildings*, 42(11), 2124-2130.
7. Dufo-López R. and Bernal-Agustín J. L. (2014). Techno-economic analysis of grid-connected battery storage. *Energy Conversion and Management*, 91, 394-404.
8. Chatzigeorgiou N., Afxentis S., Panagiotou K. and Georghiou G. E. (May 2019). *Analysis of Increase Self-Consumption Battery Energy Storage System Use -A Residential Case Study in Cyprus*. 2019 1st International Conference on Energy Transition in the Mediterranean Area.
9. Al-Ghussain L., Taylan O., Samu R. and Fahrioğlu M. (2018). Techno-Economic Analysis of Photovoltaic-Hydrogen Fuel Cell/Pumped Hydro Storage System for Micro Grid Applications: Case Study in Cyprus. *International Conference on Photovoltaic Science and Technologies*.
10. Minder R. and Maltini F. (2013). The Serhatköy photovoltaic power plant and the future of renewable energy on the Turkish Republic of Northern Cyprus. *FM Consultants Associates, Minder Energy Consulting*, 12-19.
11. İnternet: U.S. Department of Energy (2020). *Electrical Energy Storage*. Web: <https://webstore.iec.ch/publication/2237>. Son Erişim Tarihi: 22.12.2020.

12. İnternet: *Renewables 2021 Global Status Report*. (2021). Web: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2021_Full_Report.pdf. Son Erişim Tarihi: 14.03.2022.
13. İnternet: *Electricity Storage Technology Review*. (2020). Web: <https://www.energy.gov/sites/default/files/2020/10/f79/Electricity%20Storage%20Technologies%20%20Report.pdf>. Son Erişim Tarihi: 13.03.2020.
14. İnternet: Y. Z. Gary. (2017). *It's Big and Long-Lived, and It Won't Catch Fire: The Vanadium Redox Flow Batter*. Web: <https://spectrum.ieee.org/its-big-and-longlived-and-it-wont-catch-fire-the-vanadium-redoxflow-battery>
15. K. D. Kyeong, S. Yoneoka, A. Z. Banatwala, and Yu-Tack Kim. (2018). *Handbook On Battery Energy Storage System*. Mandaluyong City, Philippines: Asian Development Bank, 1-94.
16. İnternet: BU-201: How does the Lead Acid Battery Work? (Oct 2021) Web: <https://batteryuniversity.com/article/bu-201-how-does-the-lead-acid-battery-work>. Son Erişim Tarihi: 31.11.2021.
17. Táci I. (2016). Overview of the Energy Storage Possibilities to Support the Electrical Power System. Energy Regulators Regional Association. *ERRA*. Budapest, 31-46.
18. European Association for Storage of Energy. *Electrochemical Energy Storage Sodium-Nickel-Chloride Battery*. (2016). Brussels, 1-2.
19. İnternet: BU-203: Nickel-based Batteries. (Oct 2021). Web: <https://batteryuniversity.com/article/bu-203-nickel-based-batteries>. Son Erişim Tarihi: 31.11.2021.
20. Fuchs G., Lunz B., Leuthold M. and Sauer D.U. (June 2012.) Technology Overview on Electricity Storage - Overview on the potential and on the deployment perspectives of electricity storage technologies. *SEFEP*. Berlin, 48-55.
21. İnternet: Energy Storage Association. (2020). Web: <https://energystorage.org>. Son Erişim Tarihi: 23.08.2021.
22. Erdiñç O., Uzunoğlu M. and Vural B. (2011, 5-7 Ekim). Hibrit Alternatif Enerji Sistemlerinde Kullanılan Enerji Depolama Üniteleri. Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, Elazığ, 116-121.
23. Çalıker A., Özdemir E. (May 2013). *Modern Enerji Depolama Sistemleri ve Kullanım Alanları*. Enerji Verimliliği, Kalitesi Sempozyumu ve Sergisi, Kocaeli. 1-5.

24. Internet: Rüzgar ve Güneş Enerji Santrallerinde Enerji Depolama Yöntemleri. (2019). Rüzgar ve Güneş Enerji Santrallerinde Enerji Depolama Yöntemleri. Web: <https://www.enerjigazetesi.ist/ruzgar-ve-gunes-enerjisi-santrallerinde-enerji-depolamasi-ve-yontemleri/> Son Erişim Tarihi: 11.01.2021
25. Internet: K. Zach, H. Auer, G. Körbler and G. Lettner. (September 2012). The Role of Bulk Energy Storage in Facilitating Renewable Energy Expansion. *Intelligent Energy Europe*. Web: https://www.store-project.eu/documents/results/en_GB/the-role-of-bulk-energy-storage-in-facilitating-renewable-energy-expansion. Son Erişim Tarihi: 20.01.2021.
26. Kozak Ş. and Kozak M. (November 2012). Enerji depolama yöntemleri. *SDU International Technologic Science*. 4(2), 17-29.
27. Sandia National Laboratories. (February 2010). *Energy Storage for the Electricity Grid: Benefits and Market Potential Assessment Guide*. California: Jim Eyer, Garth Corey, 69-74.
28. Behabtu, H.A, Messagie, M., Coosemans, T., Berecibar, M., Anlay Fante, K., Kebede, A.A. and Mierlo, J.V. (2020). A Review of Energy Storage Technologies' Application Potentials in Renewable Energy Sources Grid Integration. *Sustainability*, 12, 10511.
29. Sabihuddin, S., Kiprakis, A.E. and Mueller, M. (2015). A Numerical and Graphical Review of Energy Storage Technologies. *Energies*, 8, 172-216.
30. Hossain, E.; Faruque, H.M.R., Sunny, M.S.H., Mohammad, N. and Nawar, N. (2020). A Comprehensive Review on Energy Storage Systems: Types, Comparison, Current Scenario, Applications, Barriers, and Potential Solutions, Policies, and Future Prospects. *Energies*, 13, 3651.
31. Gür T.M. (2018). Review of Electrical Energy Storage Technologies, Materials and Systems: Challenges and Prospects for Large-Scale Grid Storage. *Energy & Environmental Science*. 11, 2696-2767.
32. Worku, M.Y. (2022). Recent Advances in Energy Storage Systems for Renewable Source Grid Integration: A Comprehensive Review. *Sustainability*, 14, 5985.
33. Zhuang, X., Huang, R.; Liang, C. and Rabczuk, T. (2014). A Coupled Thermo-Hydro-Mechanical Model of Jointed Hard Rock for Compressed Air Energy Storage. *Mathematical Problems in Engineering*, 9(2).

34. Hossain, E., Faruque, H.M.R., Sunny, M.S.H., Mohammad, N. and Nawar, N. (2020). A Comprehensive Review on Energy Storage Systems: Types, Comparison, Current Scenario, Applications, Barriers, and Potential Solutions, Policies, and Future Prospects. *Energies*, 13, 3651.
35. Nadeem, F., Hussain, S.M.S., Tiwari, P.K.; Goswami, A.K. and Ustun, T.S. (2018). Comparative Review of Energy. *IEEE Access*, 7, 4555 - 4585.
36. Chen, H.; Cong, T.N., Yang, W., Tan, C.; Li, Y. and Ding, Y. (2015). Progress in electrical energy storage system: A critical review. *Progress in Natural Science*. 19(3), 291-312.
37. Luo, X., Wang, J., Dooner, M. and Clarke, J. (2015). Overview of current development in electrical energy storage. *Applied Energy*. 137(1), 511-536.
38. Hirst E and Kirby B. (March 1999). Separating and Measuring the Regulation and Load Following Ancillary Services. *Utilities Policy*. 8(2), 75-81.
39. Hirst E and Kirby B. (April 2000). Time-Averaging Period for the Regulation Service. *Utilities Policy*. 20(7), 10-13.
40. Internet: Kirby B. (March 2003). Spinning Reserve From Responsive Loads. *Oak Ridge National Laboratory*. Web: <https://info.ornl.gov/sites/publications/Files/Pub57288.pdf>. Son Erişim Tarihi: 07.08.2021.
41. Internet: 2007-2016 Regional and National Peak Demand and Energy Projection Bandwidths. *Load Forecasting Working Group Of the Reliability Assessment Subcommittee North American Electric Reliability Corporation*. (2007). Web: <http://www.nerc.com>. Son Erişim Tarihi: 12.12.2021
42. Xu, Yan & Li, Fangxing & Li, Huijuan & Rizy, Dwight & Kueck, J.D.. (2008). Using Distributed Energy Resources to Supply Reactive Power for Dynamic Voltage Regulation. *International Review of Electrical Engineering*. 3.
43. Eyer, James M. (2009). Electric utility transmission and distribution upgrade deferral benefits from modular electricity storage. *DOE Energy Storage Systems Program*. 1.
44. Parsons B., Milligan M., Zavadil B., Brooks D., Kirby B., Dragoon K. and Caldwell J. (2004). Grid impacts of wind power: A Summary of recent studies in the United States. *Wind Energy*. U.S. Department of Energy, 7. 87 - 108.

45. İnternet: Homer Pro 3.15. (2021). Web: <https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/latest/index.html>. Son Erişim Tarihi: 23.11.2021.
46. İnternet: Serhatköy, Kıbrıs. (2022) Web: https://tr.wikipedia.org/wiki/Serhat%C3%B6y,_K%C4%B1br%C4%B1s. Son Erişim Tarihi: 07.05.2022.
47. İnternet: Kıbrıs Türk Elektrik Kurumu. (2021) Web: <https://www.kibtek.com>. Son Erişim Tarihi: 23.11.2021.



GAZİ GELECEKTİR..