KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLI MİKRO ŞEBEKELERDE ENERJİ YÖNETİMİ

BEHÇET KOCAMAN

KOCAELİ 2015

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLI MİKRO ŞEBEKELERDE ENERJİ YÖNETİMİ

BEHÇET KOCAMAN

Prof.Dr. Nurettin ABUT **Danışman, Kocaeli Üniv.**	.....
Prof.Dr. Engin ÖZDEMİR **Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.**	.....
Doç.Dr. Bora ALBOYACI **Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.**	.....
Doç.Dr. Metin DEMİRTAŞ **Jüri Üyesi, Balıkesir Üniv.**	.....
Yrd.Doç.Dr. Sabri ÇAMUR **Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.**	.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 20.01.2015

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

İnsan yaşamında hayat kalitesini arttıran, sanayi üretimi için temel gereksinimlerden biri olan, ekonomik ve sosyal ilerlemeyi sağlayan en önemli unsurlardan biri elektrik enerjisidir. Kullanılan ve gelişen teknoloji ile birlikte elektrik enerjisine duyulan ihtiyaç artarken, bunun aksine enerji kaynakları azalmaktadır. Bu nedenle birincil ve yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi elde etmek, en etkin çözüm olarak görülmektedir. Enerji elde etmek ne kadar önemli ise enerjinin verimli kullanılması, var olan enerji kaynaklarının çevreye zarar vermeden yaygınlaştırılması ve mevcut sistemle tümleşik olması da o kadar önemli hale gelmiştir. Çevre dostu olan rüzgâr, güneş ve mikro hidroelektrik gibi yenilenebilir enerji kaynaklardan oluşmuş mikro şebekelerde enerji yönetimi stratejileri geliştirilerek daha verimli kullanılması sağlanmaktadır. Sözü edilen yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerji, yükün ihtiyacından fazla ise artan enerji; batarya şarjı ve hidrojen elektrolizi gibi depolama amaçlı kullanılabilir. Geliştirilen enerji yönetim stratejisi, artan enerjiyi nasıl kullanılacağını optimize etmektedir. Bununla birlikte yük tarafından talep edilen enerji miktarı, yenilenebilir enerji kaynakları tarafından üretilen enerjiden daha fazla olduğunda, enerji açığını karşılamak için en uygun şekli belirlemek önemlidir.

Yükseköğrenimim boyunca çok değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, hiçbir zaman yardımlarını benden esirgemeyen danışman hocam Prof.Dr. Nurettin ABUT'a, tez çalışmalarım boyunca kıymetli tecrübelerinden faydalandığım, önemli destek ve yardımlarını gördüğüm Prof.Dr. Engin ÖZDEMİR ve Doç.Dr. Bora ALBOYACI'ya, çalışmalarımda bana yardımcı olan mesai arkadaşlarıma, gösterdiği sabır, ilgi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan eşime, çocuklarıma ve aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Ocak - 2015 Behçet KOCAMAN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ vii
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR viii
ÖZET xi
ABSTRACT xii
GİRİŞ 1
1. GENEL BİLGİLER 5
1.1. Geleneksel ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları 6
1.2. Dünya Enerji Tüketimi 10
1.3. Dünya Enerji Üretimi 12
1.4. Türkiye'nin Enerji Üretim ve Tüketimi 13
1.5. Literatür ve Tez Çalışmaları 19
2. MİKRO ŞEBEKELER 25
2.1. Mikro Şebeke Yapıları 28
2.2. Mikro Şebeke Tasarımı 30
3. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLI HİBRİT GÜÇ ÜRETİM SİSTEMİ VE BİLEŞENLERİ 33
3.1. Hibrit Güç Üretim Sisteminin Faydaları 34
3.2. Hibrit Güç Üretim Sistemi Topolojileri 35
3.3. Hibrit Güç Sisteminin Üretim Kaynakları 37
3.3.1. Rüzgâr güç üretim sistemi 37
3.3.1.1. Rüzgâr santrallerinin uygulama alanları 38
3.3.1.2. Rüzgâr türbinleri 44
3.3.2. Güneş enerjili üretim sistemi 52
3.3.2.1. Fotovoltaik sistemler 54
3.3.2.2. Fotovoltaik pil modeli 57
3.3.2.3. Maksimum güç noktası izleyicisi 60
3.3.2.4. Panel verimini etkileyen faktörler 61
3.3.3. Mikro hidroelektrik güç üretim sistemi 66
3.3.4. Enerji depolama birimi 71
3.3.4.1. Kapasitörler 72
3.3.4.2. Ultra kapasitörler/süper kapasitörler 72
3.3.4.3. Süperiletken manyetik enerji depolama (SMES, Superconducting Magnetic Energy Storage) 73
3.3.4.4. Volanlar (Flywheels) 74
3.3.4.5. Bataryalar 74
3.3.5. Yüksek basınçlı H_2 tankı 80
3.3.6. Elektrolizör 81
3.3.7. Yakıt hücresi 84
4. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLI MİKRO ŞEBEKELERDE ENERJİ YÖNETİMİ 90

4.1. Enerji Yönetim Stratejisi 99
4.2. Günlük Enerji Yönetim Programı 103
4.3. Aylık Enerji Yönetim Programı 114
4.4. Yıllık Enerji Yönetim Programı 124
5. MİKRO ŞEBEKE SİSTEMİNİN EKONOMİK ANALİZİ 135
5.1. Şebekeden Bağımsız Üretim Sistemi Maliyeti 135
5.2. Sistemin Şebekeye Bağlantı ve Enerji Bedeli Maliyeti 136
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 140
KAYNAKLAR 144
EKLER 151
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 163
ÖZGEÇMİŞ 164

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. 1990-2030 dönemi dünya enerji tüketimi 10
Şekil 1.2. Dünya enerji tüketimi (1975-2025) 11
Şekil 1.3. Yakıtlarına göre dünya elektrik üretimi (TWh) 12
Şekil 1.4. Dünya elektrik enerjisi üretiminin yakıt paylaşımı 12
Şekil 1.5. Türkiye kurulu gücünün yakıtlara göre değişimi (1970-2012) 13
Şekil 1.6. Türkiye kurulu güç gelişimi (1995-2013) 14
Şekil 1.7. Kurulu gücün yakıt cinslerine göre dağılımı 14
Şekil 1.8. Türkiye elektrik enerjisi üretiminin yakıtlara göre değişimi 15
Şekil 1.9. Üretilen enerjinin kuruluşlara göre dağılımı 15
Şekil 1.10. Enerji üretiminin kaynaklara göre dağılımı 16
Şekil 2.1. Mikro şebeke genel şeması 27
Şekil 2.2. Tipik mikro şebeke yapısı 29
Şekil 2.3. Üç mikro şebeke ile akıllı mikro şebeke ağı bağlantısı 31
Şekil 3.1. DC bağlantılı hibrit sistem blok diyagramı 36
Şekil 3.2. AC bağlantılı hibrit sistem blok diyagramı 36
Şekil 3.3. Rüzgâr türbinin farklı kanat aralık açılarındaki Cp –λ değişimi 42
Şekil 3.4. a) Rüzgâr hızı, b) rüzgâr türbini güç değişimleri 43
Şekil 3.5. Kurulu küçük rüzgâr türbini, dünya pazar tahmini (2009-2020) 45
Şekil 3.6. Rüzgâr enerjisi kurulu gücünün yıllara göre dağılımı 45
Şekil 3.7. Rüzgâr türbininde, rüzgâr enerjisinin elektrik enerjisine dönüşümü 46
Şekil 3.8. Tipik rüzgâr türbini bileşenleri 46
Şekil 3.9. Yatay eksenli rüzgâr türbinleri 49
Şekil 3.10. Düşey eksenli rüzgâr türbini 50
Şekil 3.11. Sabit ve değişken hızlı rüzgâr türbininin hız-aktif güç karakteristik eğimi 51
Şekil 3.12. Rüzgâr güç üretim sisteminde AC-DC-AC dönüşümü açık devre modeli 51
Şekil 3.13. IGBT basitleştirilmiş eşdeğer devreleri 52
Şekil 3.14. a) Global radyasyon (ışınım) değerleri, b) güneşlenme süreleri 54
Şekil 3.15. FV modülün geçmiş ve 2035 hedefi için fiyatları 56
Şekil 3.16. FV bir hücrenin şematik blok diyagramı 57
Şekil 3.17. FV pil elektriksel eşdeğer devresi 58
Şekil 3.18. FV hücre – modül – panel - dizi oluşumu 59
Şekil 3.19. Monokristal bir FV modül için akım - gerilim ve gerilim-güç ilişkileri 60
Şekil 3.20. FV pillerin sıcaklığının verime etkisi 63
Şekil 3.21. Bir FV pilin veriminin seri dirençle değişimi 64
Şekil 3.22. FV hücre üretim miktarının (MWp) ülkelere göre dağılımı; a) 2008 yılı, b) 2009 yılı 64
Şekil 3.23. FV paneli için açık devre modeli 65
Şekil 3.24. Hidroelektrik enerji kurulu gücün yıllara göre değişimi 67
Şekil 3.25. Hidrolik enerji üretimi ve hidrolik enerjinin toplam enerji üretimindeki payı 68

Şekil 3.26. Farklı tipteki hidroelektrik su türbinleri için tipik verim değerleri 70
Şekil 3.27. Mikro hidroelektrik santral detaylı modeli 70
Şekil 3.28. Tipik bir SMES sistemi bileşenleri 73
Şekil 3.29. Volan enerji depolama ünitesinin kesit şeması 74
Şekil 3.30. Batarya şarj durumu sınırları 77
Şekil 3.31. Bir hücrenin elektrokimyasal işlemi a) şarj, ... 77
Şekil 3.32. Batarya için eşdeğer devre modeli 79
Şekil 3.33. Basınçlı H_2 depolama tankı 80
Şekil 3.34. Hidrojenin elde edildiği kaynaklar 81
Şekil 3.35. Suyun elektroliziyle oksijen ve hidrojen eldesi 82
Şekil 3.36. a) Elektrolizör ile doğrudan bağlanmış şebeke bağlantılı FV-hidrojen/yakıt hücresi hibrit sistemler, b) DC elektrolizör ile şebeke bağlantılı FV – hidrojen / yakıt hücresi hibrit sistemler, c) AC elektrolizör ile şebeke bağlantılı FV-hidrojen / yakıt hücresi hibrit sistemler 83
Şekil 3.37. FV panelden üretilen enerjinin AC yüklere aktarılmasına ilişkin blok şeması 84
Şekil 3.38. Yakıt hücre çalışma prensibi şeması 85
Şekil 3.39. Yakıt hücresi kimyasal reaksiyonu 86
Şekil 3.40. Yakıt hücresi sistemi genel yapısı 87
Şekil 3.41. Elektrolizör ve yakıt hücresinin DC baraya bağlantı blok diyagramı 88
Şekil 4.1. Şebekeden bağımsız küçük bir alanda örnek hibrit mikro şebeke 93
Şekil 4.2. Hidrojene dayalı ve şebekeden bağımsız güç üretim sistemi 95
Şekil 4.3. Yenilenebilir enerji kaynaklı mikro şebeke için blok şeması 96
Şekil 4.4. Mikro şebekedeki güç akış diyagramı 98
Şekil 4.5. Enerji yönetim sistemi programı için akış diyagramı 101
Şekil 4.6. Mikro şebeke için geliştirilen enerji yönetimi prensip şeması 102
Şekil 4.7. Mikro şebeke için kontrol ve güç devresi 103
Şekil 4.8. Programın ilk ekran görüntüsü 103
Şekil 4.9. Günlük seçeneği işaretlendiğinde ekrana çıkan görüntü 104
Şekil 4.10. Saat seçim işlemi 104
Şekil 4.11. Saat 03:00 için güç durumu 105
Şekil 4.12. Saat 08:00 için güç durumu 105
Şekil 4.13. Saat 15:00 için güç durumu 106
Şekil 4.14. Saat 20:00 için güç durumu 107
Şekil 4.15. Günlük yük talep değişimi 107
Şekil 4.16. Rüzgâr türbininden günlük güç üretimi değişimi 108
Şekil 4.17. FV panelden günlük güç üretimi değişimi 108
Şekil 4.18. Günlük mikro hidroelektrik santral güç üretimi 109
Şekil 4.19. Yenilenebilir enerji kaynaklarından günlük üretilen güç değişimi 110
Şekil 4.20. Batarya şarj durumunun gün içindeki değişimi 110
Şekil 4.21. Yakıt hücresinin gün içinde karşıladığı güç değişimi 111
Şekil 4.22. Batarya'nın karşıladığı günlük güç değişimi 111
Şekil 4.23. Gün içersinde elektrolizöre uygulanan güç değişimi 112
Şekil 4.24. Bir günlük talep edilen yükün, enerji üretim birimlerinden karşılanması 113
Şekil 4.25. Enerji yönetim programının aylık çalıştırma ekranı 114
Şekil 4.26. Aylık seçeneği işaretlendiğinde ekrana çıkan görüntü 114

Şekil 4.27. Gün seçim işlemi 115
Şekil 4.28. Ay'ın 2. günü için enerji durumu 115
Şekil 4.29. Ay'ın 12. günü için enerji durumu 116
Şekil 4.30. Ay'ın 20. günü için enerji durumu 117
Şekil 4.31. Ay'ın 30. günü için enerji durumu 117
Şekil 4.32. Aylık yük talebi değişimi 118
Şekil 4.33. Aylık rüzgâr türbininden üretilen enerji değişimi 119
Şekil 4.34. FV panelden aylık enerji üretimi değişimi 119
Şekil 4.35. Mikro hidroelektrik santralden aylık enerji üretimi değişimi 120
Şekil 4.36. Yenilenebilir enerji kaynaklarından aylık enerji üretimi değişimi 120
Şekil 4.37. Aylık batarya şarj durumu değişimi 121
Şekil 4.38. Aylık batarya tarafından karşılanan enerji miktarı değişimi 121
Şekil 4.39. Aylık yakıt hücresi'nin yüke aktardığı enerji değişimi 122
Şekil 4.40. Aylık elektrolizör'e yönlendirilen enerji değişimi 122
Şekil 4.41. Aylık talep edilen enerjinin, üretim birimlerinden karşılanması 123
Şekil 4.42. Enerji yönetim programının yıllık çalıştırma ekranı 124
Şekil 4.43. Yıllık seçeneği işaretlendiğinde ekrana çıkan görüntü 125
Şekil 4.44. Ay seçim işlemi 125
Şekil 4.45. Ocak ay'ı için enerji durumu 126
Şekil 4.46. Mart ay'ı için enerji durumu 126
Şekil 4.47. Ekim ay'ı için enerji durumu 127
Şekil 4.48. Aralık ay'ı için enerji durumu 128
Şekil 4.49. Yıllık yük talep enerjisi değişimi 128
Şekil 4.50. Yıllık rüzgâr türbininden üretilen enerji değişimi 129
Şekil 4.51. Yıllık FV panelden üretilen enerji değişimi 130
Şekil 4.52. Yıllık mikro hidroelektrik enerji üretim değişimi 130
Şekil 4.53. Yıllık yenilenebilir enerji kaynakları enerji üretim değişimi 131
Şekil 4.54. Yıllık batarya şarj durumu 131
Şekil 4.55. Yıllık batarya'dan karşılanan enerji değişimi 132
Şekil 4.56. Yıllık yakıt hücresinden karşılanan enerji değişimi 132
Şekil 4.57. Yıllık elektrolizör'e yönlendirilen enerji değişimi 133
Şekil 4.58. Yıllık talep edilen enerjinin, üretim birimlerinden karşılanması 133

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Dağıtım sistemleri planlama yaklaşımları 18
Tablo 2.1. Dağıtılmış enerji kaynakları karşılaştırılması 28
Tablo 2.2. Mikro şebeke enerji yönetim sistemi karşılaştırmaları 32
Tablo 3.1. Rüzgâr verilerinin bölgelere göre dağılımı 43
Tablo 3.2. Güçlerine göre rüzgâr türbinleri 44
Tablo 3.3. Yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı 53
Tablo 3.4. Hidroelektrik santral tipi ve kapasiteleri 68
Tablo 3.5. Düşü yüksekliği ve özgül dönme sayılarına göre türbin çeşitleri 69
Tablo 3.6. Bataryaların enerji ve güç yoğunluklarının karşılaştırılması 75
Tablo 3.7. Batarya ve ultrakapasitör karşılaştırılması 78
Tablo 3.8. H_2 için Beattie-Bridgeman eşitliğinin sabitleri 80
Tablo 3.9. Farklı tiplerdeki yakıt hücresinin kimyasal reaksiyonları 87
Tablo 3.10. Önemli yakıt hücre teknolojileri karşılaştırmaları 88
Tablo 4.1. Günlük ortalama enerji tüketim değerleri 93
Tablo 4.2. Mikro şebeke sistemi birimleri ve özellikleri 97
Tablo 4.3. Bir günlük üretilen elektrik enerjisinin kaynakları ve yüzdeleri 113
Tablo 4.4. Bir aylık üretilen elektrik enerjisinin kaynakları ve yüzdeleri 124
Tablo 4.5. Bir yıllık üretilen elektrik enerjisinin kaynakları ve yüzdeleri 134
Tablo 5.1. Mikro şebekede kullanılan malzemeler ve maliyetleri 135
Tablo 5.2. Transformatör güç hesabı tablosu 137
Tablo 5.3. Mikro şebeke ve elektrik şebeke tesisli sistem karşılaştırılması 138

SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

A	: Kanat süpürme alanı, (m^2)
BŞD	: Batarya şarj durumu, (%)
C	: Kondansatör, (F)
C_b	: Batarya kapasitansı, (µF)
C_l	: Aşırı gerilim kapasitansı, (µF)
C_n	: Batarya kapasitesi, (Ah)
C_{ov}	: Batarya kutuplaşma kapasitesi, (F)
C_P	: Rüzgâr türbini verim katsayısı
D_r	: Rotor çapı, (m)
E_b	: Batarya açık devre gerilimi, (V)
f	: Şebeke frekansı, (50 Hz)
H	: Net düşü yüksekliği, (m)
I_{bat}	: Batarya akımı, (A)
I_D	: Diyot akımı, (A)
I_{FV}	: Güneş tarafından üretilen elektrik akımı, (A)
I_p	: Paralel direnç akımı, (A)
I_y	: Yük akımı, (A)
I_0	: Diyot doyum akımı, (A)
K	: Bolztman sabiti, (1,3806503 e^{-23} J/K)
k_f	: Kapasite faktörü
n	: Türbinin dönme sayısı, (d/dk)
n_s	: Özgül dönme sayısı, (d/dk)
nt	: Tanktaki H_2 mol sayısı
p	: Çift kutup sayısı
P_{bat}	: Batarya gücü, (kW)
P_{elek}	: Elektrolizör gücü, (kW)
$P_{FV(t)}$	: Zamanla değişen FV güneş enerjisi gücü, (kW)
P_{net}	: Net elde edilen güç, (kW)
P_{rz}	: Rüzgâr türbini tarafından üretilen teorik güç, (watt)
$P_{Rüz(t)}$	: Zamanla değişen rüzgâr türbini gücü, (kW)
P_s	: Sistemin kapasite gücü, (kW)
Pt	: Tanktaki hidrojen basıncı, (atm)
$P_{yük(t)}$	: Zamanla değişen yük gücü, (kW)
$P_{YEK(t)}$	: Yenilenebilir enerji kaynakları gücü, (kW)
P_{yh}	: Yakıt hücresi gücü, (kW)
$P_{µHES(t)}$	: Zamanla değişen mikro hidroelektrik gücü, (kW)
R	: Rotor kanat yarıçapı, (m)
$R_{dşrj}$	: Deşarj direnci, (Ω)
R_g	: Gaz sabiti, (0.08206 atm·litre/mol·K)
R_i	: Kendi kendine deşarj veya izolasyon direnci, (Ω)
R_p	: Paralel direnç, (Ω)
R_s	: Seri direnç, (Ω)
$R_{şrj}$	: Şarj direnci, (Ω)

R_{1c} : Şarj için aşırı gerilim direnci, (Ω)
R_{1d} : Deşarj için aşırı gerilim direnci, (Ω)
R_{2c} : Şarj için iç direnç, (Ω)
R_{2d} : Deşarj için iç direnç, (Ω)
O_2 : Oksijen
t : İşletim zamanı, (h)
t_b : Batarya dinamikleri ile ilgili örnekleme zamanı, (dk)
T_h : Hücre sıcaklığı, (K)
TH_2 : H_2 sıcaklığı, (K)
V_{FV} : FV pil çıkış gerilimi, (V)
V_r : Rotor kanatlarına giren üst akıntı rüzgâr hızı, (m/s)
V_{rz} : Rüzgâr hızı (m/s)
V0 : Rotor kanatlarına giren alt akıntı rüzgâr hızı, (m/s)
Vt : Tank hacmi, (lt)
V_{bat} : Batarya gerilimi, (V)
q : Elektron yükü, ($1,6x10^{-19}$ C)
Q : Debi, (m^3/s)
Wt : Üretilen toplam enerji, (kWh)
Y_{ko} : Yük kapasite oranı
% BŞD : Bataryanın anlık şarj durumu, (%)
% $BŞD_0$: Bataryanın ilk şarj durumu, (%)
ρ : Hava yoğunluğu, (1,225 kg/m^3)
ω : Rotor açısal hızı, (rad/s)
β : Kanat aralık açısı, (°)
η_{rz} : Rüzgâr türbin verimliliği
λ : Rotor hız oranı

Kısaltmalar

AC : Alternating Current (Alternatif Akım)
AE : Alkaline Electrolysers (Alkali Elektrolizör)
AG : Alçak Gerilim
AFC : Alkaline Fuel Cell (Alkali Yakıt Hücresi)
ANFÇK : Adaptif Neuro-Fuzzy Çıkarım Kontrolör
BJT : Bipolar Junction Transistor (İki Kutuplu Eklem Transistör)
Btu : British termal unit (İngiliz ısı birimi)
CO : Karbonmonoksit
CO_2 : Karbondioksit
BIG : Birleşik Isı ve Güç
DC : Direct Current (Doğru Akım)
DEÜS : Dağıtılmış Enerji Üretim Sistemleri
DÜ : Dağıtılmış Üretim
EIA : Energy Information and Administration (Enerji Bilgi İdaresi)
EİE : Elektrik İşleri Etüd İdaresi
EPIA : European Photovoltaic Industry Association (Avrupa Fotovoltaik Endüstrisi Birliği)
EÜAŞ : Elektrik Üretim Anonim Şirketi
EYS : Enerji Yönetim Sistemi
FV : Fotovoltaik

Gt	: Gigaton
GTO	: Gate Turn-off Thyristor (Kapıdan Söndürmeli Tristör)
HES	: Hidroelektrik Santral
H_2O	: Su
IGBT	: Insulated Gate Bipolar Transistor (Yalıtılmış kapılı iki kutuplu transistör)
KOH	: Potasyum Hidroksit
KDV	: Katma Değer Vergisi
LCL	: Bobin-Kondansatör-Bobin
LNG	: Liquified Natural Gas (Sıvılaştırılmış Doğal Gaz)
LPG	: Liquified Petroleum Gas (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı)
MCFC	: Molten Carbonate Fuel Cell (Erimiş Karbonat Yakıt Hücresi)
MPPT	: Maximum Power Point Tracking (Maksimum Güç Noktası İzleyicisi)
MŞ	: Mikro Şebeke
MTEP	: Milyon Ton Eşdeğer Petrol
Ni	: Nikel
NiO	: Nikel Oksit
NaOH	: Sodyum Hidroksit
OG	: Orta Gerilim
PAFC	: Phosphoric Acid Fuel Cell (Fosforik Asit Yakıt Hücresi)
Pb	: Kurşun
PbO_2	: Kurşun Oksit
$PbSO_4$	: Kurşun Sülfat
PEM	: Proton Exchange Membrane (Proton Değişimli Membran)
PEMFC	: Proton Exchange Membrane Fuel Cell (Proton Değişimli Membran Yakıt Hücresi)
PWM	: Pulse Width Modulation (Darbe Genişlik Modülasyonu)
SCADA	: Supervisory Control and Data Acquisition (Veri Tabanlı Kontrol ve Gözetleme Sistemi)
SMES	: Superconducting Magnetic Energy Storage (Süperiletken Manyetik Enerji Depolama)
SOE	: Solid Oxide Electrolysers (Katı Oksit Elektrolizör)
SOFC	: Solid Oxide Fuel Cell (Katı Oksit Yakıt Hücresi)
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLI MİKRO ŞEBEKELERDE ENERJİ YÖNETİMİ

ÖZET

Günümüzde enerji tüketimi giderek artmakta, çevre koruma bilinci gelişmekte ve enerji arz piyasasındaki serbestleşme istikrarlı ilerlemektedir. Bunların yanında dünya üzerindeki geleneksel enerji kaynakları dağılımı homojen değildir. Bu sebepler, yenilenebilir enerji kaynaklarından yeni teknolojiler geliştirerek daha fazla yararlanmayı gerekli kılan politikalar üretmeye ve yakıt hücre tabanlı alternatif dağıtılmış üretim sistemlerine olan ilgiyi arttırmaktadır. Rüzgâr, fotovoltaik (FV), mikro hidroelektrik, hidrojen ve yakıt hücresi gibi enerji üretim sistemleri; umut verici en önemli yenilenebilir enerji teknolojileridir. Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklı rüzgâr, FV, mikro hidroelektrik ve yakıt hücresinden mikro şebekeyi oluşturan hibrit güç üretim sistemi bileşenleri hakkında ayrıntılı bilgiler verilmiştir. Ayrıca enerji dağıtım şebekelerinden veya yerleşim yerlerinden uzak tatil köyü gibi küçük yerleşim birimlerinin elektrik enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla hibrit mikro şebekenin enerji yönetimi, Microsoft C Sharp (C#) programlama dilinde geliştirilen bilgisayar programıyla sağlanmıştır. Bu programda kullanılan veriler, bölgedeki geçmiş elektrik talep değerleri, şebekeden bağımsız kurulan hibrit güç üretim sistemlerinin uygulamaları, bu konuda yayınlanmış makaleler ve yapılmış tez çalışmaları incelenerek elde edilmiştir. Mikro şebekedeki üretim birimlerinden üretilen güç ile yükün talep gücü durumları incelenerek, güç talebinin fazla ve hibrit sistemden üretilen gücün az olması durumunda, yükün güç ihtiyacı, depolama birimi olarak kullanılan bataryadan veya yakıt hücresinden karşılanmıştır. Üretilen gücün fazla ve yük talebinin az olduğu durumlarda ise fazla güç, daha sonra kullanılmak üzere elektrolizörde hidrojen üretimi için kullanılmıştır. Geliştirilen enerji yönetim programıyla hibrit sistemle entegre bir enerji yönetim stratejisi belirlenmiş ve yük talebinin karşılanmasında, mikro şebekede bulunan birimlerin günlük, aylık ve yıllık değerleri kaydedilerek grafiklerle analiz edilmiştir. Ayrıca sistemin ekonomik analizi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dağıtılmış Üretim, Enerji Yönetim Sistemi, Hibrit Enerji Sistemi, Mikro Şebeke, Yenilenebilir Enerji Kaynakları.

ENERGY MANAGEMENT IN MICRO GRIDS BASED ON RENEWABLE ENERGY RESOURCES

ABSTRACT

Nowadays, energy consumption is increasing day by day, consciousness for the environment protection is developing and liberalization in the energy supply market is increasing stably. However, the spread of traditional energy resources in the world is not homogenous. Such reasons increase attention to produce policies that require benefitting from renewable energy resources more efficiently through developing new technologies and to the flow cell based alternative distributed generation systems. Energy generation systems such as wind, photovoltaic (PV), micro hydroelectric, hydrogen and fuel cell are the most promising renewable energy technologies. In this study; detailed information about the components of hybrid energy generation system setting up micro grid from wind based on renewable energy, PV, micro hydroelectric and fuel cell. Besides, in order to provide energy need of small settlements like holiday camps that are far away from settlements and energy distribution networks, energy management of a hybrid micro grid has been provided by the computer software developed by Microsoft C Sharp (C#) programming language. The data used in this program has been obtained by studying the former electricity demand values in the region, applications of hybrid power generation systems founded independently of network, published essays and academic dissertations on this subject. Through examining load demand power and the power produced from production units in networks, in the event that power demand is high and power produced from hybrid system is less, the power need of load has been met either from the battery used as storage unit or from fuel cell. In the event that the produced power is much and the load demand is less, the excess power has been used for hydrogen production in electrolyser in order to be used later. With the developed energy management system, an energy management strategy integrated to a hybrid system has been defined and in the case of the supply of load demand, the daily, monthly and annual values of units in micro grids have been reported and analysed through graphics. In addition, the economic analysis of the system has been carried out.

Keywords: Distributed Generation, Energy Management System, Hybrid Energy System, Micro Grid, Renewable Energy Resources.

GİRİŞ

Elektrik enerjisi; iletimi, kullanımı ve kontrolü kolay, birçok enerji türüne kolay dönüşebilen ve günlük yaşamda vazgeçilmez temiz bir enerji türüdür. Bu enerji; insan yaşamında hayat kalitesini iyileştiren, sanayi üretimi için temel gereksinimlerden biri olan, ekonomik ve sosyal ilerlemeyi sağlayan en önemli unsurdur. Artan enerji fiyatları, küresel ısınma ve iklim değişikliği, gerek dünyada gerekse ülkemizdeki nüfus artışı ve yaşam standartlarının yükselişi, sanayi ve teknolojideki gelişmelere paralel olarak enerji talebinin artışı, hızla tükenmekte olan fosil yakıtlara bağımlılığın yakın gelecekte devam edeceği ve ayrıca yeni enerji teknolojileri alanındaki gelişmeler, ülkeleri yeni arayışlara götürmektedir.

Diğer yandan günümüzde enerji, uluslararası siyaset ve ilişkilerde stratejik bir öneme sahiptir. Dolayısıyla ülke yöneticileri, enerji arz güvenilirliğini garanti edecek politikalar geliştirirken yerli kaynakların öncelikle kullanılması, var olan enerji kaynaklarının çevreye zarar vermeden yaygınlaştırılması ve mevcut sistemle tümleşik olması, puant talebin karşılanması, elektriğin uygun gerilim ve frekansta olması, en basit arızalarda çökmeyecek güçlü bir sistem oluşturulmasını hedeflemektedir. Bu hedefleri karşılamak için elektrik şebekelerinin daha akıllı hale getirilmesi gerekmektedir. En yüksek talebi karşılayabilmek için de üretimde daima uygun bir yedek kapasite hazır bulundurulmalıdır. Bu nedenle, enerji dahil diğer bütün alanlardaki dışa bağımlılığı azaltmaya yönelik adımlar oldukça önem taşımaktadır. Bu da enerjinin, ihtiyaç sahiplerine ucuz, sürekli, sürdürülebilir ve güvenli bir şekilde ulaştırılabilmesi, ancak dünyada var olan ve değerlendirilmeyi bekleyen yenilenebilir enerji kaynaklarının toplum ve insan ihtiyaçlarıyla doğanın dengesini gözeten bir yaklaşımla devreye alınmasıyla mümkündür.

Elektrik enerjisine olan talebin gün geçtikçe artmasından dolayı, diğer dünya ülkelerine bağımlılıktan kurtulmak, arz güvenliği sağlamak ve elektrik enerjisi üretimi için yenilenebilir enerji kaynaklarının yüksek oranda kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından dağıtılmış üretimin

yaygınlaşmasıyla, fosil yakıt kullanımının azalmasının yanında, iletim ve dağıtım kaynaklarında da azalma olması beklenmektedir.

Ülkemiz, yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitliliği ve potansiyeli bakımından oldukça şanslı bir coğrafyada bulunmaktadır. Bu enerji kaynaklarının maliyetleri oldukça az, yenilenebilir olduklarından tükenmez ve konvansiyonel yakıtların aksine çevre ve insan sağlığı için önemli bir tehdit oluşturmaz. Özellikle yer altı ve yer üstü kaynaklarımızın kısıtlılığı ve ülkemizin yağış rejimindeki düzensizlikler, su kaynaklarımızın elektrik üretiminde çok dikkatli bir şekilde kullanılmasını gerektirmektedir. Bunun yanında özellikle güneş ve rüzgâr enerjisinden yararlanarak elektrik enerjisi üretimini, tüm ülke genelinde gerçekleştirmek, gerekli yönetim ve politikalarla mümkündür.

Enerji tüketiminin artması, enerji üretim teknolojilerindeki hızlı ilerleme ve çevre koruma için artan halk bilinci, araştırma alanlarını alternatif enerji ve dağıtılmış üretime yönlendirmektedir. Güneş ışınımı ve rüzgârın doğal kesikli özelliklerinden dolayı şebekeden bağımsız rüzgâr/FV gibi yenilenebilir enerji sistemleri, her an değişen yük talebini karşılamada tamamen güvenli olmadığından, hibrit bir sistem oluşturmak için enerji depolama donanımı veya diğer üretim kaynakları gereklidir. Çünkü yenilenebilir enerji kaynaklarının bazıları birbirini tamamlar. Uygun kontrol ile çok kaynaklı ve alternatifli enerji sistemleri, tek kaynak tabanlı bir sistemden daha yüksek kalitede daha güvenli üretim sağlamak için büyük bir potansiyele sahiptir. Ancak optimal sistem konfigürasyonu, uygun güç elektroniği ara yüzleri ve farklı enerji kaynakları arasında enerji yönetimi konuları henüz tam olarak çözülmüş değildir. Bu nedenle yeni ve farklı enerji sistemleri ve bunlara uygun kontrol stratejileri üzerinde daha fazla araştırma çalışmalarına ihtiyaç vardır.

Dağıtılmış üretim cihazları, mevcut enerji sistemleri üzerinde hem olumlu hem de olumsuz etkiler oluşturabilmektedir. Bu konular, dağıtılmış üretim çalışmasında önemli bir araştırma alanı olmuştur. Dağıtılmış üretimlerin boyutu dahil en uygun yerleşim yeri üzerinde yapılan araştırma, dağıtılmış üretimlerden en büyük potansiyel faydalar sağlamaya yardımcı olabilir [1]. Bunun yanında yenilenebilir enerji kaynakları, taşınan yakıt maliyetinin olmaması, küresel ısınma ile iklim değişikliği yapmaması ve fosil yakıtlar hakkındaki artan kaygıları ortadan

kaldırmasından dolayı yerleşim yerlerinden uzak bölgelerde yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji üretmenin faydaları vardır. Ancak şebekeden bağımsız sistemlerin enerji üretiminde, yenilenebilir enerji kaynaklarının günlük, mevsimsel olması ve yük talebini karşılamak için çıkış gücü ayarlanmasında zorluklar vardır. Bu zorlukların ortadan kaldırılması için bu çalışmada geliştirilen kontrol stratejisiyle yük talebinin üretim kaynaklarından en uygun şekilde karşılanmasının sağlanması, tez konusunun önemini ortaya koymaktadır.

Tez çalışması yedi bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde tez konusu ile bu konunun önemi ve tez çalışmasının amacı açıklanmıştır. İkinci bölümde, tez konusu ile ilgili temel bilgiler ve şimdiye kadar yapılan çalışmalar açıklanmış, hazırlanan tezin literatürde doldurulması beklenen boşluk belirtilmiştir. Üçüncü bölümde; mikro şebekeler, mikro şebeke yapıları ve tasarımı hakkında bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde, hibrit güç üretim sistemi bileşenleri olan rüzgâr enerji dönüşüm sistemi, güneş enerji dönüşüm sistemi, mikro hidroelektrik enerji dönüşüm sistemi, yakıt hücresi, elektrolizör ve batarya hakkında bilgiler verilmiştir. Beşinci bölümde, yenilenebilir enerji kaynaklı mikro şebekelerde enerji yönetimi için, Microsoft C Sharp (C#) programlama dilinde geliştirilen bilgisayar programının tanıtımı yapılmış ve tüm sistemde bulunan birimler için günlük, aylık ve yıllık veriler kullanılarak program sonuçları değerlendirilmiştir. Altıncı bölümde önerilen mikro şebeke sisteminin ekonomik analizi yapılmıştır. Yedinci bölümde ise yapılan tez çalışmasından elde edilen sonuçlar, bu sonuçların yararları ve uygulama alanları belirtilmiştir. Ayrıca bu çalışmanın geliştirilmesi için daha sonra yapılacak araştırmalar için önerilerde bulunulmuştur.

Çok çeşitli alternatif/ yenilenebilir enerji kaynakları (biyokütle, jeotermal, güneş ısı enerjisi, dalga, çöp gazı gibi) olmasına rağmen bu tez; rüzgâr türbini, FV panel ve mikro hidroelektrik üretim birimlerinden oluşmuş hibrit yenilenebilir enerji sistemleri ile sınırlandırılmıştır. Gelecekte diğer yenilenebilir kaynakların da kullanımıyla oluşturulacak enerji yönetimi topoloji ve yazılım çalışmaları planlanmaktadır.

Tez çalışmasının amacı, rüzgâr, FV ve hidroelektrik gibi yenilenebilir enerji kaynaklı mikro şebekede üretim kaynaklarının hibrit bağlanarak üretmiş oldukları elektrik

enerjisini yüke aktarmak veya yükün ihtiyacından fazla olan kısmı, depolama birimi olan bataryada ihtiyaç olduğunda kullanılması için depolanmasının sağlanmasıdır. Sistemde bataryaların dolu olduğu durumlarda, üretilen enerji ya doğrudan yüke aktarılması ya da daha sonra yakıt hücresinde kullanılmak üzere hidrojen üretimi için elektrolizöre yönlendirme yapılacaktır. Ayrıca güç üretimindeki kaynakların yeterli düzeyde enerji üretimi yapmadığı ve bataryaların boş olduğu durumlarda yükün ihtiyacı olan enerjinin bir kısmı yakıt hücresinden karşılanması için enerji yönetimi yapılmaktadır. Böylece enerji üretim birimleri ile yük arasında sürekli bir enerji akışı olması hedeflenmektedir. Bunun için rüzgâr türbini, FV paneller, mikro hidroelektrik santral, yakıt hücresi ve depolama biriminden elde edilen elektrik enerjisi, gerekli dönüştürücülerle alternatif akıma (AC) dönüştürülüp yük besleme yönetimi yapılmaktadır.

1. GENEL BİLGİLER

Yenilenebilir enerji kullanımının giderek yaygınlaşması, vergi destekleri ve indirimler gibi hükümetin farklı teşvik politikaları ile desteklenmesi, bu enerji kaynaklarının ekonomik olarak gittikçe daha cazip hale gelmelerini sağlamaktadır. Ülkemizde bu konuda yapılan ilk yasal düzenleme 18.05.2005 tarih ve 25819 sayılı resmi gazetede yayımlanan "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun**"** ile olmuştur. Bu kanun ile yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımının yaygınlaşmasına katkı sağlanması amaçlanmıştır. Aynı kanuna (Değişik: 29/12/2010-6094/1) göre, yenilenebilir enerji kaynakları; rüzgâr, güneş, jeotermal, biyokütle, biyokütleden elde edilen gaz (çöp gazı dâhil), dalga, akıntı enerjisi ve gel-git ile kanal veya nehir tipi veya rezervuar alanı on beş kilometrekarenin altında olan hidroelektrik üretim tesisi kurulmasına uygun elektrik enerjisi üretim kaynaklarıdır. Çevreye emisyon (gaz veya gaz ve partikül karışımının atmosfere verilmesi) yaymadıkları için "temiz enerji" olarak da adlandırılırlar. Türkiye'de yenilenebilir enerji sektörünün güçlenmesi için, benzer hükümet teşvikleri ile yerli yenilenebilir enerji potansiyelinin kullanımının teşvik edilmesi, gelecekte fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılmasına katkı sağlayacaktır.

Yakın gelecekte Kyoto protokolü, diğer uluslararası antlaşmalar ve 30 Mart 2013 tarih ve 28603 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Elektrik Piyasası Kanunu'nun 14. maddesinin (b) bendi, "Kurulu gücü azami bir megavatlık yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisi", gereğince lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğünden muaf olmaları ve 07 Şubat 2014 tarih ve 28906 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Milli Emlak Genel Tebliği'ne göre hazine taşınmazları üzerinde, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisleri için, kurulu güçlerine göre 20 veya 30 yıla kadar irtifak hakkı tesis edilebilecek veya kullanma izni verilebilecektir. Bu imkanlardan dolayı diğer teknolojiler arasında FV panelleri, rüzgâr türbinleri, mikro hidroelektrik santraller gibi yenilenebilir kaynaklardan enerji üretiminde kullanılan en yaygın yöntemlerin kullanımıyla küçük üreticilerin elektrik

şebekesine dahil olmaları büyük oranda (>%30-40) giriş yapacakları göz önüne alındığında bu kaynakların aşağıda belirtilen özellikleri sorun olarak karşımıza çıkmaktadır.

- Çoğunlukla yenilenebilir enerji kaynakları yük merkezinden coğrafi olarak uzakta konumlanmış olurlar. Bunun nedeni, bu kaynakların konumlarının ana enerji kaynağı olan güneş, rüzgâr ve akarsuyun; kontrol dışında rüzgâr hızı, güneş ışınımı ve sıcaklık gibi faktörlere bağlı olarak saptanmalarıdır.

- Bu üniteleri besleyen ana enerji kaynaklarının güç üretimlerinin kolay tahmin edilemeyen ve seviyeleri sık sık değişen tipte kaynaklar olmaları, üretilen enerjinin kolay depolanmaması ve kaynağın verimliliğindeki oynamalar ek sorunlar olarak kendini gösterir.

Söz konusu problemlerin çözümü için geliştirilen enerji yönetimleri ile bu kaynaklardan daha fazla faydalanmak mümkündür.

1.1. Geleneksel ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Geleneksel (konvansiyonel veya birincil) enerji kaynaklı teknolojiler için problemler/kaygıların devam etmesinden dolayı yenilenebilir/alternatif enerji kaynakları, elektrik enerjisi üretiminde önemli roller üstlenmektedir. Şu anda elektrik üretimi için günümüzün alternatifleri, yarının temel kaynakları olacaktır.

Geleneksel enerji kaynaklarının özelliklerini aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür.

1. Geleneksel enerji kaynakları yenilenebilir değildir: Hem fosil yakıtlar (kömür, petrol ve doğal gaz) hem de nükleer yakıtlar (uranyum, toryum gibi) yenilenebilir değildir. Gelecekte bu yakıtların rezervleri tükenecektir. Uzun vadeli enerji geliştirme stratejisi; sürekli ve sürdürülebilir ekonomik büyüme için önemlidir.

2. Geleneksel üretim teknolojileri çevreye dost değildir: Çevreye zararlı emisyonları düşürmek için kükürt giderme tesisi (desülfürizasyon) gibi teknolojiler kullanılmasına rağmen, termik santraller hala büyük ölçüde sülfür oksit ve nitrojen oksit gibi kirletici gazlar üretmektedir [2]. Nükleer santralın radyoaktif atıkları daima

çevre için büyük bir endişe kaynağıdır. Hidroelektrik santralın set ve barajları orijinal nehirlerin ekolojik sistemleri ve rezervuar bölgeleri değiştirilebilir [3].

3. Fosil ve nükleer yakıt kullanımı maliyetlerinin yükselmesi düşünülmektedir: Dünya enerji talepleri giderek artmakta ve bu yakıtlar yenilenebilir olmadığından fiyatlarının yükseleceği açıktır. Elektrik üretimi için kömür, doğal gaz ve petrol ile karşılaştırıldığında daha ucuzdur. Ancak emisyonları azaltmak için maliyeti dikkate alındığında kömürden elektrik üretiminin gerçek fiyatı daha yüksek olacaktır. Geleneksel teknolojilerin kullanılmasıyla artan maliyet, alternatif enerji üretimini daha rekabetçi hale getirecek ve konvansiyonel elektrik enerjisi üretimi için alternatif yollara geçişi haklı hale getirecektir.

4. Normal şartlarda yük merkezlerinden uzak bulunan hidroelektrik kaynaklar yeterli değildir: Bu kaynakların, temiz ve yenilenebilir olmaları iyi olmasına rağmen genişleyebilir toplam hidroelektrik kaynak yeterli değildir. Çoğu hidroelektrik rezervler, uzak bölgelerde bulunduğundan uzun iletim hatları kurulması zor ve maliyetlidir. Ancak ondan önce iletim hatlarının geçiş hakkı (irtifak hakkı) iznini almak daha zor olmaktadır.

5. Güvenlik üzerindeki siyasi ve toplumsal kaygılar, nükleer enerjiyi sürekli bastırmaktadır: Genel olarak hükümet enerji stratejisi, nükleer enerjinin gelişimine öncülük etmektir. Bu nedenle şirketler veya kuruluşların kendi ekonomik durumlarına bağlı olarak, nükleer enerji santralı kurmaları; 21 Kasım 2007 tarih ve 26707 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan "Nükleer Güç Santrallarının Kurulması ve İşletilmesi ile Enerji Satışına İlişkin Kanun" kapsamında olmaktadır.

Diğer yandan yenilenebilir/alternatif enerji kaynaklarının, geleneksel enerji üretim teknolojileri ile karşılaştırıldığında aşağıda belirtilen avantajları vardır.

1. Yenilenebilir enerji kaynakları sadece yenilenebilir değil, aynı zamanda boldur. Yeryüzüne bir günde güneşten ulaşan toplam güneş enerjisi, tüm fosil yakıtların tüketiminden elde edilebilecek enerjiden yaklaşık 1000 kat daha fazladır [2].

2. Yakıt hücre sistemleri yüksek enerji verimliliğine sahiptirler. Düşük sıcaklık proton değişimli membran (PEM) yakıt hücrelerinin verimi %34-45'dir [4]. Yüksek

sıcaklık katı oksit yakıt hücreleri (SOFC, Solid Oxide Fuel Cell) %65 gibi yüksek verimliliğine sahip olabilmektedir. Kombine çevrim sistem tabanlı bir SOFC'nin tüm verimi %70'e ulaşabilir [5].

3. Yenilenebilir enerji kaynakları ve yakıt hücreleri çevre dostudurlar. Bu sistemlerden asit yağmurlarına, kentsel sis ve diğer sağlık problemlerine neden olan kirletici gazlar, sıfır veya düşük emisyon olmasından dolayı çevre temizliği veya atıkların bertaraf maliyeti yoktur.

4. Farklı yenilenebilir enerji kaynakları birbirini tamamlayabilir. Yenilenebilir enerji kaynakları dünyanın her tarafına eşit bir şekilde dağıtılmamıştır. Her bölge, yenilenebilir enerji kaynaklarının bazı çeşitlerine sahiptir. En azından güneş ışığı dünyanın her köşesine ulaşır. Güneş ve rüzgâr gibi farklı enerji kaynakları birbirini tamamlayabilir.

5. Bu yenilenebilir/alternatif enerji üretim sistemleri normalde modüler yapıda ve dağıtılmış üretim kaynakları (büyük rüzgâr ve fotovoltaik çiftlikler hariç) gibi yük merkezlerine yakın monte edilebilir. Bu yüzden elektrik kaynakları için, yüksek gerilim iletim hatlarına gerek yoktur.

Geleceğin şebekesi olan akıllı şebekeler, bu türden yenilenebilir enerji kaynakların verimli ve efektif olarak işletme sistemlerine entegrasyonuna da yardımcı olmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakların en verimli ve efektif şekilde kullanımı yük kapasite oranlarının yükseltilmesini gerektirir. Bu oran, Denklem (1.1) deki şekilde tanımlanır.

$$Y_{ko} = Wt/(P_s x t) \quad (1.1)$$

Y_{ko} : Yük kapasite oranı
Wt : Üretilen toplam enerji (kWh)
P_s : Sistemin kapasite gücü (kW)
t : İşletim zamanı (h)

Yük kapasite oranının yükseltilmesinin, iletim ve dağıtımın daha akıllıca yapılması ile doğrudan bağlantılıdır. Mikro şebekeler, akıllı şebekeler için gerekli bir teknolojidir. Bu şebekeler; hem ana şebekeye bağlı hem de şebekeden bağımsız

olarak çalışabilen küçük şebekeler olup, kontrol sistemlerinin ileri teknolojisi nedeniyle sistem işletiminde kolaylıklar sağlarlar. Yenilenebilir enerji kaynaklarıyla üretilen enerjinin şebekeye bağlantı sorunları vardır. Bu kaynakların belirsizlik taşıyan üretim seviyeleri ve bu seviyelerin hızlı değişim göstermesi, kısa dönemli enerji depolama teknolojilerine gerek duyulur [6].

Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı enerji sistemleri; kırsal ve uzak bölgelerin elektriğe kavuşması, haberleşme istasyonlarının gücünün karşılanması ve tarımsal sulama su pompalama sistemlerinin enerji ihtiyaçları için şebekeden bağımsız enerji kaynağı sunmaktadır.

Avrupa Birliği (AB), 2008 yılı sonunda, "Enerji Güvenliği ve Dayanışma Eylem Planı" ve "İkinci Stratejik Enerji Gözden Geçirme"'sinde, ileriye dönük politik gündemini 2020 yılına kadar, enerji verimliliğini % 20 artırmak, enerji tüketiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payını % 20 artırmak ve sera gazı emisyonlarını % 20 azaltmak olarak belirlemiştir [7].

Uluslararası Enerji Ajansı'nın 2012 Dünya Enerji Görünümü'ne göre elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı, 2012 yılındaki %20 seviyesinden 2035 yılında %31'e çıkacaktır. Enerji kaynaklı karbondioksit (CO_2) yayılımları 2011 yılında tahmini 31,2 Gt (Gigaton)'dan 2035 yılında 37,0 Gt'a çıkarak dünya sıcaklığının uzun vadede ortalama 3,6 °C artacağına işaret etmektedir.

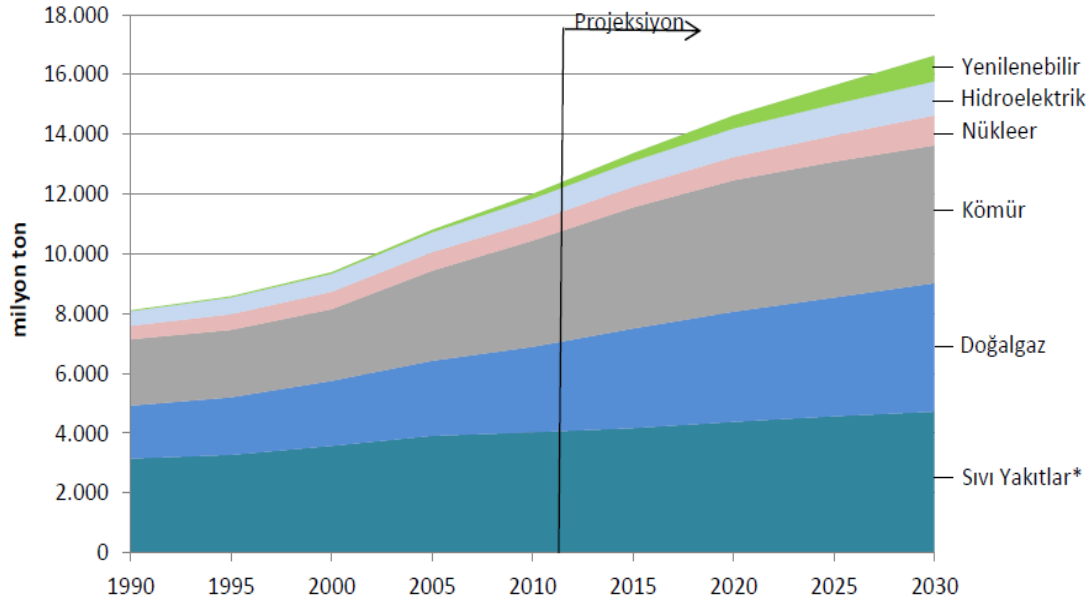
Küresel ısınma, insanların gelecek 50 yıl içinde yüzleşeceği en önemli çevre sorunlarından biri olarak düşünülmektedir [8]. Küresel ısınma ve iklim değişikliği konusunda artan endişeler ve özellikle CO_2 yayılımlarını azaltma açısından çevreyi korumak için yenilenebilir enerji kaynaklı hibrit güç üretim sistemleri kullanılmaktadır.

Tüketicilerin elektrik enerjisi taleplerini karşılamak amacıyla fosil yakıtlı enerji kaynakları (doğalgaz, petrol, kömür, v.b.) ve yenilenebilir enerji kaynaklarının (rüzgâr, güneş, akarsu enerjisi, biomas, jeotermal, hidrojen, v.b.) birleşiminden hibrit güç üretim sistemi ortaya çıkmaktadır. Bu şekilde sistem güvenirliliğini arttıracağı ve enerjinin sürekliliğini sağlayacağı son yapılan çalışmalardan görülmektedir. Bu

enerji üretim ünitelerinden rüzgâr-güneş, rüzgâr-dizel, rüzgâr-gaz, rüzgâr-mikro hidroelektrik generatörleri yaygın olarak kullanılmaktadır [9].

1.2. Dünya Enerji Tüketimi

Dünya enerji talebinin karşılanmasında sıvı yakıtlar, kömür, doğal gaz, yenilenebilir enerji ve nükleer enerji tüketimleri 1990 yılından günümüze ve 2030 yılına kadar olan projeksiyonlarının oransal büyüklükleri Şekil 1.1'de görülmektedir.



*Sıvı yakıtlar; hampetrol, kondensat, etanol, biyodizel vb.'lerinden oluşmaktadır.

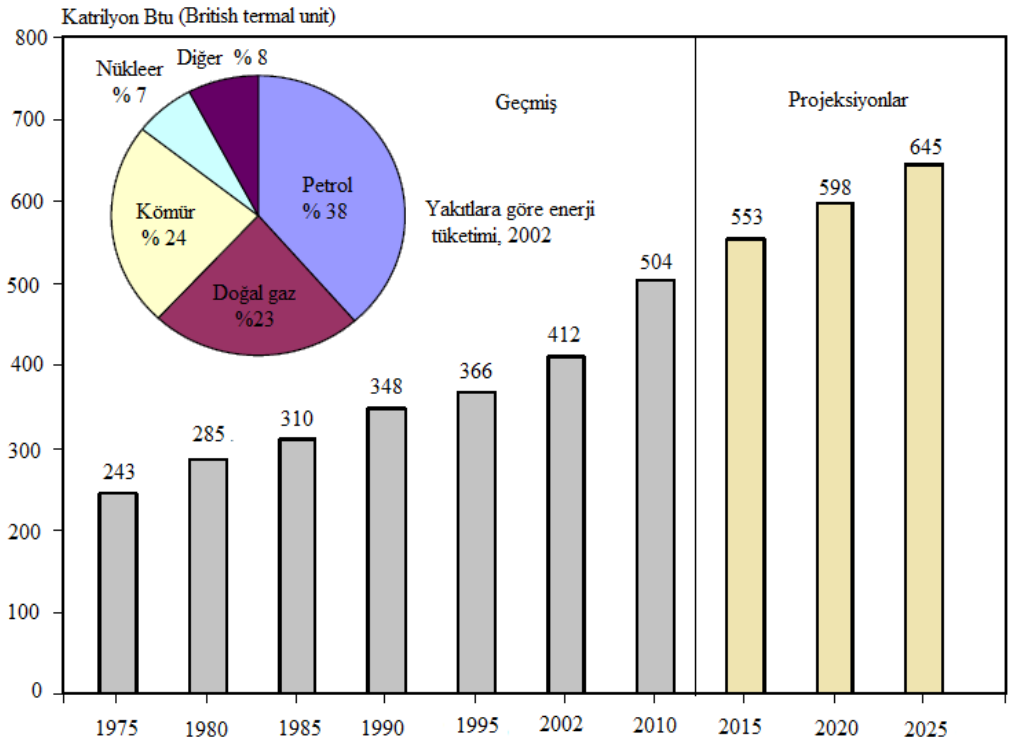
Şekil 1.1. 1990-2030 dönemi dünya enerji tüketimi [10]

Şekil 1.1'de görüldüğü gibi 1990 yılında 8000 milyon ton olan yakıt tüketimi, 2003 yılında 10000 milyon ton ve 2010 yılında 12000 milyon tona ulaşmıştır. Yıllar geçtikçe elektrik enerjisine olan talebin artmasıyla birlikte kullanılan yakıt miktarlarında da aynı oranda artış olmaktadır. Elektrik üretiminde kullanılan hampetrol, kondensat, etanol, biyodizel vb. sıvı yakıtların yıllara göre tüketimi, diğer kaynaklara göre daha az olmaktadır. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarında büyük oranda artış olacağı beklenmektedir.

Birincil enerji kaynakları arasında stratejik konuma sahip olan ham petrol, 2012 yılı başı itibarıyla dünya enerji talebinin %33,1'ini doğal gaz ise % 23,7'sini karşılamıştır. Dünya enerji talebinde son 10 yılda yaşanan ortalama %2,5'lik yıllık artışın 2030 yılına kadar yıllık %1,6'ya düşmesi, en hızlı artış oranının %7,6'yla

yenilebilir enerjide olması beklenmektedir. Fosil yakıtlardan doğal gazda %2 ile en yüksek artış beklenmekte olup, bunu kömür (%1,2) ve hampetrol (%0,8) takip etmektedir [10].

Dünya enerji tüketiminin 1975 yılından günümüze ve 2025 yılına kadar olan projeksiyonları ile 2002 yılındaki tüketimin kaynaklara göre dağılımı Şekil 1.2'de görülmektedir.



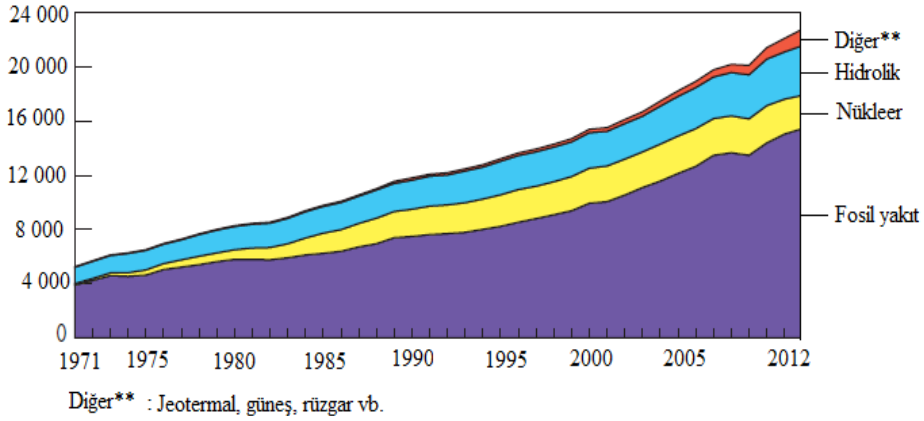
Şekil 1.2. Dünya enerji tüketimi (1975-2025) [11]

Şekil 1.2'de görüldüğü gibi 2002 yılındaki 412 katrilyon Btu (British termal unit, İngiliz ısı birimi) olan dünya enerji tüketiminin %24'ü kömürden, %23'ü doğal gazdan, %38'i petrolden, %7'si nükleer kaynaklardan ve geriye kalan %8'lik kısmı ise jeotermal, biyoyakıtlar, rüzgâr, güneş, atık ve ısı gibi diğer kaynaklardan karşılanmıştır.

Dünya enerji tüketimi, 2010 yılından 2025 yılına kadar yüzde 28 artması beklenmektedir. 2010 yılında 504 katrilyon Btu olan dünya toplam enerji kullanımı, 2020'de 598 katrilyon Btu ve 2025'te 645 katrilyon Btu olarak hesaplanmaktadır.

1.3. Dünya Enerji Üretimi

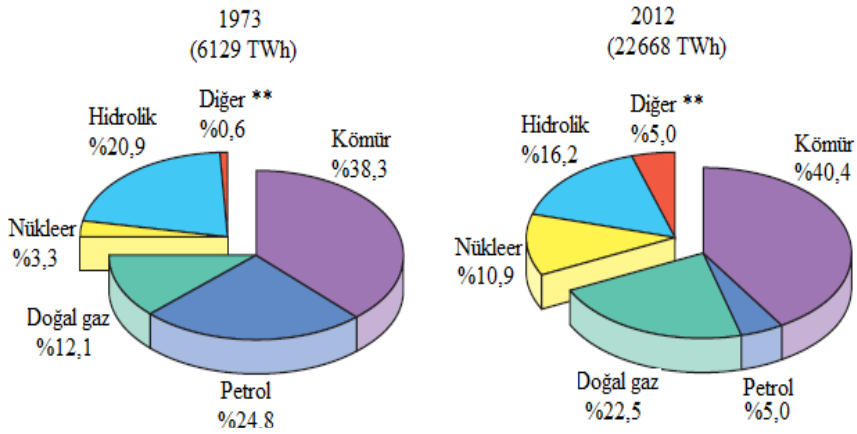
Şekil 1.3'te 1971-2012 yılları arasında dünya elektrik üretiminin; fosil, nükleer, hidrolik ve diğer (jeotermal, güneş, rüzgâr, vb.) yakıtlara göre dağılımı görülmektedir.



Şekil 1.3. Yakıtlarına göre dünya elektrik üretimi (TWh) [12]

Şekil 1.3'te görüldüğü gibi fosil yakıtların enerji üretimindeki payı sürekli artmaktadır. Jeotermal, güneş, rüzgâr, vb. enerji kaynakların ise 1995 yılından sonra enerji üretiminde kullanıldıkları görülmektedir. Hidrolik kaynakların elektrik üretiminde kullanımı 1971-2012 yılları arasında büyük oranda farklılık olmadan artmıştır. Nükleer kaynaklarda ise özellikle 1990 yılına kadar kurulum ve üretim oranı artmış, ancak bu yıldan sonra artış oranı çok fazla değişmemiştir.

Şekil 1.4'te dünya elektrik enerjisi üretiminin 1973 ve 2012 yıllarında yakıtlara göre paylaşımı görülmektedir.



** Diğerleri ; jeotermal, güneş, rüzgâr, vb.

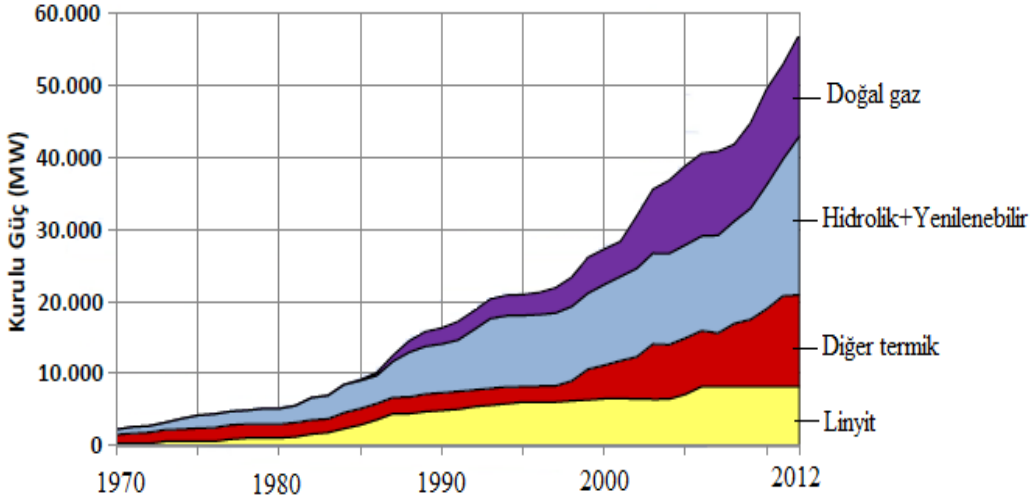
Şekil 1.4. Dünya elektrik enerjisi üretiminin yakıt paylaşımı [12]

Şekil 1.4'te görüldüğü gibi, 1973 yılında dünyada üretilen toplam 6129 TWh'lık enerjinin en büyük payı %38,3 ile kömürden, en az payı ise %0,6 ile diğer kaynaklar olarak gösterilen jeotermal, güneş, rüzgâr, vb.'den üretilmiştir. Doğal gazın üretimdeki payı %12,1, petrolün payı %24,8, hidrolik pay %20,9 ve Nükleer enerjinin payı %3,3 olmuştur. 2012 yılında ise dünyada üretilen toplam 22668 TWh'lık enerjinin en büyük payı %40,4 ile kömürden, en az payı ise %5 ile petrol ve diğer kaynaklar olarak gösterilen jeotermal, güneş, rüzgâr, vb.'den üretilmiştir. Doğal gazın üretimdeki payı % 22,5, petrolün payı %5, hidrolik pay %16,2 ve nükleer enerjinin payı %10,9 olmuştur.

Buradan enerji üretimde jeotermal, güneş, rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının payının arttığı, bununla birlikte petrol kaynaklarının payının azaldığı görülmektedir. Dünyada nüfus artışı, kentleşme ve sanayileşme olguları, küreselleşme sonucu artan ticaret olanakları, doğal kaynaklara ve enerjiye olan talebi giderek artırmaktadır. Dünyadaki elektrik enerjisindeki gelişmelerin benzeri ülkemizde de yaşanmaktadır.

1.4. Türkiye'nin Enerji Üretim ve Tüketimi

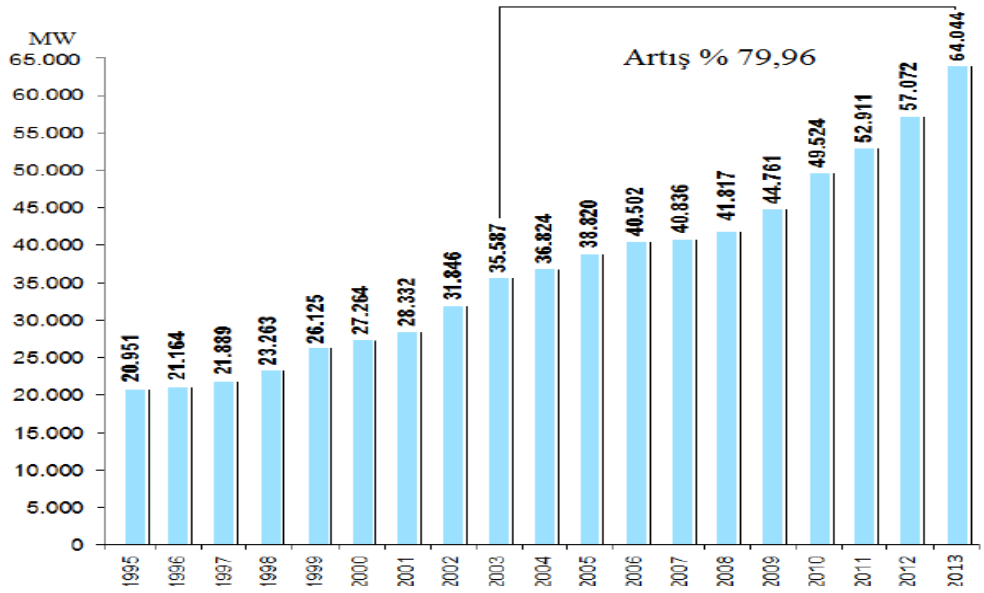
Şekil 1.5'te Türkiye elektrik enerjisinin 1970-2012 yılları arasındaki kurulu gücünün yakıtlara göre değişimi görülmektedir.



Şekil 1.5. Türkiye kurulu gücünün yakıtlara göre değişimi (1970-2012) [13]

Şekil 1.5'te görüldüğü gibi, kurulu güç değerlerindeki yakıtların payı yıllar geçtikçe artmaktadır. Bu artışın, hidrolik ve yenilenebilir kaynaklarda daha fazla olduğu

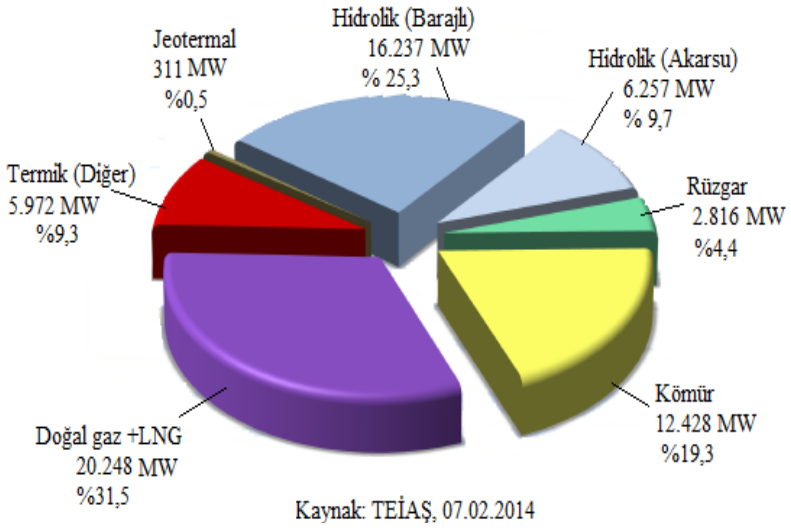
görülmektedir. Şekil 1.6.'da Türkiye'deki kurulu gücün 1995-2013 yılları arasındaki gelişimi görülmektedir.



Şekil 1.6. Türkiye kurulu güç gelişimi (1995-2013) [14]

Şekil 1.6'da görüldüğü gibi kurulu güç, her yıl belli bir oranda artmakta ve son on yıl içinde (2003-2013) % 79,96 oranında artış göstermiştir.

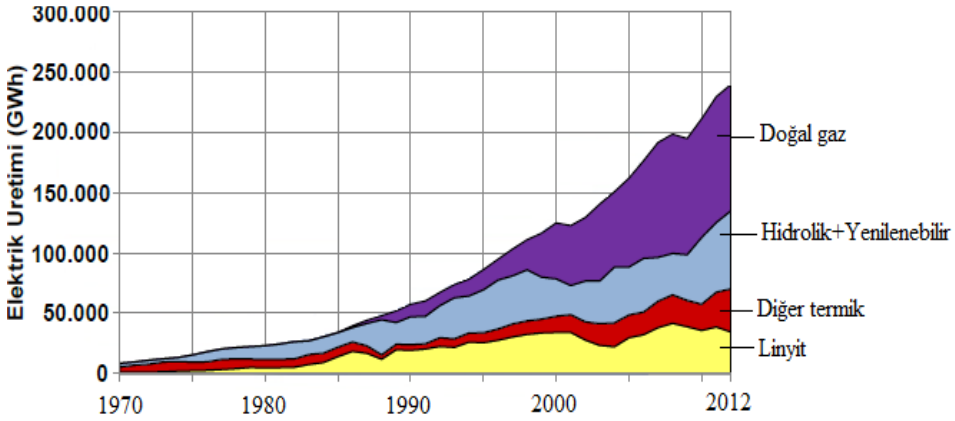
Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) tarafından verilen verilere göre Türkiye'nin 31 Ocak 2014 tarihi itibarı ile elektrik enerjisinin kurulu gücü 64268 MW'tır. Bu kurulu gücün yakıt cinslerine göre dağılımı Şekil 1.7'de verilmiştir.



Şekil 1.7. Kurulu gücün yakıt cinslerine göre dağılımı [13]

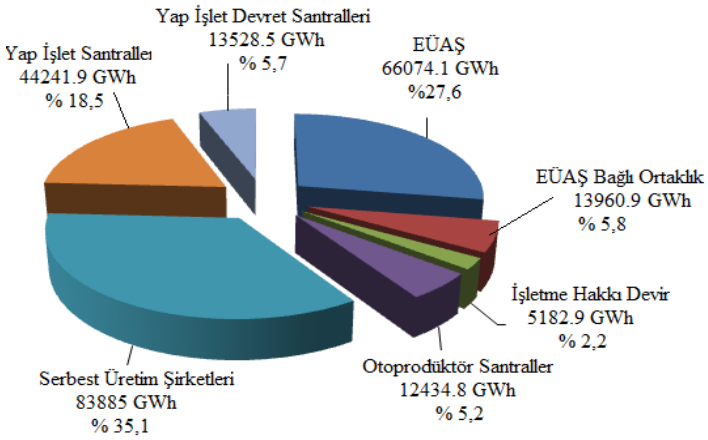
Şekil 1.7'de görüldüğü gibi ülkemizde 2014 yılının ilk ayındaki kurulu gücünde en fazla payı %35 oranla hidrolik (akarsu+barajlı) almaktadır. En düşük payı ise %0,5 oranı ile jeotermal kaynağı almaktadır. Rüzgâr'ın payı %4,4, kömürün payı %19,3, diğer termik % 9,3, doğal gaz+ LNG %31,5 pay almaktadır. Ancak enerji üretiminde, yenilenebilir kaynakların payı gün geçtikçe artması beklenmektedir.

Türkiye elektrik enerjisinin 1970-2012 yılları arasındaki üretiminin yakıtlara göre değişimi Şekil 1.8'de verilmiştir.



Şekil 1.8. Türkiye elektrik enerjisi üretiminin yakıtlara göre değişimi [13]

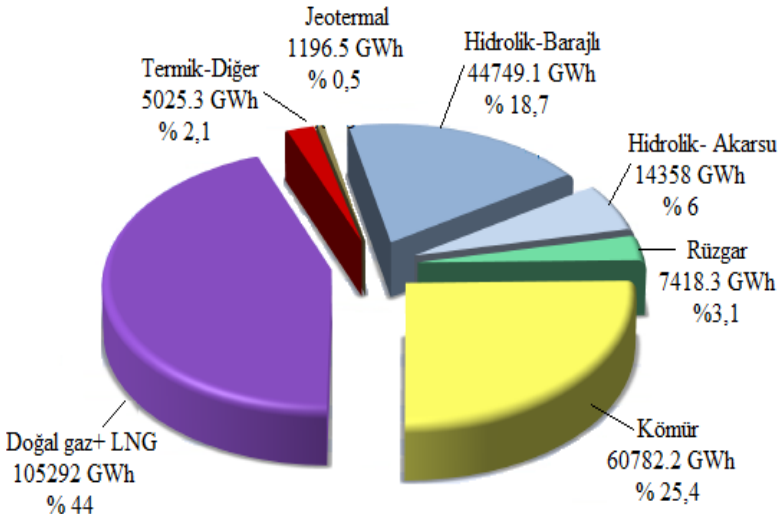
Şekil 1.8'de görüldüğü gibi enerji üretiminde kullanılan yakıtlardan, hidrolik+yenilenebilir ve doğal gaz kaynaklarının üretimdeki oranları linyit ve diğer termik kaynakların üretim oranlarından daha fazladır. Bu da enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarına verilen önemin giderek arttığını göstermektedir. TEİAŞ tarafından verilen verilerine göre, 2013 yılı sonu itibarı ile ülkemizde üretilen enerjinin kuruluşlara göre dağılımı Şekil 1.9'da görülmektedir.



Şekil 1.9. Üretilen enerjinin kuruluşlara göre dağılımı

Şekil 1.9'da görüldüğü gibi 2013 yılı sonu itibarı ile üretilen toplam 239308,1 GWh'lık elektrik enerjisinin; %35,1'ni serbest üretim şirketleri, %18,5'ni yap işlet santralleri, % 5,7'sini yap işlet devret santralleri, %27,6'sını Elektrik Üretim Anonim Şirketi (EÜAŞ), %5,8'ini EÜAŞ bağlı ortaklık, %2,2'sini işletme hakkı devir ve %5,2'si otoprodüktör santralleri tarafından üretilmiştir.

TEİAŞ tarafından 29 Ocak 2014 tarihinde yayınlanan 2013 yılı için kesinleşmemiş verilere göre üretilen enerjinin üretim kaynaklarına göre dağılımı Şekil 1.10'da görülmektedir.



Şekil 1.10. Enerji üretiminin kaynaklara göre dağılımı [13]

Şekil 1.10'da görüldüğü gibi 2013 yılında ülkemizde toplam üretilen elektrik enerjisinin %44'ü doğal gaz+ LNG (Liquefied Natural Gas, sıvılaştırılmış doğal gaz), %25,4'ü kömür, % 24,7'si hidrolik (akarsu+ barajlı), % 3,1'i rüzgâr, % 0,5'i jeotermal ve % 2,1'i termik-diğer gibi kaynaklardan üretilmiştir. Burada yenilenebilir kaynakların enerji üretimindeki payı oldukça az görülmektedir.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2023 yılına kadar; 36000 MW olan hidroelektrik potansiyelin tamamını kullanmayı, rüzgâr enerjisi santrallerinde 20.000 MW, jeotermal santrallerde 600 MW, güneş enerjisi santrallerinde 600 MW kurulu güce ulaşmayı ve elektrik arzındaki yenilenebilir enerji payını % 30'un üzerine çıkarmayı hedeflemektedir. Ayrıca Türkiye elektrik tüketimi 2011 yılı sonu itibariyle 230 milyar kWh seviyesine ulaşmış olup 2023 yılında 450 milyar kWh civarında olacağı öngörülmektedir [10].

Genelde elektrik enerjisi tüketiminin ve çevre koruma bilincinin artması, fosil yakıtların egsoz yoğunlukları ve nükleer enerji üzerindeki politik ve toplumsal endişelerin yoğunlaşması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklı üretim sistemlerine olan ilgi artmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynakları; coğrafi olarak çok geniş alanlarda bulunabilmekte, yerel ve modüler olarak istenilen miktarda enerji talebini karşılayacak şekilde kullanılabilmekte ve daha çok kırsal ve dağınık yerleşim birimlerinin enerji talep yapısıyla uyum göstermektedir.

Geleneksel olarak yerleşim yerlerinin uzağında bulunan kaynaklardan üretilen elektrik enerjisi, kayıpları azaltmak amacıyla üretim yerinde yüksek gerilime sahip olup alternatif gerilim şeklinde iletilmekte ve dağıtım bölgesinde ise alçak gerilime indirilerek dağıtımı yapılmaktadır [15]. Bu şekildeki yüksek kapasiteli şebekelerin bir çok avantajı olmasına rağmen dezavantajları da vardır. Örneğin yüksek kapasiteli şebekeler, esnek yükleri izlemesi ve geniş bir alandaki arızaları gidermek zordur. Bu problemler ciddi elektrik kesintilerine neden olabilir.

Önceleri elektrik enerjisi merkezi olarak üretilip, uzak mesafelere iletim ve dağıtımı yapılmaktaydı. Ancak merkezi güç şebekelerinin yüksek maliyetli ve işletilmesinin zorluğu, kullanıcıların yüksek güvenlik ve güvenirlik ihtiyaçlarını karşılaması giderek zorlaştığından, son yıllarda artan tüketim ve geleneksel enerji üretiminin neden olduğu çevresel sorunlardan dolayı elektrik enerjisi üretiminde merkezi olmak yerine dağıtılmış üretim sistemlerine ve mikro şebekelere ilgi artmıştır.

Günümüzde elektrik güç üretimi ve dağıtımının, gerek fiziksel altyapısının ve denetiminin, gerekse bilişim alt yapısında büyük bir değişim yaşanmasından dolayı; geleceğin elektrik dağıtım sistemlerinin, elektrik enerji endüstrisinden daha hızlı bir gelişmeye sahne olması beklenmektedir. Elektrik enerjisinin, sadece oldukça büyük ve merkezi güç üretim istasyonlarında üretilmesi ve yüksek gerilim hatları üzerinden iletimi yerine, yakın bir gelecekte ilave olarak oldukça dağılmış ve farklı üretim altyapılarının kullanılması beklenmektedir.

Dağıtım sisteminin geleneksel yöntemler ile planlanmasıyla, merkezi olmayan enerji üretimine ve mikro şebeke yaklaşımına dayanan yeni yöntemler kullanılarak yapılan

planlamanın karşılaştırması Tablo 1.1'de verilmiştir. Geleneksel planlama yöntemlerinde, büyük santrallerde üretilen elektrik enerjisi dağıtım şebekeleri aracılığı ile son kullanıcılara ulaştırılmaktadır.

Tablo 1.1. Dağıtım sistemleri planlama yaklaşımları [16]

	Geçmiş	Şimdi	Gelecek
Planlama	Geleneksel yaklaşım	Merkezi olmayan enerji sistemleri	Mikro şebekeler
Üretim entegrasyonu	Merkezi yerinde üretim, yedekleme üretimi	Merkezi olmayan düşük/orta nüfuzlu dağıtılmış enerji kaynakları	Merkezi olmayan orta/ yüksek nüfuzlu dağıtılmış enerji kaynakları
Yükleme	Farklılıklar yok	Güç kalitesi gereklilikleri ve kontrollerine (örn. Kritik/kritik olmayan, kontrol edilebilir/kontrol edilemez yük) dayanan yük sınıflandırmaları	
Dağıtım şebekesi	Trafo merkezi/ pasif şebeke tarafından sağlanır	Yarı aktif şebeke	Aktif şebeke/ çift yönlü enerji iletimi

Tablo 1.1'de görüldüğü gibi dağıtım sistemleri planlamasında gelecekte mikro şebekelerin olacağı ve merkezi olmayan dağıtılmış enerji kaynakları ile çift yönlü enerji iletimi olan aktif şebekenin kullanılacağı öngörülmektedir.

Dağıtım sistemi, akıllı şebeke kavramları için önemli fırsatlar sunar. Dağıtım sistemi problemleri yaklaşımının bir yolu mikro şebeke kavramı kullanılarak dağıtılmış enerji kaynaklarının yüksek düzeyde entegrasyonunu kapsayacak şekilde dağıtım sisteminin yeniden düşünülmesini sağlamaktır.

Bu sistemlerin temel faydaları; onların enerji kaynağı yereldir, şebeke yatırımını, işletme maliyetini ve iletim hat kayıplarını düşürür, karşılıklı olarak şebekeyi tamamlar, şebeke kapasitesini azaltır, dalgalı ve tepe değerlerindeki yükler arasındaki boşluğu kısaltır ve çevresel kirliliği düşürdüğü gibi güvenirliği artırır [17,18].

Ekonomik gelişmişlikle doğru orantılı olan karbon salımında ülkemiz, Birleşmiş Milletler (BM) İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi dahilinde karbon salımının azaltılması yönündeki çalışmaları arttırarak sürdürmelidir. Karbon salımının

azaltılmasına yönelik adımlardan biri de yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektir [19].

Yenilenebilir Enerji Politika Ağı'nın yayınladığı "Yenilenebilirde Küresel Durum Raporu"na göre, 2013 yılında dünyada tüketilen 23,5 trilyon kWh elektrik enerjisinin % 22'si (5,1 trilyon kWh) yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmıştır. Ülkemizde ise 2013 yılında tüketilen 245 milyar kWh'lık (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı verilerine göre) elektrik enerjisinin % 29,79'u (73 milyar kWh) yenilenebilir enerji kaynakları tarafından üretilmiştir.

Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesi'ne göre ülkemizde yenilenebilir kaynakların, elektrik enerjisi üretimi içindeki payının 2023 yılında en az % 30 düzeyine çıkması planlanmaktadır. Bu hedefe ulaşmak için ise yenilenebilir kaynaklardan, hidroelektrik alanında değerlendirilebilecek tüm kaynakların 2023 yılına kadar tamamının elektrik üretiminde kullanılması amaçlanmaktadır.

2013 yılı sonu itibariyle işletmede olan rüzgâr enerji santrallerinin 2760 MW olan kurulu gücünün 20 bin MW'a çıkarılması belirlenirken, 600 MW'lık jeotermal potansiyelinin tümünün işletmeye girmesi istenmektedir. Güneş enerjisinde de teknolojik gelişmeler ışığında üretimin yaygınlaştırılması hedeflenmektedir.

1.5. Literatür ve Tez Çalışmaları

Literatürde hibrit sistem, dağıtılmış üretim ve mikro şebekelerde enerji yönetimi sistemleri konusunda bir çok çalışma ve tez yapılmıştır. Bu çalışmaların bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Hajizadeh A., Aliakbar G. M., Hibrit dağıtılmış üretim sisteminin akıllı enerji yönetim stratejisi adlı bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada hibrit yakıt hücre/ batarya dağıtılmış üretim sistemi için online güç enerji yönetimi sunulmuştur. Online yapısı üç katmandan oluşmaktadır. Birincisi çalışma modlarını yakalayan katman, ikincisi batarya ve yakıt hücresi arasında güç paylaşımı için bulanık denetleyiciye dayanır. Üçüncüsü her bir alt sistemleri düzenler [20].

Lombardi P., Powalko M., Rudion K., Sanal bir santralın optimal çalışması adlı bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada sanal bir enerji santralı kontrol etmek için enerji

yönetim sistemi sunulmuştur. Bu durumda, yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerji kaybını önlemek ve üretilen enerjinin maliyetini en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Sanal enerji santralı; kombine çevrim ısı ve güç santralı, rüzgâr parkları ve fotovoltaik tesislerden oluşmaktadır. Yenilenebilir birimler tarafından üretilen fazla enerji, hem arıtma tesisi hem de bazı endüstriyel işlemler için hidrojen sağlamak için elektrolizör için kullanılmaktadır [21]. Bu çalışmadan farklı olarak tez çalışmasında, batarya, yakıt hücresi ile kombine çevrim ısı ve güç santralı yerine mikro hidroelektrik santral kullanılmıştır.

Lu D., Francois B., Fotovoltaik tabanlı aktif generatör ile bir mikro şebekenin stratejik yapısı adlı bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada bir mikro şebeke (FV, gaz türbini) için gün öncesi güç değerlerini yazmak, güç ve yük tahmini düşünen bir yönetim sistemi tanımlanmıştır. Enerji yönetim sistemi, mikro şebeke için gerçek zaman güç ayar noktaları ve birincil frekans kontrolü için sarkma denetleyici koordinatları sağlar [22].

Gupta A., Saini R., Sharma M., Hibrit enerji sisteminin kararlı durum modeli adlı bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada hibrit bir enerji sisteminde en uygun çalışmaları belirlemek için kararlı durum modelleri geliştirilmiştir. Hibrit sistem; mikro hidro, biyogaz, biyokütle, fotovoltaik panel, bir batarya bankası ve fosil yakıt generatörden oluşmuştur. Karma tamsayılı doğrusal programlama ile bir ekonomik dağıtım stratejisi uygulanmıştır [23]. Tez çalışmasında ise yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşmuş hibrit sistem önerilmiş ve yükün enerji ihtiyacının sürekli karşılanması için yönetim stratejisi belirlenmiştir.

Westermann D., John A., Geniş alan ölçümü ve talep tarafı yönetimi ile talebe uygun rüzgâr güç üretimi adlı bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada talep tarafı yönetimi için geniş alan ölçüm ve dalgalanma kontrolün kombinasyonu açıklanmıştır. Önerilen kontrol sistemleri, artan yenilenebilir kaynakların bitişik iletim şebekeleri üzerindeki etkisini azaltmaktadır [24].

Hamidi V., Robinson F., Rüzgâr gücünün yüksek etkisi ile şebekelerdeki talep cevabı adlı bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada yenilenebilir kaynaklı bir mikro şebekedeki kayda değer aralıklı bir sistem için talep cevabı önerilmiştir. Bu sistemde talep, güç dalgalanmalarını azaltmak ve aynı zamanda talebin tepe değerini

değiştirmek için yön değiştirebildiği ancak bunun için tüketicilerin kayıp yük değerinin değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmıştır [25].

Lagorse J., Somoes M., Çoklu etken bulanık mantık tabanlı hibrit sistemlerin enerji yönetimi adlı bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada hibrit enerji sisteminde, enerji akışını kontrol etmek için dağıtılmış enerji yönetim sistemi önerilmiştir. Bu dağıtılmış kontrolör, çoklu etmen sistemine dayalı teknolojidir. Hibrit sistem, fotovoltaik hücreler, yakıt hücreleri, süper kapasitör ve yüklerden meydana gelmiştir. Batarya birimi, bulanık mantık kuralları tarafından yönlendirilmektedir [26]. Tez çalışmasında ise hibrit sistem; rüzgâr türbini, fotovoltaik panel, mikro hidroelektrik, yakıt hücreleri, batarya, elektrolizör ve yüklerden meydana gelmiştir.

Logenthiran T., Srinivasan D., Bir mikro şebekenin kısa dönem üretim tarifesi adlı bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada bir mikro şebekenin ada çalışmasında optimal üretim planlaması için üç aşamalı etkili bir yöntem tanımlanmaktadır. Bu mikro şebeke, bir fotovoltaik sistem, bir rüzgâr parkı ve 10 adet termal üniteler ve bir batarya bankasından oluşmaktadır. Birinci aşama termal birim bağlantısı için ilk uygulanabilir çözümü kurmada yükü karşılamada yenilenebilir enerji kullanımı düşünülmektedir. Bu çözümlerden termal birimi bağlantı problemi tekrar çözümü termal birimlerin açma kapamaları belirler. Son adım yenilenebilir enerji kaynaklarının doğrusal olmayan kısıtları dikkate alınarak, doğrusal olmayan yenilenebilir ısıyı göndermeyi optimize etmektir. Doğrusal olmayan optimizasyon problemi genetik algoritmalar kullanılarak çözülmüştür [27].

Tsikalakis A., Haatziargyriou N., Mikro şebekeler işletmesini optimize etmek için merkezi kontrol adlı bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada bir mikro şebeke için merkezi kontrol sistemi tanımlanmıştır. Kontrolör, dağıtım şebekesi ile enerji değişimi ve enerji üretiminin bölgesel dağıtılmış üretimlerden sağlandığı şebekeden bağımsız sırasındaki mikro şebekenin çalışmasını optimize etmektir. İki piyasa politikaları, kontrol edilebilen yükler için sunulan işlemler varsayılmış ve bu talep tarafı emri kontrol sistemi içinde birleştirilmiştir [28].

Rajesh S., Hibrit güç sistemi modelleme-simülasyon ve enerji yönetim birimi gelişmesi adlı doktora çalışması yapmıştır. Bu çalışmada, enerji depolama birimi olarak batarya bankalarının pahalı, sınırlı ömürlerinden dolayı uzak alanlarda

izlenmesi karmaşık ve yönetiminin zor olması uygulanan hibrit sistemlerini karmaşık yaptığından enerji depolama birimi olarak su depolama tamamen yeni güç sistemin gelişimi olarak ortaya konulmuştur. Önerilen çalışma, şebekeden bağımsız senkron generatörden oluşmuştur. FV sistem ve rüzgâr türbini generatörü gibi diğer enerji kaynakları birlikte entegre edilerek daha fazla yenilenebilir enerji kullanılmıştır. Bunun yanında sistemi güvenilir yapmak için dizel generatör bağlanmıştır. Bu karmaşık entegrasyon süreci için Matlab/Simulink yazılımı kullanılmıştır. Çalışmada, yenilenebilir enerji kullanımına dayalı modüler ve genişletilebilir enerji yönetimini geliştirilmiştir. Geliştirilen enerji yönetiminin yeni kavramıyla, enerji açısından en iyi ve en uygun şekilde enerji dönüşümünün kullanımı gerçekleştirilmiştir. Bunun için, gerekli olan güç önceden belirlenmiş ve dağıtım hattından bağımsız şebekenin frekansı ile referans frekansı karşılaştırılmıştır. Yük için en uygun enerjiyi göndermek için su seviyesi, ışıma ve hava şartları bağlı olan üç adet enerji dönüşümüne ayrılmıştır. Sistem, meteorolojik ve su seviyesi şartlarında tüm sistem fonksiyonunu test etmek amacıyla farklı yükler için simule edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, yeni geliştirilen ve sistemle entegre olan enerji yönetim biriminin fonksiyonel olduğunu göstermektedir [29]. Bu çalışmadan farklı olarak tez çalışmasında dizel generatör yerine mikro hidroelektrik santral önerilmiştir. Ayrıca yükün talep ettiği gücün karşılanmasının sürekliliği için yakıt hücresi ve elektrolizör kullanılmıştır.

Ipsakis D., Voutetakis S., Seferlis P., Stergiopoulos F., Elmasides C., Yenilenebilir enerji kaynakları ve hidrojen depolama kullanılarak şebekeden bağımsız güç sistemleri için enerji yönetim stratejileri adlı bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından değişken enerji üretimi altında yakıt hücresi ve elektrolizörün etki kullanımı yoluyla yükün güç ihtiyaçları kendi kapasitelerinde enerji yönetim stratejilerince belirlenmiştir. Enerji yönetim sisteminin değerlendirme bölgesi için tahmini şartlarda dört aylık süre boyunca gerçekleştirilmiştir. İstenmeyen çalışma şartlarından birimleri korumak ve sistemin güç kaynaklarını güvenli bir şekilde sağlamak amacıyla üç farklı enerji yönetim stratejisi önerilmiştir. Tüm güç sisteminin performansı, her bir enerji yönetim stratejisi ve değişken şartlar altında tahmin edilip belirlenmiştir. Böylece güç

sisteminin çeşitli bileşenleri arasındaki etkileşimleri tam olarak araştırılmış ve analiz edilmiştir [8].

Yumurtacı R., Hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinde enerji yönetiminin rolü: değişken mevsimsel şartlara göre durum çalışma analizleri adlı bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada rüzgâr, güneş ve hidrojen enerjisi teknolojileri içeren hibrit bir yapı sağlanarak, yükün ihtiyacı olan gücün karşılanmasında enerji yönetimi için yapay sinir ağları kontrolör yaklaşımı seçilmiştir. Bununla sistemin performansı, ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimlerinde meteorolojik şartların değişkenliklerini yansıtan farklı durum çalışmaları sırasında incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Hibrit modelleri, enerji yönetim stratejisi detayları ve simulasyon çalışmaları ile sonuçlandırılmıştır. Yapay sinir ağları tabanlı enerji yönetim yaklaşımı; rüzgâr, güneş ve hidrojen enerjisi tabanlı hibrit şebekeden bağımsız yapıda verimli ve etkili bir çalışma olduğu görülmüştür. Yenilenebilir kaynakların güç üretiminin az veya yük ihtiyacından daha fazla enerji üretilmesi durumunda ayrı ayrı enerji akışı düzenlemesi yapay sinir ağları kontrolör ile yapılmıştır [30].

Oğuz Y., Hibrit güç üretim sisteminin modellemesi, analizi ve neuro-fuzzy kontrolör kullanılarak sistem performansının iyileştirilmesi adlı doktora çalışması yapmıştır. Bu çalışmada, şehir merkezinden veya enerji dağıtım şebekelerinden uzak küçük yerleşim birimlerinin elektrik enerji ihtiyacının karşılanması amacı ile hibrit rüzgâr-gaz güç üretim sisteminin Matlab/Simulink programı kullanılarak modellemesi gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda hibrit güç üretim sisteminin elektriksel çıkış büyüklüklerinin işletme değerlerini istenilir noktaya getirmek için Adaptif Neuro-Fuzzy Çıkarım Kontrolör'ü (ANFÇK) kullanılmıştır. Hibrit rüzgâr-gaz güç üretim sisteminin farklı tüketici yükleri ile yüklenmesi durumunda, ANFÇK'lü sistemin dinamik davranışı elde edilen simülasyon sonuçları ile analizi yapılmıştır. Hibrit güç üretim sistemi için gerçekleştirilen simülasyon çalışması sonuçlarından da görülmüştür ki, ANFÇK ile sistemin çıkış elektriksel büyüklükleri kısa sürede arzu edilen işletme değerine yerleşmiştir [31].

Demirtaş M., Güneş ve rüzgâr enerjisi kullanılarak şebeke ile paralel çalışabilen hibrit enerji santralı tasarımı ve uygulaması adlı doktora çalışması yapmıştır. Bu çalışmada güneş ve rüzgâr enerjilerini elektrik enerjisine dönüştürebilen bir hibrit

enerji santralı tasarlanmış ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan santralde, güneş ve rüzgârdan elde edilen enerji akü gruplarında depo edilmekte ve istenildiginde yüke aktarılmaktadır. Akülerin dolu olduğu anlarda ise, üretilen enerji ya doğrudan yüke aktarılmakta, ya da şebekeye aktarılarak sürekli bir enerji üretimi yapılmaktadır. Bu sistemde rüzgâr türbini ve güneş panellerinden elde edilen elektrik enerjisi aynı doğru akım (DC) barada birleştirilerek ve evirici yardımıyla yüke yönlendirilmesi amacıyla kullanılmak üzere iki adet yükselten konvertör tasarlanmış ve uygulamaları tamamlanmıştır. Uygulanan hibrit enerji sisteminden elde edilen değerler bilgisayar ortamında kayıt edilerek, sistemin maksimum verimle çalıştırılabilmesi için gerekli değerlendirmeler yapılmıştır [32].

Literatürdeki çalışmaların çoğunda, yenilenebilir enerji kaynakları olarak rüzgâr ve güneş enerji sistemleri kullanılarak hibrit sistemler oluşturulmuş ve çalışmalar bunlar üzerine yoğunlaşmıştır. Bu tez çalışmasıyla rüzgâr, güneş ve hidrolik gibi yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak hibrit enerji sistemleri oluşturulmasının araştırılması ve geliştirilen enerji yönetim stratejisi ile yükün talep ettiği enerji ihtiyacının sürekli karşılanması sağlanmıştır.

Hemen hemen her ülkenin amacı, yenilenebilir enerji kaynaklı mikro şebeke ile güç şebekelerinin entegrasyonunu sağlamaktır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına, kontrol ve sensör teknolojisine, bilgisayar teknolojisine ve iletişim sistemlerine dayanan şebeke alt yapısının modernleşmesinin anahtarı, mikro şebeke tasarımıdır [33]. Bu nedenle oluşturulan mikro şebekeke, yenilenebilir enerji kaynaklı olarak planlanmıştır.

2. MİKRO ŞEBEKELER

Teknolojinin gelişmesinin yanında yatırım vergi kredileri, hızlandırılmış amortisman, üretim vergi kredileri, mülkiyet vergi kredileri, gelir vergisi teşvikleri, KDV muafiyetleri, çevre vergisi istisnaları, ithalat vergisi indirimleri, hibeler, alım garantili tarife ve ekipman kredileri gibi teşvikler, güç sistemlerinin görünümünü yeniden şekillendirmektedir. Elektrik şebekesi alt yapısının eskimiş olması ile birlikte aşırı yüklenmeler elektrik şebekelerinde kesintilerin yaşanmasına sebep olmaktadır. Bu gibi problemleri çözmek için mikro şebekeler, mevcut elektrik alt yapısının yeniden yapılandırılması ve enerji arzının güvenirliğini sağlamada nispeten yeni ve umut verici bir çözüm olarak geçen yüzyılın sonunda ortaya çıkmıştır. Bunlar, yeni bir enerji kaynağı ve şebeke yönetim teknolojisi olup bağımsız olarak kontrol edilen, dağıtılmış üretimle birlikte güç sağlayan elektrik şebekeleridir. Bu şebekeler, yenilenebilir ve temiz kaynakların şebekeye dahil olmalarına, talep tarafı yönetimi ve varolan enerjinin maksimum kullanımına izin verebilir. Temel şebekenin bir parçası ve endüstriyel/ ticari tüketici uygulamalarından oluşan bir mikro şebeke sistem, şebekeden bağımsız veya şebeke bağlantılı mod olarak çalışabilir. Dağıtılmış enerji kaynakları, mikro şebeke içinde hem dağıtılmış üretim hem de dağıtılmış depolama enerji olabilmektedir.

Dağıtılmış üretim teknolojileri; içten yanmalı motorlar, gaz türbinleri, kombine çevrim gaz türbinleri, mikro türbinler, yakıt hücreleri, rüzgâr türbinleri, FV güneş pilleri, güneş ısı, küçük hidroelektrik, jeotermal enerjisi, biyokütle, gel-git enerjisi ve dalga enerjisi gibi üretim birimleridir. Bu üretim birimlerinden, rüzgâr türbinleri, FV, küçük hidrolik generatörler, jeotermal enerji ve yakıt hücreleri dünyada toplam güç üretiminde piyasa payını arttırması beklenmektedir [34].

Enerji depolama ise; elektriksel, mekaniksel, kimyasal ve ısıl depolama teknolojileridir. Enerji depolama birimleri hakkındaki bilgiler, bundan sonraki bölüm içersinde yer alan “Enerji depolama birimi” alt başlığı altında verilmiştir.

Mikro şebeke kavramı, başlangıçta dağıtılmış üretim birimlerinin elektrik güç şebeke ve hata izolasyonu için basitleştirilmiş entegrasyonunu amaçlamıştı. Son zamanlarda ise, akıllı şebekelerin sürdürülebilir işlemi gerçekleştirmek, hızlı onarımı sağlamak ve güvenirliği artırmak için yeniden gündeme gelmiştir.

Dağıtılmış enerji üretim sistemleri (DEÜS), alçak gerilim (AG) veya orta gerilim (OG) seviyesinde (0,4-36kV) yapılan elektrik enerjisi üretimi ve enerji depolama yapan merkezi olmayan yerel ve bölgesel ihtiyaçlara yönelik kullanılan, kaynakların optimizasyonuna, çevre ve verime dayalı en uygun çalışma yöntemleri ve kapasitesini belirleyen elektrik üretim sistemleridir. Başka bir deyişle DEÜS, küçük güçlü üretim birimlerinin şebekeye, tüketicilerin yük ihtiyaçlarını karşılamak üzere bağlanmasıdır [16]. Bu sistemler, tüketici merkezlerine yakın elektrik dağıtım şebekesine bağlı veya tek başına çalışabilen, coğrafi olarak yayılı kaynakları içerir.

Küçük güçlü santrallerin yanında, rüzgâr, güneş gibi yenilenebilir enerji kaynakları, yakıt pili ve enerji depolama birimleri, dağıtılmış üretim kaynaklarıdır. Dağıtılmış üretim literatürde farklı güç değerlerinde ele alınmıştır. Genel olarak birkaç Watt'dan başlayabilen fakat 100 MW'dan küçük güçlü santraller olarak ele alınır. Bu bağlamda dağıtılmış üretim mikro ölçek (1-5kW) küçük ölçek (5kW- 5MW), orta ölçek (5MW-50MW) ve büyük ölçekte (>50MW) olmak üzere dört grupta sınıflandırılabilir [35].

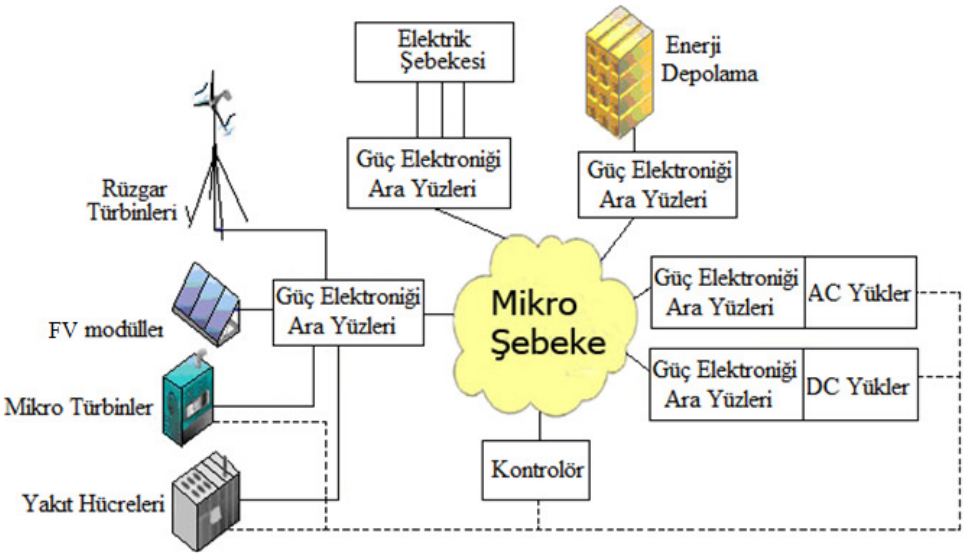
Dağıtılmış enerji kaynakları, kısa tesis süresi, piyasa beklentilerine cevabındaki esneklik, farklı yakıt seçeneği, gelişmiş güç kalitesi, daha az iletim kaybı, elektrik güç sistemi güvenilirliğinde artış ve gelişmiş şebeke güvenliği gibi çok sayıda avantaja sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının DEÜS olarak kullanımı yönündeki çevresel talepler daha da artmaktadır. Ayrıca, küçük jeneratörler, güç elektroniği ve enerji depolama elemanlarındaki teknolojik gelişmeler DEÜS'nin mevcut elektrik dağıtım sistemine bağlantısında yeni fırsatlar sağlayacaktır. Bu nedenle mikro şebeke kavramı ortaya atıldığında, enerji ve güç sektörlerinde, dünya çapındaki uzmanların hemen dikkatini çekti. Birçok ülke bu alanda temel bilimsel çalışma yürütmektedir. Avrupa Birliği, Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ve Japonya, DEÜS üzerinde farklı açılardan araştırma yürütülmektedir. Çin'de DEÜS ve mikro şebeke üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Şu anda kombine ısı ve güç

sistemleri, kombine soğutma, ısı ve enerji, FV üretim sistemleri ve rüzgâr enerji sistemleri gibi DEÜS'lerin çoğunluğu yenilenebilir enerji sistemleridir [36].

DEÜS'lerin planlanması bölgelerin coğrafi yapıları, iklimsel özellikleri, doğal çevre faktörleri, sosyo ekonomik farklılıkları dikkate alınarak yapılmalıdır. Bazı bölgelerde rüzgâr, jeotermal ve su enerjisine veya bunlardan birkaçına dayalı üretime yer verilmesi gerekecektir. Bu üretimlerin yıllık, mevsimlik veya anlık özellikleri dikkate alınarak, sunulan enerjinin sürekliliğini sağlayacak şekilde yedek kapasite ile birlikte iletim ve dağıtım şebekesine yapılacak yatırımların irdelenmesi sistem güvenliği açısından zorunluluk arz etmektedir. Diğer taraftan meteorolojik bağımlılığı olan rüzgâr santralleri planlanırken sistem kararlılığı göz önünde bulundurulmalıdır.

Rüzgâr türbinleri, güneş enerjisi ve yakıt pilleri gibi alternatif ve dağılmış enerji kaynaklarına olan ilgi, yüksek enerji maliyetleri ve geleneksel enerji kaynaklarının çevreye olan olumsuz etkilerinin halk tarafından daha fazla algılanması nedeniyle giderek artmaktadır. Bu nedenle, bu tip enerji kaynaklarına talep artmakta, güvenilirlik ve maliyet etkileri daha ön plana çıkmaktadır [37].

DEÜS ve mikro şebekeler, elektrik hizmetlerinin serbestleşmesi ve yeniden yapılanma çabaları sırasında sürdürülebilir enerjinin önemli bir yönü olmalıdır. Şekil 2.1'de mikro şebekelerin genel şeması ve bu şemada bulunan rüzgâr türbinleri, mikro türbinler, yakıt hücreleri ve FV modüller gibi kaynaklar görülmektedir.



Şekil 2.1. Mikro şebeke genel şeması [38]

Şekil 2.1'de görüldüğü gibi mikro şebekeler, güç elektroniği ara yüzleri üzerinden şebekeye bağlanırlar. Mikro şebekeyi oluşturan rüzgâr türbinleri, FV modüller, mikro türbinler ve yakıt hücreleri gibi üretim kaynakları, uygun dönüştürücüler yardımıyla AC veya DC yükleri beslerler. Güç elektroniği dönüştürücülerinin sisteme girmesi hem bağlı olduğu sistemin güç kalitesini etkiler hem de yeni kontrol düzenlemeleri gerektirir [35]. Tablo 2.1'de dağıtılmış enerji kaynaklarının karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 2.1. Dağıtılmış enerji kaynakları karşılaştırılması [39]

Dağıtılmış Enerji Kaynak Teknolojisi	Güç Aralığı	Kaynak	Verim-Fiyat	Uygulamalar
Mikro Türbinler	25 kW – 500 kW	Doğalgaz, hidrojen, propan, dizel yakıt vb.	% 20-30 700$ - 1,100$/kW	Küçük ticari binalar motel, restoranlar vb.
Yanma Türbinleri	500 kW –25 MW	Doğalgaz, hidrojen, propan, dizel yakıt vb.	% 20-30 700$ - 1,100$/kW	Kojenerasyon uygulamaları, mekanik sürücüler.
Pistonlu Motorlar	5 kW – 7 MW	Doğalgaz, dizel vb. gaz dolum yeri	% 25-45 300$ - 900$/kW	Yaygın olarak kullanılabilir, yedek güç ticari ve sanayi binaları.
Stirling (sıcak hava) Motorları	<1 kW – 25 kW	Öncellikli doğalgaz	% 12-20 2,000$- 50,000$/kW	Uçak
Fotovoltaik Sistem	< 1 kW – 100 kW	Güneş ışığı	% 5-15 6,000$ - 10,000$/kW	Binaların çatı üstleri
Rüzgâr Sistemleri	Bir kaç kW – 5 MW	Rüzgâr	% 20-40 ~ 1000$/kW	Küçük/büyük ölçekli üretim
Birleşik Güç - Isı	Bir kaç kW – 25MW	Dağıtılmış enerji kaynağına bağlı	% 50-90	Sıcak su üretimi ısıtma/soğutma
Yakıt Hücreleri	1 kW – 10 MW	Doğal gaz, hidrojen, dizel	% 25 - 60 ~ 4000$/kW	Otomotiv, konut, ticari,hafif sanayii

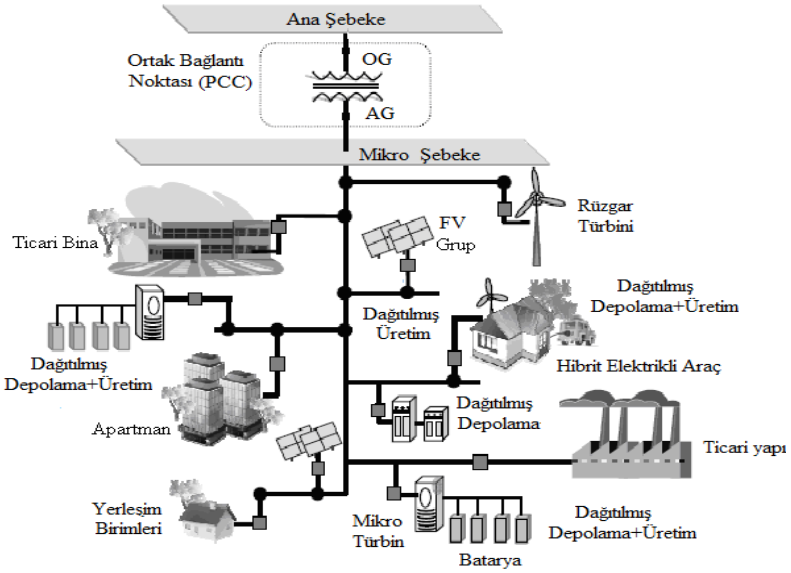
2.1. Mikro Şebeke Yapıları

Mikro şebeke, dağıtılmış enerji kaynaklarının tüketicilere yakın yerleştirilebilmeleri nedeniyle oluşan oldukça etkili enerji dağıtım ve besleme sistemini, tüketicilerin teknolojik tercihlerine ve güç kalitesi taleplerine dayanan emniyetli ve güvenilir bir besleme sisteminin oluşturulması ile kesintiler sırasında şebekeden bağımsız otonom

bir şekilde işletebilmek için yeterli güç üretimine ve dengeleme kaynaklarına sahip bir şebeke yapısını gerektirmektedir.

Mikro şebeke, bir veya birden fazla dağıtılmış enerji kaynakları tarafından beslenen yük grubunu OG/AG dağıtım sisteminin bir kısmını bünyesinde bulundurabilir. Fiziksel olarak şebekeye bağlı olduğu halde, mikro şebekenin çalışma ve kontrol modu, mikro şebekenin ana sistem ile güç etkileşimine bağlı olarak, şebekeye bağımlı mod veya şebekeden bağımsız mod arasında değişebilir. Şebekelerin mikro şebekeler olarak yeniden yapılandırılması sayesinde şebekeye büyük ölçekli dağıtılmış enerji kaynaklarının yerleştirilmesi olanaklı duruma gelebilir [16]. Mikro şebekelerin yeniden yapılandırılmasında akıllı şebeke yapısına ihtiyaç duymaktadır.

Dağıtılmış enerji üretim sistemlerinin şebekeye bağlantısının asıl amacı, yerel kaynakların etkin kullanımı ve tüketiciye sağlanan gücün güvenilirliğini artırarak ve mümkün olduğunca iletim ve dağıtım sistemi kayıplarının azaltılmasıdır. Ayrıca DEÜS, şebeke tarafından sağlanandan daha fazla güç kalitesi sağlayarak artan güç talebine cevap verebilmektedir. Bazı durumlarda, örneğin elektrik şebekesinin olmadığı uzak noktalarda veya tepe yüklerdeki yüksek tarife uygulamalarında dağıtılmış enerji üretim sistemleri oldukça düşük maliyetli çözümler sunabilmektedir [40]. Şekil 2.2'de üretim ve tüketimin birlikte olduğu tipik mikro şebeke yapısı görülmektedir. Bu şebekede kullanılan sistemler, dağıtım şebekelerine ve yüklere yakın yerlere bağlanmaktadır.



Şekil 2.2. Tipik mikro şebeke yapısı [39]

Mikro şebekeler, dağıtım sistemlerindeki arıza onarımı sırasında müşterilerin enerjisiz kalmaması için dağıtım sistemine güç aktararak, geliştirilmiş hizmet güvenirliğini sağlayabilir. Dağıtılmış enerji üretimlerinin, konvansiyonel sistemlere göre avantajlarını teknik, mali ve çevresel olmak üzere üç grupta toplanabilir. Hatlardaki yüklenmeleri azaltarak şebeke kayıplarının azaltılması ve artan gerilim profili ile güç kalitesinin artması, bu sistemlerin en önemli iki teknik avantajı olarak gözükmektedir. Mali olarak ise fosil tabanlı yakıtların kullanımının azaltılması, şebekede oluşan maksimum enerji talebi zamanlarında devreye girerek elektriğin birim maliyetinin azaltılması ve dağıtım ve iletim hatlarının yenilenmesinin ertelenmesi dolayısıyla yatırımın geciktirilmesi büyük önem arz etmektedir. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına imkân sağlamasından dolayı CO_2 ve sera gazlarının salınımını azaltmaktadır [41].

2.2. Mikro Şebeke Tasarımı

Dağıtılmış enerji kaynaklarının mikro şebekelerde uygun bir şekilde yerleştirilmesi ile enerji verimliliği ve enerji kalitesinde kazanım sağlamak olanaklıdır.

Tipik bir mikro şebeke tasarımında:

a) Öncelikle dağıtılmış enerji kaynaklarının özellikleri belirlenmelidir:

• En uygun dağıtılmış üretim biriminin belirlenmesi (rüzgâr**,** FV, küçük ölçekli hidroelektrik vs),
• Ünitenin gücünün belirlenmesi,
• Şebekede dağıtılmış enerji kaynaklarının en uygun yerleştirilecekleri yerlerin belirlenmesidir.

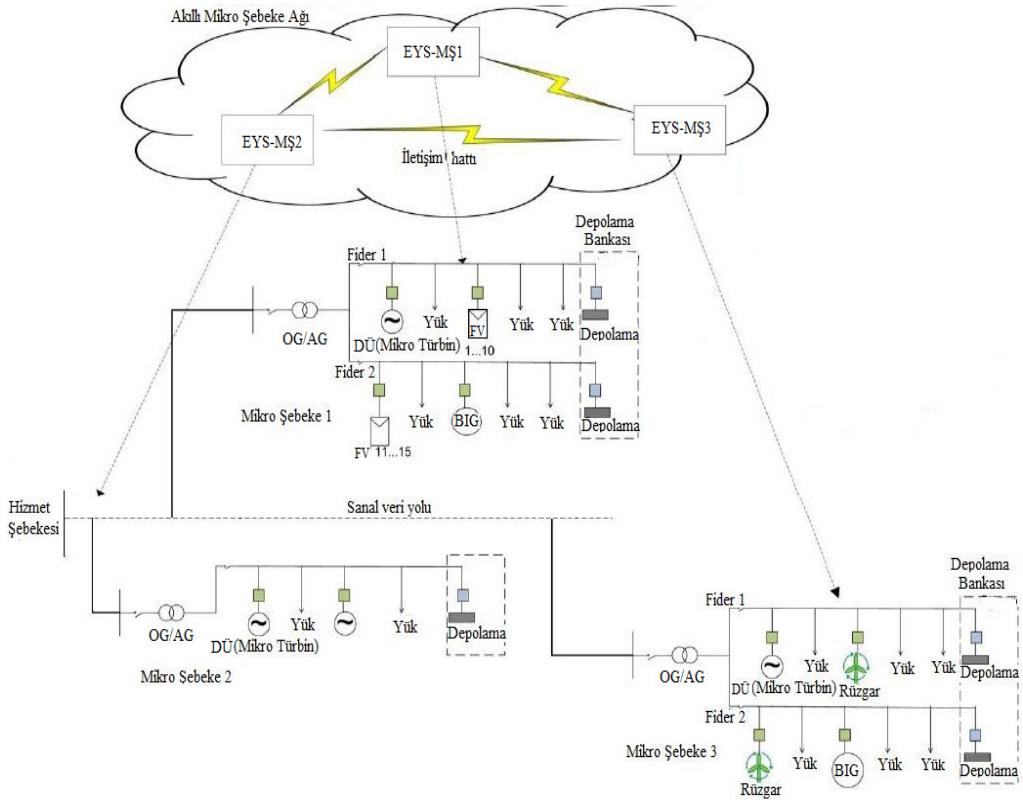
b) Mikro şebeke, şebekeye bağımlı ve şebekeden bağımsız işletme koşulları için irdelenmelidir. Şebekenin fiziksel yapısı sebebiyle sadece bir durumda dahi problemde çok sayıda amaç ve kısıtlar bulunur. Bunlar; sistemdeki tüm kayıplar, gerilim kararlılığı, dengesiz işletme koşulları ve diğer enerji kalitesi parametreleridir.

Teknik kısıtlara ilave olarak göz önünde bulundurulması gereken ekonomik hedefler; yatırımlar, gelirler, yük kaybı olasılığı, işletme ve bakım maliyetleridir [16].

Mikro şebeke; FV paneller, rüzgâr türbini, mikro türbin, depolama birimleri, kontrol edilebilir yükler, birleşik ısı ve güç ile enerji yönetim sistemlerini içerir. Enerji yönetim sistemi, mikro şebekenin şebekeden ada modunda çalışmasına bağımsız karar verir. Devre kesici mikro şebekeyi şebekeden ayırdığında bağımsız mod olur. Bu durumda enerji üretimi, yük kontrol, güç kalitesi kontrol ve düzenleme işlemleri mikro şebeke içinde uygulanmaktadır.

Elektrik şebekesi teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak mikro şebekeler, bilgi ve iletişim teknolojisindeki gelişmelerin avantajlarını kullanarak akıllı mikro şebeke olarak gelişmektedir. Gelecekte elektrik servislerinin güvenirliğini ve sürdürülebilirliğini artırmak için iletişim kabiliyetleri ve zekası ile akıllı mikro şebekeler bir ağ oluşturabilir ve birkaç görevi yerine getirebilir.

Akıllı mikro şebeke ağ kavramı, ilk olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmak için mikro şebekelerin depolanan enerjilerini paylaşmak için oluşturulmuştur. Şekil 2.3'te etkin enerji kaynağı olan güneş, mikro türbin ve rüzgâr kaynaklarından oluşan üç mikro şebekenin sırasıyla gösterildiği akıllı mikro şebeke ağı gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Üç mikro şebeke ile akıllı mikro şebeke ağı bağlantısı [42]

Akıllı bir mikro şebeke ağı oluşturmak için mikro şebekelerin bitişik olması gerekmez. Enerji yönetimi sistemi, iletişim hatları ile güç akışı iletim hatları ve transformatörler yardımıyla sağlanır.

Şekil 2.3'te görüldüğü gibi sanal veri yolu, ara iletim elemanlarının bir basitleştirilmesidir. Toplam dağıtılmış depolama bankaları/depolama birimleri mikro şebeke haberleşmesinin enerji yönetim sistemi kontrolünün altındadır. Depolama birimleri olarak volanlar, bataryalar ve hibrit elektrikli araçlardan biri olabilir.

Mikro şebekelerde, merkezi ve merkezi olmayan kontrol olarak enerji yönetim sistemleri gerçekleştirilir. Tablo 2.2'de merkezi ve merkezi olmayan mikro şebeke enerji yönetim sistemi arasındaki karşılaştırmalar verilmiştir.

Tablo 2.2. Mikro şebeke enerji yönetim sistemi karşılaştırmaları [43]

Kontrol Yöntemi	Faydaları	Sakıncaları
Merkezi kontrol	• Uygulaması basittir. • Bakımı kolaydır. • Nispeten düşük maliyetli • Yaygın olarak kullanılmakta ve işletilmektedir. • Tüm sistemler üzerinde geniş kontrol	• Hesaba dayalı yük • Yüksek bant genişliği bağlantıları gerektirir. • Hata tek noktadadır. • Genişletilmesi kolay değildir. • Tak ve çalıştır işlevselliği zayıftır.
Merkezi olmayan kontrol	• Tak ve çalıştır daha kolaydır(genişletilmesi kolay). • Düşük hesaplamalı maliyet • Arızanın kontrolü birden fazla noktada olmaktadır. • Büyük ölçekli, karmaşık ve farklı yapıdaki sistemler için uygundur.	• Senkronizasyon gerektirir. • Yerel katkılar için uzlaşma daha fazla zaman alabilir. • Kavuşma oranları iletişim ağ topolojileri tarafından etkilenebilir. • Varolan kontrol ve iletişim, tesis maliyetini yükseltmektedir. • Yeni iletişim yapı ihtiyacı

Tablo 2.2.'de görüldüğü gibi mikro şebekelerdeki enerji yönetimi için kullanılan merkezi ve merkezi olmayan kontrol yöntemlerinin faydaları ve sakıncaları vardır. Tez çalışmasında şebekeden bağımsız mikro şebeke için enerji yönetimi yapıldığından merkezi olmayan kontrol yönteminin kullanılması uygun olmaktadır.

3. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLI HİBRİT GÜÇ ÜRETİM SİSTEMİ VE BİLEŞENLERİ

Hibrit güç üretim sistemi; uygulamada en az iki ve daha fazla ham enerji kaynağından enerji üretimini gerçekleştiren sistemler ve paralel olarak birbirlerine katkıda bulunan ünitelerdir. Bu sistemler, tek bir enerji üretim kaynağına göre genellikle daha güvenli ve daha az maliyetlidir [44]. Bir hibrit sistem tasarlanırken elemanların boyutlandırma ve en uygun kontrol stratejisi elde edilmelidir.

Hibrit sistemlerdeki amaç, enerji kaynaklarının birlikte kullanımını sağlayarak hem verimi artırmak hem de kaynaklardan birinin olmaması veya arızalanması durumunda diğerlerinin sistemin enerji ihtiyacını karşılamasını sağlayabilmektir. Bu tür uygulamalarda kaynak sayısını ve kaynağın tipini belirleyen en önemli faktörler, enerji üretilecek bölgede kaynağın yeterli düzeyde olması ve bazı enerji türlerinde de sistemi bir araya getirmek için yeterli düzeyde teknolojinin mevcut olmasıdır.

Hidrojen, biyokütle ve yakıt hücresi gibi enerji kaynakları buna örnektir. Hibrit sistemlerin güç kalitelerinin artırılması ve kalıcı durum performanslarının incelenmesi konusu da önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır [32]. Hibrit güç üretim sisteminin kontrolünde iki önemli husus vardır. Bunlar;

- Hibrit güç üretim sisteminde istenilen çıkış geriliminin, frekansının ve güç sistemi kararlılığının sürekliliğini denetim altına almak amacıyla yapılan dinamik kontrol,
- Güç sistemi işletimini daha iyi düzeye çıkarmak amacıyla tüketicilere farklı enerji kaynaklarından akan enerji akışını dengede tutmak için güç sistemi bileşenlerinin en iyi kombinasyon seçimini gerçekleştiren işletme stratejisidir [31].

Güç üretim sistemi enerji yönetimi için modelleme, önemli bir bileşendir. Doğru bir model, birim bağlantı kararına, işletme maliyetini ve emisyon seviyelerini uygun hale getirmek için elektrik hizmetlerine yardımcı olur. Bunun yanında yük talebini karşılamada önemli bir rol oynar. Esas gerekli olan mikro şebekenin güvenirliğidir.

Günümüzde mikro şebekelerin işletilmesi ve kontrolü ile ilgili olarak önemli araştırmalar gerçekleştirilmektedir [42, 45].

Günümüzde petrol türevlerinden elde edilen fosil kaynakların tükenmeye başlaması sonucunda enerji darboğazı ve çevreye verdikleri olumsuz etkilerden dolayı enerjinin temiz ve yenilebilir kaynaklardan elde edilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu temiz kaynakların kullanılması ile çevre kirliliğine neden olan karbon gazı yayılımının azalması ve dünya üzerinde daha rahat bir yaşam sürdürülebileceği öngörülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgâr ve güneş enerjisi, sonsuz ve yaygın bir kaynak olması, doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülebilmesi gibi avantajları sebebiyle hızla yaygınlaşmaktadır.

3.1. Hibrit Güç Üretim Sisteminin Faydaları

Hibrit güç üretim sistemlerinin bir çok faydaları bulunmaktadır. Bu faydalar aşağıdaki gibi sıralanabilir [46].

- Doğal bölgesel potansiyele dayalı kullanıcıların iki veya daha fazla yenilenebilir enerji kaynaklarını birleştirme imkanı olması,
- Özellikle CO_2 yayılımlarını azaltma açısından çevreye olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi,
- Düşük maliyetli rüzgâr enerjisi ve aynı zamanda güneş enerjisi, gelecekte özellikle olası fosil ve nükleer enerji maliyet eğilimleri dikkate alındığında rekabet olabilmesi,
- Çeşitlilik ve arz güvenliği sağlaması,
- Modüller yapıda ve hızlı kurulum imkanına sahip olması,
- Yakıt; bol, tükenmez ve bedava olması,
- Maliyetler, yakıttaki fiyat dalgalanmaları etkisinde olmaması nedeniyle tahmin edilebilir olması.

Hibrit güç sistemin tasarımında, yükün (bağımsız veya bağımlı, kırsal veya kentsel, DC ve AC) güç kaynağı, sistemin ihtiyaçlarına bağlı olacaktır. Hibrit güç sistemli mikro şebekeler, ana güç şebekesine bağlanabilir veya bağımsız olarak çalıştırılabilir.

Literatürde hibrit enerji sistemleri üzerine pek çok çalışma mevcuttur. Bu uygulamalarda sistemlerin kontrolü ve veriminin artırılması, en çok üzerinde çalışılan konular arasındadır. Verimi artırmaya yönelik çalışmalarda, fuzzy, yapay sinir ağları, mikroişlemci kontrolü modelleme gibi kontol yöntemleri kullanılırken, özellikle hibrit sistemler aracılığıyla elektrik enerjisi üretilen uygulamalarda şebekeye bağlantı, önemli bir uygulama alanı olarak karşımıza çıkmaktadır. Şebekeye bağlantılı sistemlere ilave olarak tek başına akü gruplarıyla çalışan veya şebekeden bağımsız hibrit sistem uygulamaları da mevcuttur [32]. Şebekeden bağımsız hibrit sistemler, aynı zamanda enerji üretimindeki devamlılık süresini arttırmak için bataryalardaki enerji depolamayla birleştirilebilir.

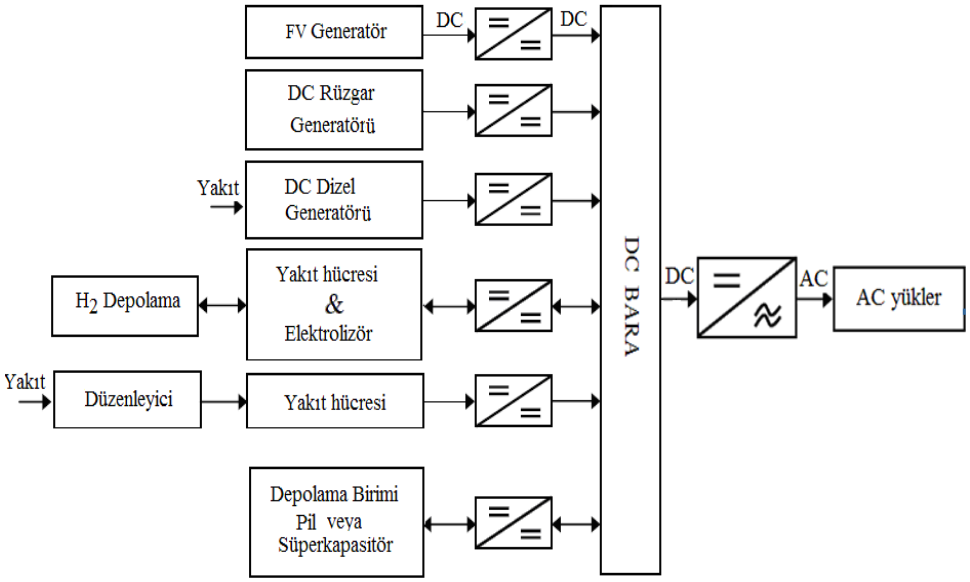
3.2. Hibrit Güç Üretim Sistemi Topolojileri

Geleneksel ve yenilenebilir enerji dönüşüm sistemlerinin birleşiminden meydana gelen hibrit güç sistemleri uygulama açısından DC veya AC topolojileri olarak sınıflandırılabilir.

DC bağlantılı sistem topolojisinde tüm generatör ve depolama birimleri DC baraya bağlıdır. Çıkışı AC olan güç kaynakları varsa önce DC'ye dönüştürülür. Daha sonra eklenen tüm DC güç kaynakları temel DC güç barasında DC/AC dönüştürücüsü olan eviricilerle AC kullanıcı yüklerine bağlanır. Bu evirici, farklı generatör ve depolama birimlerinde üretilen DC gücü, istenilen gerilim ve frekansta AC kullanıcı yük taleplerine AC gerilimle dönüştürür. Kullanılacak evirici, pik yük taleplerinde yeterli olmalıdır.

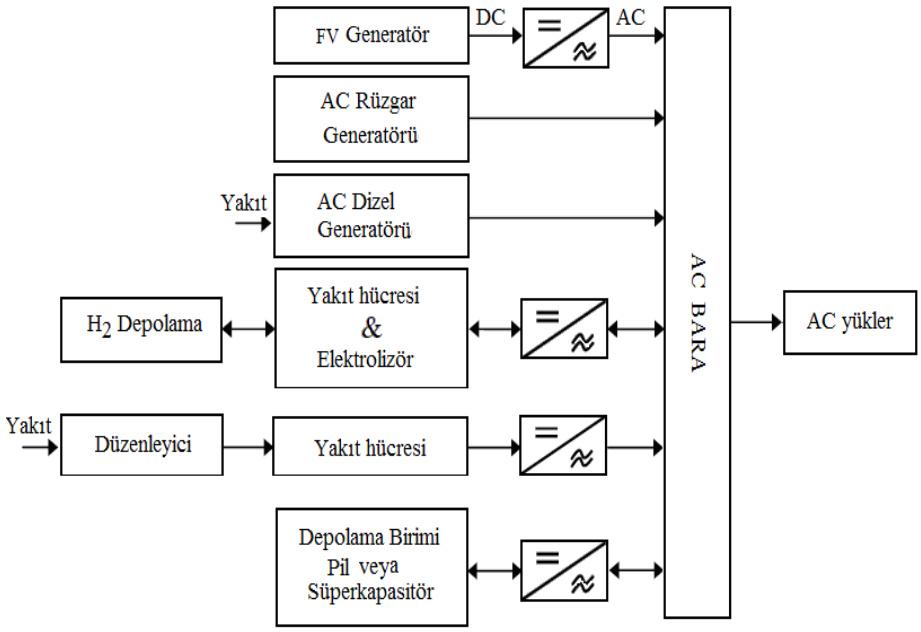
DC bağlantılı hibrit sistemin avantajı; generatör şarjı kısa süreli depolama birimlerinde olduğunda bile yük talebini kesintisiz olarak karşılamasıdır. Bu sistemin tasarım ilkeleri uygulama için kolaydır. Bu sistemin ciddi dezavantajları ise, düşük dönüşüm verimi ve sistem içindeki sınırlı kontrolüdür. Ayrıca daha fazla üretim kaynağı veya bir bileşenin kapasitesinin artmasıyla sistemin büyümesi, DC/AC eviricinin sınırlı nominal kapasitesinden dolayı çok karmaşıktır [48].

Şekil 3.1'de DC baraya her bir güç kaynağı DC/DC dönüştürücü üzerinden bağlı olduğu hibrit sistemin blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 3.1. DC bağlantılı hibrit sistem blok diyagramı [47]

AC Bağlantılı sistem topolojisinde, tüm sistem bileşenleri ve AC kullanıcı yükleri AC baraya bağlıdır. AC bağlantılı sistem topolojisi, DC bağlantılı sistem topolojisine göre daha üstün performansa sahiptir. Her bir evirici kendi generatörüne senkronize olabilir, böylece diğer evirici ile bağımsız veya aynı anda güç temin edebilir. Bu durum yük talebini karşılamada enerji kaynakları için bazı esneklik sunar. Şekil 3.2'de DC/AC dönüştürücü üzerinden AC baraya bağlı olan hibrit sistemin blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 3.2. AC bağlantılı hibrit sistem blok diyagramı [47]

AC bağlantılı hibrit sistemin çalışması ve kontrolü, senkronizasyon işleminden dolayı bileşenler arasında gereklidir. Bu topoloji, DC bağlantılı topoloji ile karşılaştırıldığında; tüm sistemde daha yüksek verimlilik, daha küçük güç düzenleyici birimi, dizel generatörün en uygun çalışması, çalışma zamanı ile birlikte bakım maliyetlerinin azalması ve enerji kullanabilirliğin yüksek seviyede olması gibi avantajları vardır.

3.3. Hibrit Güç Sisteminin Üretim Kaynakları

Tez çalışmasında tasarım ve kontrolü örnek olarak alınan model hibrit güç sistemi; FV paneller, rüzgâr türbini, hidrolik türbin, depolama birimi (batarya), yakıt hücresi, batarya şarj edici (AC/DC dönüştürücü), evirici (DC/AC dönüştürücü) ve elektrolizörden oluşmaktadır. Hem rüzgâr türbini hem de hidrolik türbin AC veya DC baraya bağlanabilir.

3.3.1. Rüzgâr güç üretim sistemi

Rüzgâr, güneş radyasyonunun yer yüzeyini farklı ısıtmasından kaynaklanır. Yer yüzeyinin farklı ısınması, havanın sıcaklığının, neminin ve basıncının farklı olmasına, bu farklı basınç da havanın hareketine neden olur. Dünyaya ulaşan güneş enerjisinin yaklaşık % 2'i kadarı rüzgâr enerjisine çevrilir.

Türkiye'de yer seviyesinden 50 metre yükseklikte ve 7,5 m/s üzeri rüzgâr hızlarına sahip alanlarda 5 MW/km^2 gücünde rüzgâr santralı kurulabileceği kabul edilmiştir. Bu kabuller ışığında Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyeli 48.000 MW olarak belirlenmiştir. Bu potansiyele karşılık gelen toplam alan Türkiye yüz ölçümünün %1,30'una denk gelmektedir [49].

Meteorolojik ve topografik açıdan rüzgârın olabileceği yerler şunlardır.

- Basınç gradyanının yüksek olduğu yöreler,
- Sürekli esen rüzgârlara paralel vadiler,
- Yüksek, engebesiz tepe ve platolar,
- Yüksek basınç gradyanlı düzlükler ve sürekli rüzgâr alan az eğimli vadiler,

- Güçlü jeostrofik rüzgâr (basınç gradyanı ve corriolis kuvvet arasındaki dengeden oluşan ve yer yüzeyi ile etkileşmeyen kuramsal rüzgâr) alanlarının etkisinde kalan tepe ve zirveler,
- Jeostrofik rüzgâr ve termal gradyan alanına sahip kıyı şeritleridir.

3.3.1.1. Rüzgâr santrallerinin uygulama alanları

Rüzgâr enerjisi, ilkçağdan beri türbinin şaft gücünden yararlanılarak su pompalama, çeşitli ürünleri kesme, biçme, öğütme, sıkıştırma, yağ çıkarma gibi mekanik enerjiye gerek duyulan yerlerde kullanılmaktadır. Rüzgâr enerjisinin en etkin kullanım biçimleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

1. Mekanik uygulamalar (su pompalama sistemi)
2. Elektriksel uygulamalar (şebeke bağlantılı ve şebeke bağlantısız "stand-alone" sistemler)
3. Isıl enerjisi uygulamaları

Rüzgârdan elde edilen enerji, üretildiği yerde tüketilmek veya enterkonnekte şebekeye verilmek zorundadır. Rüzgâr enerjisi çevrim sistemlerinin enerji üretimleri, tamamıyla rüzgâra bağımlı olduğundan rüzgâr türbinleri, sadece rüzgârlı yörelere kurulabilirler. Rüzgâr enerjisinin en önemli sorunlarından biri üretim ve tüketim zamanları arasındaki farktır. Bu problem ancak enerjinin depolanmasıyla çözülebilmektedir.

Depolanma yöntemlerinin en önemlileri aşağıda açıklanmıştır.

- Enerjinin bataryalarla depolanması yöntemi; ancak küçük işletmelerde, başka bir çözüm olmadığı zaman kullanılır. Çünkü bataryalar, maddi açıdan ek bir maliyettir.
- Suyu elektroliz yolu ile ayrıştırıp, elde edilen hidrojen depolanması yöntemi.
- Suyu pompalayarak potansiyel enerjisini artırma yöntemi.
- Enerjinin sıkıştırılmış havada depolanması yöntemi.
- Enerjinin ısıl enerji şeklinde suda depolanması da bir başka yöntemdir.

Rüzgâr enerjisi santrallerinin olumlu yönleri;

- Hammadeleri atmosferde serbest olarak bulunur.
- Yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağıdır, çevre dostudur.

- Kaynağı güvenilirdir, tükenme ve zamanla fiyat artma riski yoktur.
- Teknolojinin gelişmesiyle maliyeti azalmaktadır.
- Bakım ve işletme maliyetleri düşük ve kolaydır.
- Santrallerde çalışanlardan dolayı istihdam oluşturur.
- Rüzgâr enerji santralleri; toplam santral sahasının %1'ini işgal ederler. Geri kalan kısım tarımsal ve hayvansal faaliyetler için kullanılabilir.
- Yakıt maliyeti yoktur, büyük ölçüde yerli kaynak kullanımı olacağından, ithale dayalı diğer fosil yakıtların (doğal gaz ve ikincil ithal kömür ve petrol ürünleri) hemen tümüne karşı temin güvenliği avantajına sahiptir.
- İthal kömür her ne kadar temiz olarak kabul edilse de CO_2 ve az oranda da diğer kirleticilerin üretimine neden olmaktadır. Buna karşın yenilenebilir enerji kaynaklarının atmosferik emisyonları yok denecek kadar az olacağından kirliliğe sebep olmayacak ve sera etkisi azalacaktır.
- Yenilenebilir enerji kaynakları, dağlık yöreler gibi kırsal ve gelişmemiş alanlarda yarattıkları iş ve altyapı imkânları sayesinde sosyo-ekonomik gelişmeye katkıda bulunacaktır, şeklinde sıralanabilir.

Rüzgâr enerjisi santrallerinin olumsuz yönleri;

- İlk yatırım maliyetleri yüksektir,
- Kapasite faktörü düşüktür (%25-40 arasındadır),
- Kesintili bir enerji kaynağıdır,
- Yenilenebilir enerji kaynakları projelerinin işletmeleri daha ucuz olmakla beraber ilk yatırım maliyetleri fosil kaynaklı teknolojilere göre daha yüksektir, şeklinde sıralanabilir.

Rüzgâr türbinlerinin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Yakıt maliyeti yoktur.
- Sıfır emisyona sahiptir.
- Gelişmiş teknolojidir.
- Çok sayıda üreticisi vardır.
- İyi bir konumda watt saat başına düşük maliyetlidir.
- Daha düşük sistemler, düşük bakım gerektirmektedir.
- Bazı yerlerde öngörülebilir güç çıkışı vardır.

Dezavantajları ise aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Üretim rüzgâra bağımlıdır.
- Geniş araziye ihtiyaç vardır.
- Şebekeye bağımlı yedek veya tek başına uygulamalara uygun değildir.
- Kaynak yetersizliği nedeniyle bir çok yerde uygun değildir.
- Bazı insanlar kule estetiği için itiraz etmektedir.
- Kule ve kanatlar kuş ölümlerine sebep olabilir.
- Bazı bölgelerde güç çıkışı aralıklı olabilir, bu nedenle büyük bir pil bankası veya alternatif güç kaynağı kullanılmalıdır.
- Çoğu insanlar, yüksek hızdaki rüzgârların gürültü oluştuğunu düşünmektedir.
- Hareketli parçalar sonun da yıpranacaktır.
- Geniş birimler için çok yüksek kuleler pahallı olabilir ve ağır dik ekipmanlar gerekebilir.

Rüzgârdan üretilen elektrik enerjisinin türbin göbek (hub) yüksekliğindeki ortalama rüzgâr hızının bir fonksiyonu olarak sınıflanması aşağıda verilmektedir. Buna göre bulunulan yerin ortalama rüzgâr hızı;

- 6,5 m/s rüzgâr hızı enerji açısından orta düzey,
- 7,5 m/s rüzgâr hızı enerji açısından iyi düzey,
- 8,5 m/s ve yukarısı rüzgâr hızı enerji açısından yüksek düzey, olarak değerlendirilmektedir. Q_h debisine sahip bir V_{rz} hızındaki rüzgârın gücü ;

$$P_{rz} = 0{,}5 Q_h V_{rz}^2 \eta_{rz} \qquad (3.1)$$

olarak belirlenir. Bu ifadede kütlesel debi $Q_h=\rho A V_{rz}$ olarak yerine yazılırsa rüzgârın gücü için ;

$$P_{rz} = 0{,}5\ \rho A V_{rz}^3 \eta_{rz} \qquad (3.2)$$

elde edilir. Denklem (3.1) ve (3.2)'deki simgeler ağağıda açıklanmıştır.

P_{rz} : Rüzgâr türbini tarafından üretilen teorik güç(watt)

A : $\pi D^2/4$ (kanat süpürme alanı) (m^2)

D_r : Rotor çapı (m)

V_{rz} : Rüzgâr hızı (m/s)

ρ : Hava yoğunluğu (1,225 kg/m^3)

η_{rz} : Rüzgâr türbin verimliliği (ideal şartlarda bu değer %59 alınır ve Betz Limiti olarak adlandırılır.

Rüzgâr türbininden elde edilen güç, rüzgâr türbini verim katsayısı ile rüzgâr hızının küpüyle doğru orantılıdır. Bu durumda güç ifadesi Denklem (3.3) gibi olur.

$$P_{rz}= 0{,}5\ \rho A V_{rz}^{3} C_p \quad \text{(Watt)} \tag{3.3}$$

$$C_p = \frac{\text{Rüzgâr türbini tarafından üretilen elektrik gücü}}{\text{Rüzgârda mevcut toplam güç}}$$

Rüzgâr türbini verim katsayısı, aynı zamanda üst akıntıya karşı elde edilen rüzgâr gücünün bir kesridir ve Denklem (3.4) ile tanımlanır.

$$C_p = \frac{\left(1+\frac{V_0}{V_r}\right).\left(1-\left(\frac{V_0}{V_r}\right)^2\right)}{2} \tag{3.4}$$

C_p : Rüzgâr türbini verim katsayısı

V_r : Rotor kanatlarına giren üst akıntı rüzgâr hızı (m/s)

V_0 : Rotor kanatlarına giren alt akıntı rüzgâr hızı(m/s)

Denklem (3.3)'de görüldüğü gibi rüzgâr türbininden üretilen teorik güç; rüzgâr hızının küpü ile orantılıdır. Yani rüzgâr hızı 2 kat artarken üretilen güç miktarı 8 kat artacaktır. Başka bir ifadeyle, ortalama rüzgâr hızı 8 m/s olan bir yerde üretilen elektrik güç miktarı, ortalama hızı 6 m/s olan yerde üretilen elektrik güç miktarından %75-80 daha fazla olacaktır.

Rüzgâr türbini verim katsayısı, iki kanatlı yüksek hızlı türbinler için 0,4 ile 0,5 arasındadır. İki'den fazla kanatlı, düşük hızlı rüzgâr türbinlerinde verim katsayısı 0,2 ile 0,4 arasında değişmektedir [50]. Türbinden elde edilen güç; güç, rotor kanatlarının verimli alanı, rüzgâr hızı ve rotordaki rüzgâr akış şartları sayesinde belirlenmektedir. Bu nedenle, rotor kanatlarındaki akış durumlarının değişimi ve verimli alan sayesinde türbin çıkış gücü değiştirilebilir.

Rotor hız oranı, kanat ucundaki doğrusal hızın serbest akıntılı rüzgâr hızına oranıdır ve Denklem (3.5) ile tanımlanır [51].

$$\lambda=\frac{\omega.R}{V_{rz}} \tag{3.5}$$

Burada ;

λ : Rotor hız oranı

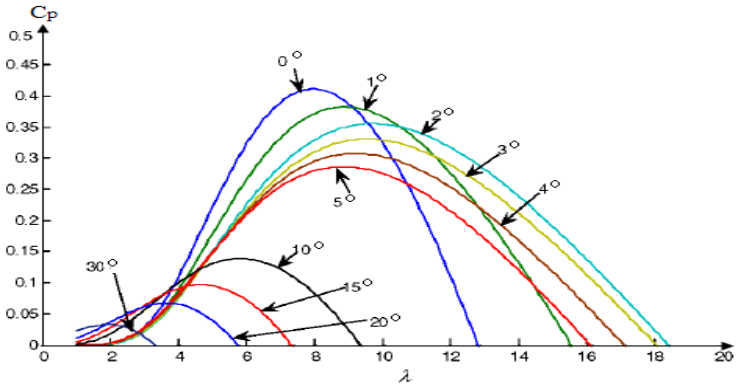
ω : Rotor açısal hızı(rad/s)

R : Rotor kanat yarıçapı(m) olarak ifade edilmektedir.

Maksimum rüzgâr türbini verimi özel rotor hız oranlarında ve kanat aralık açısı (β) değerlerinde istenilen düzeye çıkar. Bütün zamanlarda optimal seviyede rotor hız oranını korumak için rotor yüksek rüzgâr hızlarında yüksek hızla döndürülmeli, düşük hızlarında ise rotor düşük hızla döndürülmelidir. Rüzgâr türbinlerinden verimli elektrik üretimi için yüksek oransal hız türbinleri tercih edilmektedir [52]. Rotor hız oranına ve kanat aralık açısına bağlı olarak değişen rüzgâr türbini verim katsayısına bağlı olan rüzgâr türbininden elde edilen güç, Denklem (3.6)'daki gibi ifade edilir.

$$P_{rz}=\frac{1}{2}\rho.A.V^3.C_p(\lambda,\beta)\ (\text{Watt}) \tag{3.6}$$

Şekil 3.3'te rüzgâr türbinin farklı kanat aralık açılarındaki *Cp* –λ değişimi görülmektedir.



Şekil 3.3. Rüzgâr türbinin farklı kanat aralık açılarındaki *Cp* –λ değişimi [1]

Şekil 3.3'te görüldüğü gibi rüzgâr türbininin kanat aralık açıları arttıkça verim katsayısı azalmaktadır. Bu nedenle daha türbinden daha iyi verim alabilmek için kanat aralık açısının düşük tutulması gerekmektedir.

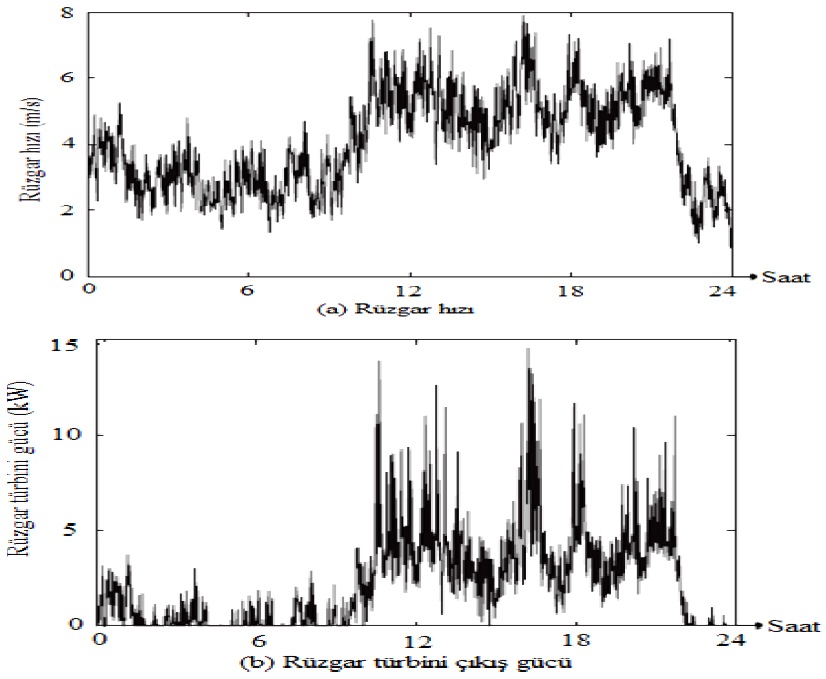
Türkiye'nin toplam rüzgâr enerjisi potansiyeli 40.000 ile 80.000 MW düzeyindedir. Devlet Meteoroloji İşleri istasyonlarının verilerine göre, Türkiye'nin yıllık ortalama rüzgâr hızının on metre yükseklikte 2,54 m/s ve rüzgâr gücü yoğunluğunun 24W/m^2 olduğu belirlenmiştir [53]. Tablo 3.1'de Türkiye'nin ortalama rüzgâr gücü yoğunluğu ve ortalama rüzgâr hızının bölgelere göre dağılımı verilmiştir.

Tablo 3.1. Rüzgâr verilerinin bölgelere göre dağılımı [53]

Bölge Adı	Ortalama Rüzgâr Gücü Yoğunluğu (W/m^2)	Ortalama Rüzgâr Hızı (m/s)
Akdeniz	21,36	2,45
Doğu Anadolu	13,19	2,12
Ege	23,47	2,65
Güneydoğu Anadolu	29,33	2,69
İç Anadolu	20,14	2,46
Karadeniz	21,31	2,38
Marmara	51,91	3,29

Tablo 3.1 incelendiğinde, Marmara ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinin rüzgâr gücü yoğunluğu bakımından diğer bölgelere göre daha zengin olduğu görülmektedir.

Rüzgâr türbin sisteminden elde edilen çıkış gücü, rüzgâr hızındaki değişimlere göre gün boyunca değişiklik gösterir. Şekil 3.4'te örnek olarak rüzgâr hızı ve rüzgâr türbin gücünün bir gün boyunca değişimleri verilmiştir.



Şekil 3.4. a) Rüzgâr hızı, b) rüzgâr türbini güç değişimleri [30]

Şekil 3.4'te görüldüğü gibi rüzgâr türbininden elde edilen güç miktarı (b), rüzgârın hızıyla (a) doğru orantılı olarak elde edilmiştir. Çok büyük güçlü şebekelerde rüzgâr çıkış gücündeki değişim ve salınımlar frekans ve gerilimin kontrol edilmesiyle en aza indirilmekte veya yok edilmektedir. Küçük ve büyük şebekelerden bağımsız rüzgâr güç üretim sistemlerinde, üretim ve tüketim arasındaki güç dengesi önceden belirlenmiş güç limitleri dahilinde gerilim ve frekansın arzu edilen değerlerde korunmasının sürekliliği sağlanmalıdır. İstenilen gücün arzu edilen değerde ve kalitede olması için frekans ve gerilim değerleri izin verilen alt ve üst limitler arasında olmalıdır [31].

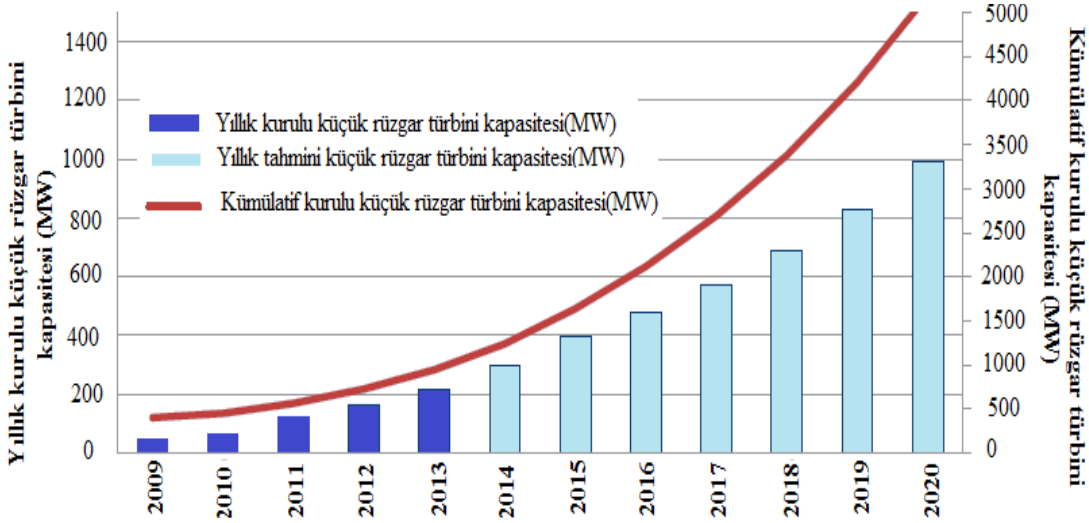
3.3.1.2. Rüzgâr türbinleri

Rüzgâr türbinleri, havadaki kinetik enerjiyi mekanik enerjiye veya generatörler yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürürler. Bunlar rotor, güç şaftı ve generatörden oluşur. Rüzgâr, kanatlardan geçerken aerodinamik bir taşıma kuvveti oluşur ve rotoru döndürür. Bunun sonucunda mekanik enerji generatör tarafından elektrik enerjisine dönüştürülür. Ayrıca türbinlerde, dönme oranını ayarlayacak ve kanatların hareketini durduracak bir rotor kontrolü bulunur. Rüzgâr hızı yükseklikle arttığı için rüzgâr türbinleri kule tepelerine yerleştirilir. Güçlerine göre rüzgâr türbinleri Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Güçlerine göre rüzgâr türbinleri

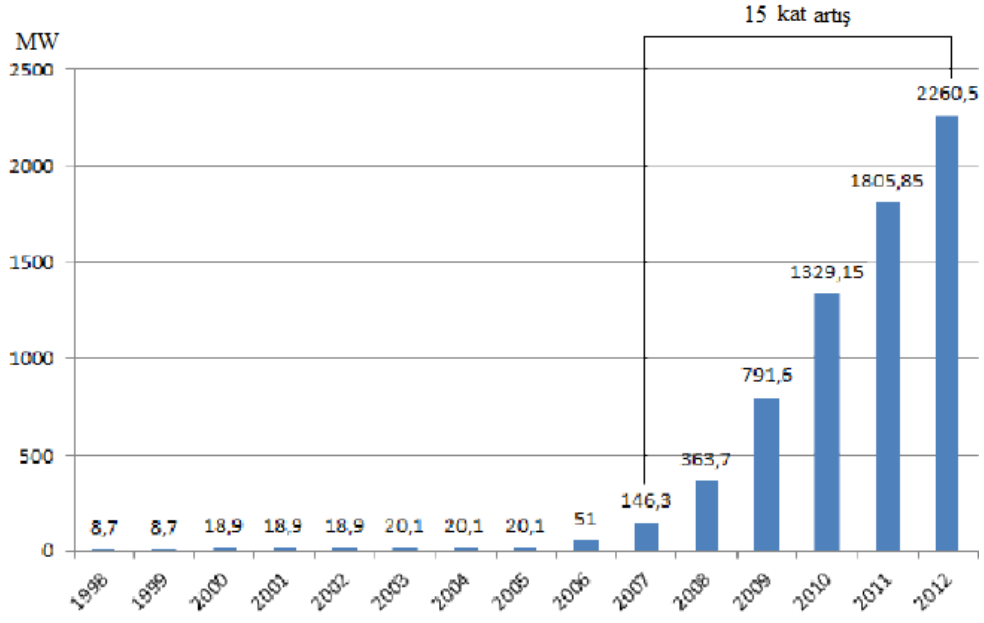
Ölçek	Rotor çapı (m)	Nominal güç (kW)
Mikro	<3	0,05-2
Küçük	3-12	2-40
Orta	12-45	40-1000
Büyük	45>	1000>

Mikro ölçekli rüzgâr türbinleri, gücü 0,05-2 kW arasında olup, uzak iletişim sistemlerinde, ev içi sistemlerde ve gezi teknelerinde kullanılabilir. Küçük ölçekli rüzgâr türbinlerin hemen hemen hepsinde sabit mıknatıslı generatör kullanılmaktadır. Orta ölçekli rüzgâr türbinleri, gücü 40–1000 kW arasında olan sistemlerdir. Büyük ölçekli rüzgâr türbinleri, gücü 1000 kW'dan daha büyük olan sistemlerdir. Şekil 3.5'te kurulu küçük rüzgâr türbini dünya pazar tahmininin 2009-2020 yılları arasındaki durumu verilmiştir.



Şekil 3.5. Kurulu küçük rüzgâr türbini, dünya pazar tahmini (2009-2020) [54]

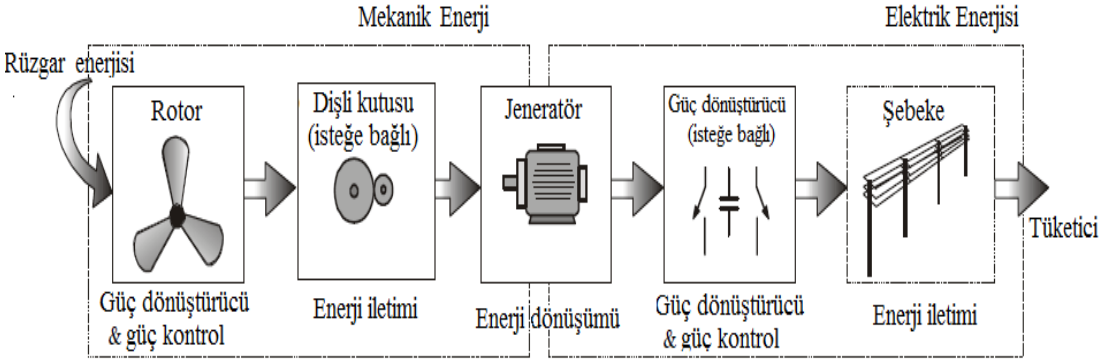
Yenilenebilir enerji kaynağı olan rüzgâr enerjisine olan talep, son yıllarda artmaktadır. Bu bağlamda 21 Mayıs 2009 tarihli Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesinde, rüzgâr enerjisi kurulu gücünün 2023 yılına kadar 20000 MW'a çıkarılmasının hedeflendiği belirtilmektedir. Şekil 3.6'da Türkiye rüzgâr enerjisi kurulu gücünün 1998-2012 yılları arasındaki değişimi görülmektedir.



Şekil 3.6. Rüzgâr enerjisi kurulu gücünün yıllara göre dağılımı [55]

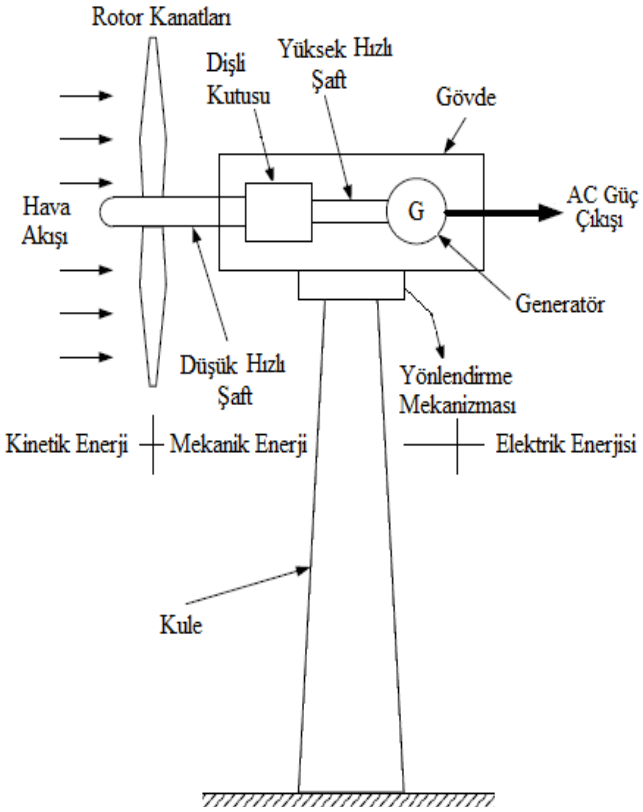
Şekil 3.6'da görüldüğü gibi ülkemizde 1998 yılında 8,7 MW rüzgâr enerjisi kurulu gücün 2006 yılında 51 MW olmuştur. Daha sonraki yıllarda kurulu güç hızlı bir şekilde artmıştır. 2007 yılında 146,3 MW olan kurulu güç değeri, 2012 yılında 15 kat

artarak 2260,5 MW'a ulaşmıştır. Rüzgâr hızından elektrik enerjisi üretmek amacıyla kullanılan tipik rüzgâr enerjisi dönüşüm sisteminin blok diyagramı Şekil 3.7'de görülmektedir.



Şekil 3.7. Rüzgâr türbininde, rüzgâr enerjisinin elektrik enerjisine dönüşümü [56]

Şekil 3.7'de görüldüğü gibi rüzgârın düşük hızını yüksek momente dönüştürmek için bir dişli kutusu kullanılmıştır. Rüzgâr türbini, elektrik üretiminde kullanılan jeneratörü tahrik etmek için kullanılmıştır. Elde edilen elektrik enerjisi, dönüştürücüler yardımıyla tüketicilere ulaştırılır. Şekil 3.8'de elektrik enerjisi üretiminde kullanılan tipik bir rüzgâr türbinin bileşenleri görülmektedir.



Şekil 3.8. Tipik rüzgâr türbini bileşenleri [1]

Türbin bileşenleri, türbin tasarım tipine veya imalatçısına göre değişebilmektedir. Fakat bütün türbinlerde özellikleri farklı olan ancak aynı fonksiyonu yerine getiren benzer bileşenler vardır. Bir türbinde; kanatlar, rotor, rüzgâr hızı ölçme cihazı (anemometre), türbin, düşük hızlı şaft, yüksek hızlı şaft, dişli kutusu, fren, döndürme mekanizması (pitch), generatör, kontrol sistemi, rüzgâr yön sensörü, gövde, yönlendirme mekanizması, yönlendirme motoru ve kule gibi belli başlı bileşenler bulunmaktadır. Bu bileşenlere ait özet bilgiler aşağıda verilmiştir.

Kanatlar: Türbinlerin çoğu iki veya üç kanatlı olarak tasarlanmaktadır. Kanatlara çarpan rüzgâr, kanatları kaldırarak döndürmektedir. Kanat yapısı türbinin önden veya arkadan rüzgâr almasına göre değişmektedir.

Rotor: Kanatlar ve dişli kutusunun yuvalandığı kapalı mekana rotor adı verilir. Rüzgârın kinetik enerjisini mekanik enerjiye çevirir.

Anemometre: Rüzgâr hızını ölçüp elektronik kontrol sistemine ileten bir ölçüm cihazıdır.

Düşük hızlı şaft: Kanatların bağlandığı mil olup dakikada 30–60 devirle dönmektedir.

Yüksek hız şaft: Generatörü süren, eğer mevcutsa dişli kutusu ile generatör arasında bulunan mildir.

Dişli kutusu: Rotorun dönme hızını artıran bir mekanizmadır. Dişli kutusu sayesinde rüzgâr türbininin rotorundan elde edilen güç, jeneratör için gerekli olan hızı sağlar. Generatörlerin elektrik üretebilmeleri için dakikada, 1200–1550 devirlik bir döndürme yükü almaları gerekmektedir. Dişli kutuları, rotorun bağlandığı düşük dönüşlü şafttan gelen dakikada 30–60'lık dönme yükünü, yüksek hız şaftına 1200–1500 devirlik bir hıza yükselten makinelerdir. Dişli kutularının ağır olması, kule ömrünü olumsuz etkilemektedir.

Türbin: Kule üzerine yerleştirilen montaj platformu olup, rotor, dişli kutusu, şaftlar, generatör, kontrolör ve frenleme düzeninin yuvalandığı ana rotor gövdeye monte edilmiş olup, kapasitesine göre bir teknisyenin içinde tamirat yapabileceği kadar serbest alana sahiptir.

Fren: Acil durumlarda, mekanik, elektriksel veya hidrolik olarak uygulanan bir disk ile rotorun hareketinin durdurulmasını sağlayan sistemlerdir.

Pitch: Kanatları, aşırı yüksek veya düşük hızlarda dönüşünü kontrol eden döndürme mekanizmasıdır.

Generatör: Elektrik üreten makinelerdir. Sincap kafesli indüksiyon generatörü, rotoru sargılı indüksiyon generatörü, sabit mıknatıslı senkron generatör ve rotoru sargılı senkron generatör olmak üzere çeşitli yapılarda imal edilirler.

Kontrol sistemi: Türbinlerin, saatte, 3 ile 5 m/sn'lik rüzgâr hızlarında, dönme hareketini başlatan, bu hareketi yöneten ve saatte 120 m/sn'yi aşan yüksek hızlarda durduran beyin fonksiyonu icra eden kritik bir sistemdir. Türbinler fırtınalı havada ve özellikle saatte 120 m/sn'yi aşan rüzgâr hızlarında, jeneratörleri aşırı ısındığından çalıştırmazlar.

Rüzgâr yön sensörü: Rüzgâr yönünü ölçerek, değişimlere göre, yaw (kuyruk) motoru ile haberleşmeyi sağlayan, türbini rüzgâr yönüne taşıyan mekanizmadır.

Gövde: Rüzgâr türbininin dişli kutusunu ve jeneratör dahil ana parçalarını içine alan kısımdır. Türbin gövdesinden geçen kinetik enerji havanın ağırlığı ile orantılıdır. Dolayısı ile rüzgârdaki kinetik enerji havanın yoğunluğuna bağlıdır. Türbinden elde edilecek enerji miktarı, havanın ağırlığı arttıkça artar.

Yönlendirme mekanizması: Üç kanatlı türbinlerin rotorları, rüzgâra doğru yerleştirilir. Rüzgârın hız değişimine göre, rotor kafasını, rüzgâra dik tutacak tarzda ayarlayan mekanizmalardır, iki kanatlı rotorlar, kafalarını rüzgâr doğrultusuna ters yerleştrildiklerinden, kuyruk kontrol mekanizmasına ihtiyaç duymazlar.

Yönlendirme motoru: Kuyruk tahrik sistemini hareketlendiren motordur. Bu motorla, Rüzgâr hızı dizayn sınırlarını aştığı zaman rotor rüzgâr yönünün aksine çevrilir.

Kule: Yuvarlak veya kafes seklinde tasarlanan, çelikten yapılmış, tepe düzlemine türbin gövdesinin yerleştirilmesini sağlayan direklerdir.

Mekanik gövde yapısı olarak rüzgâr türbinleri, yatay eksenli ve düşey eksenli olmak üzere iki kısımda sınıflandırılır.

Yatay eksenli rüzgâr türbinleri; yer konumuna göre rotoru yatay eksende çalışan bu makineler daha geleneksel ve daha modern bir kullanımı sunarlar. Yatay eksenli makinelerin maksimum enerji tutabilmeleri için rotorları daima rüzgâr akış yönünde olmalıdır. Bu da rotorun kule üstünde dönmesi ile sağlanır. Bu türbinlerde, rotor, dişli çark, generatör ve fren bir kulenin üzerinde yatay şafta bağlanmışlardır.

Rüzgârın yönüne dönme hareketi iki değişik yapı ile sağlanır. Bunlar "öne-rüzgâr" ve "arkaya rüzgâr" olarak adlandırılırlar. Eğer kanat rüzgârı ön yüzünden alıyorsa rotorun arkasına bir kılavuz kanat takılır. Diğer şekilde ise kanat rüzgârı arka kısımdan alır veya kanatlar biraz konik yapılır. Böylece sistem rüzgârı takip ederek maksimum faydayı sağlar. Teknolojik ve ticari olarak en yaygın kullanılan türbinler, yatay ekenli rüzgâr türbinleridir.

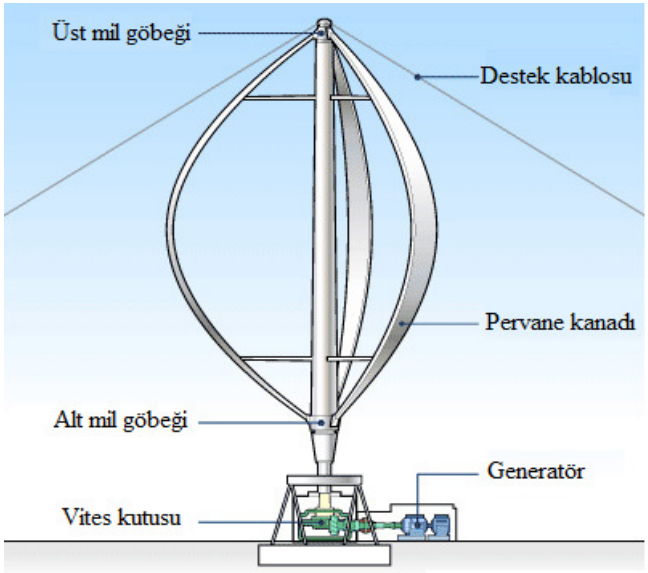
Modern rüzgâr türbinleri 2 veya 3 kanatlı ve kanat çapları yaklaşık 30 m'dir. Bunların eksenlerini rüzgârın doğrultusuna koşut olacak biçimde sürekli olarak yönlendirmek gerekir ki kanatlar sürekli rüzgâr etkisinde kalsın. Şekil 3.9'da üç kanatlı yatay eksenli rüzgâr türbinleri görülmektedir.



Şekil 3.9. Yatay eksenli rüzgâr türbinleri

Düşey eksenli rüzgâr türbinlerinin rüzgârı her yönden kabul edebilme üstünlüğünün olması yani rüzgâr doğrultusundan etkilenmediğinden, yönlendiriciye ihtiyaç yoktur. Bu türbinlerin bir diğer üstünlüğü ise makine aksamı, hız yükselticisi ve generatörün toprak üzerine konulabilmesinden dolayı yatırım ve bakım masrafları daha azdır. Kanatların güç üretebilmeleri rüzgârdan daha hızlı dönmelerini gerektirdiğinden, ilk harekete geçişlerinde elektrik motoruna ihtiyaç duymaktadır.

Türbin kanatları dizaynı nedeniyle verimleri düşüktür. Kanatları yere yakınlığı sonucu düşük rüzgâr hızına maruz kalması enerji üretimini azaltır. Verim düşüklüğü nedeniyle düşey eksenli rüzgâr türbinleri fazla uygulama alanı bulamamışlardır. Şekil 3.10'da düşey eksenli rüzgâr türbini görülmektedir.

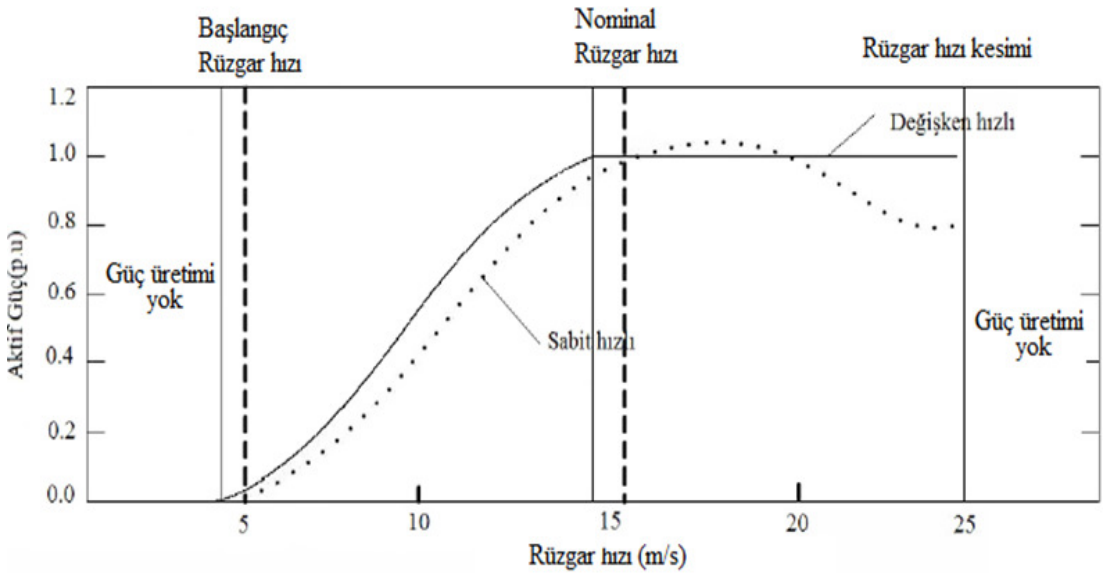


Şekil 3.10. Düşey eksenli rüzgâr türbini

İşletmelerde kullanılan rüzgâr enerji dönüşüm sistemlerinde sabit hızlı rüzgâr türbinleri ve değişken hızlı rüzgâr türbinleri kullanılmaktadır. Sabit hızlı rüzgâr türbinlerinde, türbin kanatları optimal rotor hızına yakın değerlerde işletmek için sabit aralıklı olarak dizayn edilirler. Rüzgâr arttığında, kanat aralık açısı artış yönünde harekete geçecektir. Bu durumda çıkış gücünü sınırlama ve rotor veriminin azaltılması neticesinde kararlı yani durağan çalışma bölgesine geçiş yapılır.

Değişken hızlı rüzgâr türbinlerinin etkili işletilebilmeleri için hız değişiklikleri ve kanat aralığı açı değişiklikleri yöntemleri vardır. Değişken hızlı rüzgâr türbinlerinin işletilmesinde diğer kontrol stratejilerde önemli rol oynamaktadır. Bunlar güç

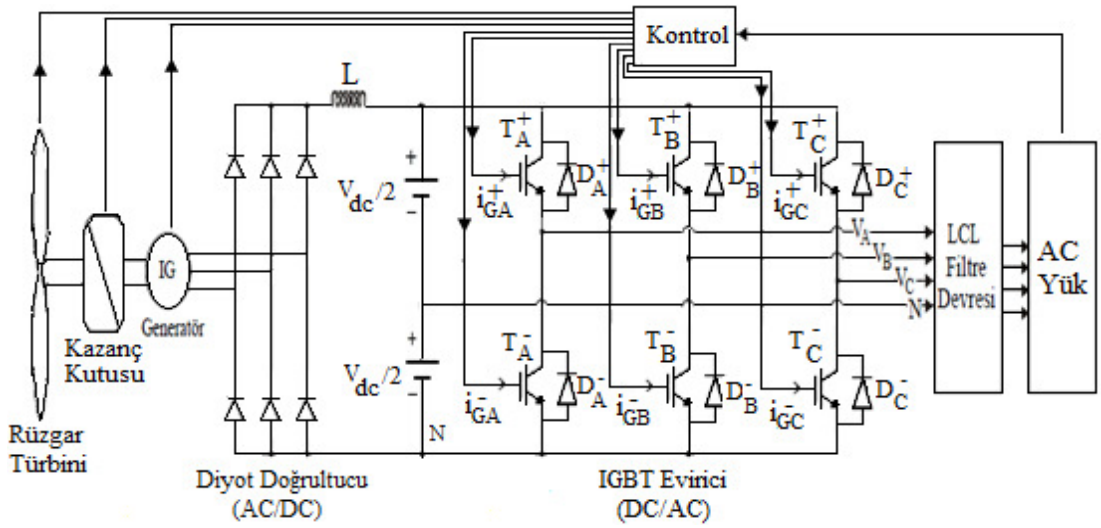
optimizasyon stratejisi ve güç sınırlama stratejisidir. Şekil 3.11'de sabit ve değişken hızlı rüzgâr türbininin hız-aktif güç karakteristik eğimi gösterilmektedir.



Şekil 3.11. Sabit ve değişken hızlı rüzgâr türbininin hız-aktif güç karakteristik eğimi

Şekil 3.11'de görüldüğü gibi değişken hızlı rüzgâr türbinlerinin sabit hızlı rüzgâr türbinlerine göre enerji yakalama oranı daha fazladır [31].

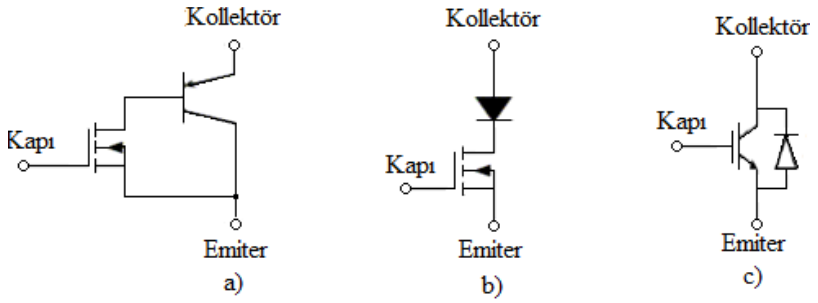
Rüzgâr türbinleri DC veya AC elektrik üretebilmelerine rağmen, küçük güçlerde türbinin ürettiği AC enerjinin önce doğrultulması ardından da eviriciler kullanılarak AC enerjiye dönüştürülmesi tercih edilen bir yöntemdir [32]. Şekil 3.12'de buna uygun model verilmiştir.



Şekil 3.12. Rüzgâr güç üretim sisteminde AC-DC-AC dönüşümü açık devre modeli

Şekil 3.12'de görüldüğü gibi rüzgâr türbinine bağlanan generatör çıkışı doğrultucu ve evirici güç dönüştürücü üzerinden yüke bağlanmıştır. Rüzgâr hızının değişken olması, çıkış gücü ve frekansın değişken olmasını sağlayacaktır. Kullanılan güç dönüştürücüleri ile frekans ve gerilim şebeke değerlerine uygun halde tutulmaktadır. Bu dönüştürme işleminde oluşan harmonikler için uygun filtre tasarımı ile tetikleme açılarının uygun ve uyumlu olması gerekmektedir.

Yalıtılmış kapılı iki kutuplu transistör (IGBT, Isolated Gate Bipolar Transistor) evirici, kapı sinyali kontrollü yarı iletken devre elemanıdır. Şekil 3.13'te görüldüğü gibi IGBT'nin emiter, kollektör ve kapı olmak üzere üç bağlantı ucu vardır. Kolektör-emiter gerilimi negatif olduğu durumda açık devre özelliğinde, pozitif veya sıfır olduğu durumda ise iletim özelliği göstermektedir.



Şekil 3.13. IGBT basitleştirilmiş eşdeğer devreleri

IGBT evirici, darbe genişlik modülasyonu (PWM, Pulse Width Modulation) anahtarlaması nedeniyle şebeke akım ve gerilim değerleri yüksek frekans harmonik bileşenleri içerir. Bu harmonik bileşenleri hassas veya duyarlı yüklerin işletilmesini olumsuz şekilde etkilemektedir. Tüketici ile gerilim kaynağı dönüştürücüsü arasına konulan bobin-kondansatör-bobin (LCL) filtre devresiyle yüksek frekans harmoniklerinin etkisi minimum düzeye çekilir. Hatta düşük değerdeki anahtarlama frekanslarındaki harmoniklerin etkisi de zayıflamış olmaktadır [57].

3.3.2. Güneş enerjili üretim sistemi

Güneş enerjisi; yakıt masrafı olmayan, işletme maliyeti düşük, enerji kaynağı tükenmeyen ve çevreyi kirletmeyen bir enerji türüdür. Ancak geniş kullanım alanlarına ihtiyaç duyulması, kullanılabilir enerjileri dönüştürme teknolojisinin henüz tam olarak yaygınlaşmaması, ilk yatırım maliyetinin yüksek olması ve gelen enerjinin kesikli ve değişken olması en önemli dezavantajlarıdır. Elektrik İşleri Etüt

İdaresi (EİE) verilerine göre Türkiye'nin toplam yıllık ortalama güneşlenme süresi 2640 saat, ortalama toplam ışınım şiddeti 1311 kWh/m^2-yıl'dır. Bu miktarın tamamından yararlanılması halinde, Türkiye'nin yıllık 190 milyar kWh'lik elektrik tüketimini karşılamak için sadece 144 km^2'lik bir alan yeterli olmaktadır. Bu alanın büyüklüğü 12 km x 12 km olarak, Türkiye'nin yüzölçümünün 1/5000'den daha azdır. Teorik düzeyde de olsa, bu çarpıcı rakamlardan, ülkemizin enerji sorununu çözmede güneş enerjisi teknolojilerinin ve uygulamalarının ne denli önemli olduğu anlaşılmaktadır [58]. Tablo 3.3'te yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı verilmiştir.

Tablo 3.3. Yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı

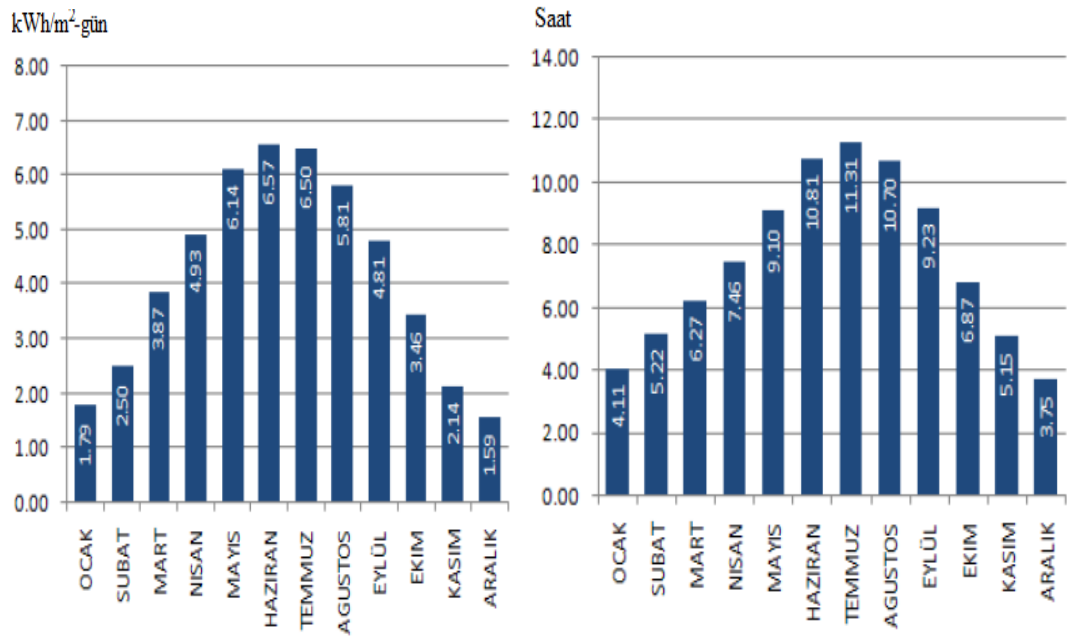
Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m^2-yıl)	Güneşlenme Süresi (Saat/yıl)
Güney Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

Tablo 3.3'te görülen EİE Genel Müdürlüğünün verilerine göre, yıllık en fazla güneş enerjisi potansiyeli, Güney Doğu Anadolu Bölgesindedir. En az güneş enerjisi potansiyeline sahip bölge ise Karadeniz Bölgesidir.

Yeryüzüne gelen güneş ışığından ısı ve elektrik üreten güneş enerjisi teknolojileri; tasarım, uygulama alanı ve teknoloji düzeyi bakımından büyük çeşitlilik göstermekle birlikte, esas olarak FV ve termal sistem teknolojileri olarak ikiye ayrılır.

FV sistemler, güneş ışınlarından yararlanarak doğrudan elektrik üretimini mümkün kılarken; termal sistemler, güneş ışınları ile doğrudan ısı üretimini (eğer arzu edilirse, arada uygun bir termodinamik çevrim kullanılmak suretiyle elektrik üretimini de) mümkün kılarlar. Bu tez çalışmasında, sadece FV enerji sistemleri kullanılmıştır.

Türkiye'nin yıllık global radyasyon (ışınım) değerleri ve güneşlenme süreleri Şekil 3.14'te görülmektedir [58].



(a) (b)

Şekil 3.14. a) Global radyasyon (ışınım) değerleri, b) güneşlenme süreleri

Şekil 3.14'te görüldüğü gibi yaz aylarındaki ışınım değerleri ve güneşlenme süreleri, diğer aylara göre daha yüksek olmaktadır. Yıllık ortalama ışınım değerleri 3,6 kWh/m^2-gün ve ortalama güneşlenme süresi 7,2 saat olmuştur.

3.3.2.1. Fotovoltaik sistemler

Işıktan elektrik enerjisi elde etmek yani fotovoltaik olay Becguerel tarafından 1839 yılında, bir elektrolit içine batırılan elektrotlardan biri üzerine ışık düşürüldüğünde bunlar arasında bir potansiyel farkının meydana geldiğini gözlemesinden beridir bilinmesine karşın, ilk modern fotovoltaik hücrenin yapımı ancak 1954'de Amerika Birleşik Devletleri'nin Bell laboratuarı'nda %6 verimle gerçekleştirilmiştir [59]. FV sistemlerin verimleri diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının verimlerine göre düşük olmasına rağmen; güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürebilmeleri, yapılarının ve tasarımının basit olması, çevreyi kirletmemeleri gibi avantajlarından dolayı FV sistemler daha fazla ilgi görmektedir [60].

FV sistemler, DC gerilim ürettiğinden dolayı elektrikle çalışan uygun güç ve gerilimdeki her türlü alıcı doğrudan veya dönüştürücü yardımı ile beslenebilmektedir. FV panel teknolojisi, şebekeden bağımsız ve şebeke bağlantılı sistemler olarak uygulanmaktadır. Şebekeden bağımsız sistemleri, küçük güçlü

otonom uygulamalar olan sokak yol aydınlatmaları, su pompalama sistemleri, sinyalizasyon sistemleri ile şebekeden uzak bölgelerde bulunan evsel uygulamalar oluşturmaktadır. Bu yapıda FV paneller ve batarya depolama sistemi bulunmaktadır.

FV panellerden alınan enerji doğrudan kullanılır veya bataryalarda depolanır, FV panel enerji üretmediğinde ise bataryalardaki depolanan enerji kullanılmaktadır. Fotovoltaik sistemler, güneş enerjisinden etkin olarak yararlanmada genelde elektrik enerjisi üretiminde kullanılan ve FV modül, batarya, evirici, şarj denetim birimleri gibi bileşenlerden oluşan sistemlerdir [61].

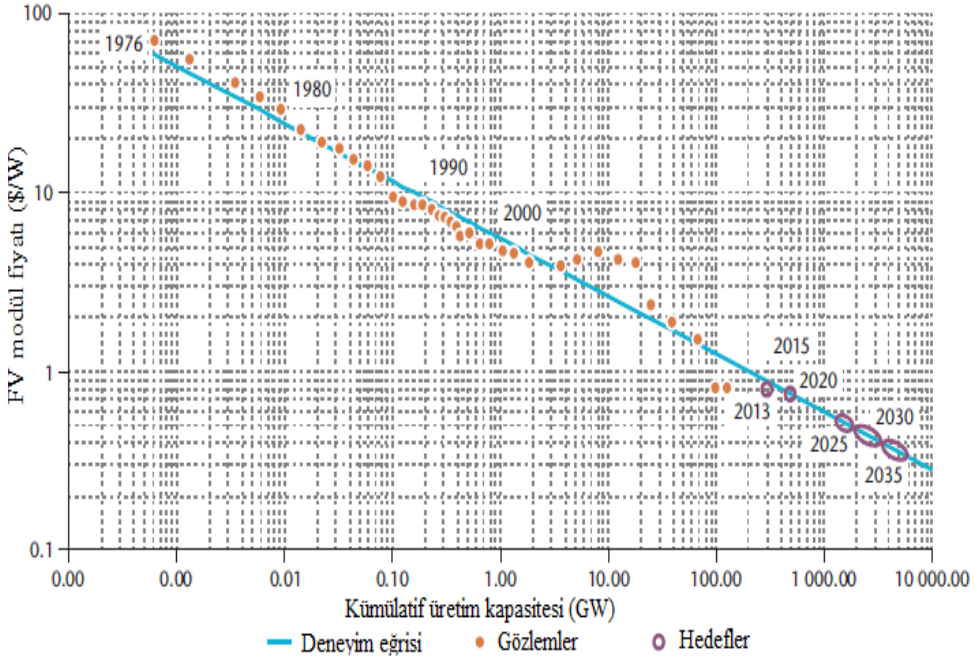
FV panel enerji, çevreye olumsuz etkisinin olmaması, sessiz çalışması, az bakım gerektirmesi gibi avantajlarıyla, özellikle şebekeden uzak bölgelerde enerji ihtiyacının karşılanması için kullanılabilecek önemli alternatiflerden birisidir. FV enerjinin kullanımının gittikçe yaygınlaşması ve çeşitli hükümet politikaları ile desteklenmesi, ekonomik açıdan daha etkin hale gelmesini sağlamaktadır. FV enerjinin henüz çok yaygın kullanım alanı bulamamasındaki en önemli etkenler, düşük verimleri ve FV panel maliyetlerinin henüz istenen seviyelere düşmemiş olmasıdır [62].

European Photovoltaic Industry Association (EPIA)'nın verilerine göre, dünya genelinde 2011 yılında 30,4 GW ve 2012 yılında ise 31,1GW FV sistem kurulmuştur. Küresel kurulu kapasite şartlarında FV sistemler, hidrolik ve rüzgâr gücünden sonra üçüncü en önemli yenilenebilir enerji kaynağı olmaya devam etmektedir [63].

FV piller (Güneş pilleri), güneş ışınlarını doğrudan elektriğe çeviren ve FV modülleri oluşturan cihazlardır. Işınların doğrudan elektriğe çevrimi üç ayrı cihazla olmaktadır. Bunlar; fotoemissif selüller, fotorezistans selüller, yarı iletken güneş pilleridir [32]. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire biçiminde olup alanları 100 cm^2 civarında, kalınlıkları 0,2 veya 0,4 mm civarındadır. Güneş enerjisi; güneş pilinin yapısına bağlı olarak %5 ile %20 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir.

Günümüzde FV modül/panel üretim teknolojileri; kristal silikon, ince film, yoğunlaştırıcı(odaklamalı) ve organik olmak üzere 4 temel başlıkta incelenebilmektedir. FV hücre ve modül fiyatları 2008'de 4$/W'tan 2012'de

0,8$/W'a hızlı ve kararlı şekilde düşmüştür. 2008 yılındaki fiyatlar, kristal silikon teknolojisindeki sıkıntıdan dolayı beklenenden daha yüksek çıkmıştır. 2012 ve 2013 yıllarında en düşük piyasa fiyatları, geri dönüşüm yatırım maliyetleri dahil tam maliyetlerin altında olmuştur [64]. Şekil 3.15'te FV modülün geçmiş ve 2035 hedefi için fiyatlarını gösteren grafik görülmektedir.



Şekil 3.15. FV modülün geçmiş ve 2035 hedefi için fiyatları [64]

Şekil 3.15'te görüldüğü FV modül fiyatları 1976 yılından günümüze kadar sürekli azalmıştır. Teknolojideki gelişmelere paralel olarak günümüzden 2035 yılına kadar belirlenen hedeflere göre fiyatların sürekli düşeceği yönündedir.

FV modüllerin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

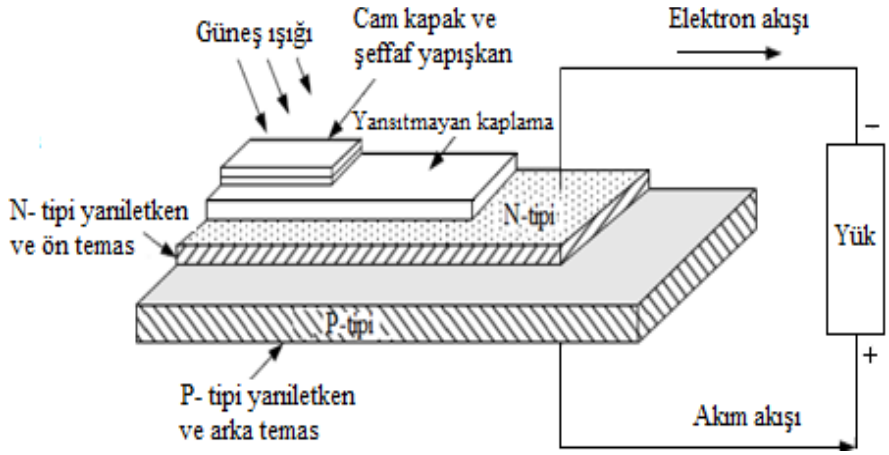
- Yakıt maliyeti yok, hemen hemen her yerde kullanılabilir.
- Hareketli parçası yok, son derece düşük bakım ve uzun ömürlü sistemdir.
- Emisyon ve gürültü yoktur.
- Tepe yük azatlımı için uygundur.
- Güvenilir teknoloji ve basit kuruluma sahiptir.
- İzlenmeden geniş zaman aralığında çalıştırılabilir.
- Çoğu yerlerde öngörülebilir güç çıkışı vardır.
- Sessiz ve rahatsız etmeyecek şekilde çalışır.

FV modüllerin dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Geniş alan gereklidir.
- Temel yüklere uygun değildir.
- Depolamasız yedek güç kullanımına uygun değildir.
- Güneş panellerin ilk maliyeti yüksektir.
- Güç çıkışı bazı alanlarda değişken olabilir.
- İyi güneş ışınlarına maruz gerektirir (gölgeli alan uygulamaları için değil).

3.3.2.2. Fotovoltaik pil modeli

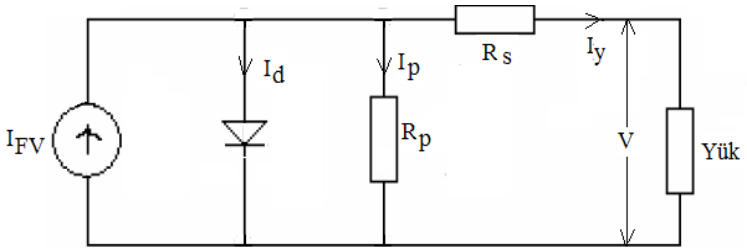
FV pilin elektrik üretimi bir akım kaynağı olarak sembolize edilir. Hücre üzerine düşen ışınımlar artıkça elektrik akımı da artmaktadır. Fotovoltaik hücrenin gövdesi yarı iletken malzeme olması nedeniyle diyotla modellenmiştir. Şekil 3.16'da FV bir hücrenin şematik blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 3.16. FV bir hücrenin şematik blok diyagramı

Tüm FV piller benzer şekilde çalışır. N-tipi yarıiletken ile P-tipi yarıiletken malzeme birleştirildiğinde eklem bölgesinde elektrik alan oluşumu ortaya çıkar. Elektrik alan, diyot davranışı göstererek elektronların N-tipi yarıiletken malzemeden P-tipi yarıiletken malzemeye geçişine engel olurken, ters yönde geçişi engellemezler. Işık, eklem tarafından emildiğinde, emilen fotonların enerjisi, malzemedeki elektron sistemine transfer edilir ve hareketli elektronlar ve delikler oluşur. Bunlar eklem bölgesinde bir potansiyel fark meydana getirip elektrik alan altında hızlanarak dış devre boyunca akım akışı sağlarlar ve DC güç meydana getirirler.

FV pilin elektronik davranışının anlaşılması için, davranışları iyi bilinen ayrık elektriksel bileşenler kullanılarak elektriksel eşdeğer devresinin elde edilmesi gerekir. İdeal bir FV pil, Şekil 3.17'de görüldüğü gibi bir diyot ve paralel bir akım kaynağı kullanılarak modellenebilir. Jonksiyonda üretilen enerjinin panele iletilmesi sırasında oluşan kayıplar seri dirençle gösterilir.



Şekil 3.17. FV pil elektriksel eşdeğer devresi

FV pilin akım-gerilim (I-V) karekteristik eşitlikleri Şekil 3.17'deki eşdeğer devreden Denklem (3.7) ve (3.8) gibi yazılabilir. Devrede kullanılan diyodun görevi; kaynak üzerinden geçebilecek ters akımları önlemektir.

$$I_D=I_0.\left(e^{\frac{q(V+IR_s)}{kT_h}}-1\right) \tag{3.7}$$

$$I_y=I_{FV}-I_0.\left(e^{\frac{q(V+IR_s)}{kT_h}}-1\right)-\frac{V+IR_s}{R_p} \tag{3.8}$$

Burada;

I_{FV} : Güneş tarafından üretilen elektrik akımı (A)

I_D : Diyot akımı (A)

R_p : Paralel direnç (Ω)

I_p : Paralel direnç akımı (A)

R_s : Seri direnç (Ω)

I_y : Yük akımı (A)

V_{FV} : FV pil çıkış gerilimi (V)

q : Elektron yükü ($1,6x10^{-19}$ C)

K : Bolztman sabiti ($1,3806503\ e^{-23}$ J/K)

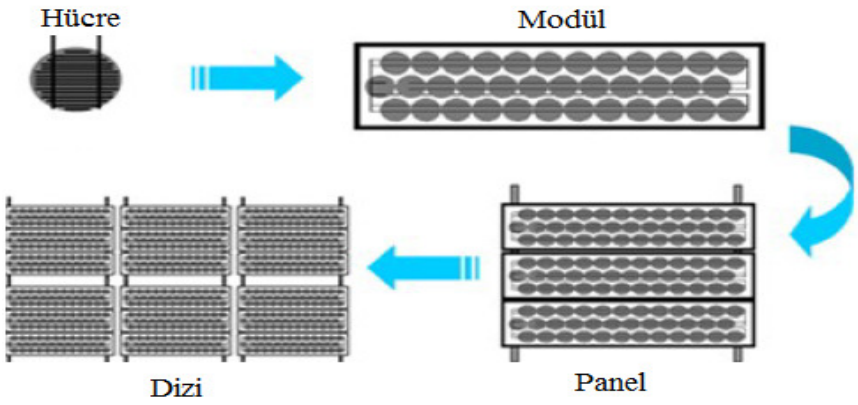
T_h : Hücre sıcaklığı (K)

I_0 : Diyot doyum akımı (A)

olarak ifade edilir.

Tipik bir FV hücre, 2W'tan daha az güç ve yaklaşık 0,5V DC gerilim oluşturur. Çok sayıda FV hücre, birbirleriyle seri-parallel bağlanarak modül oluşur, böylece güç çıkışı artırılabilir.

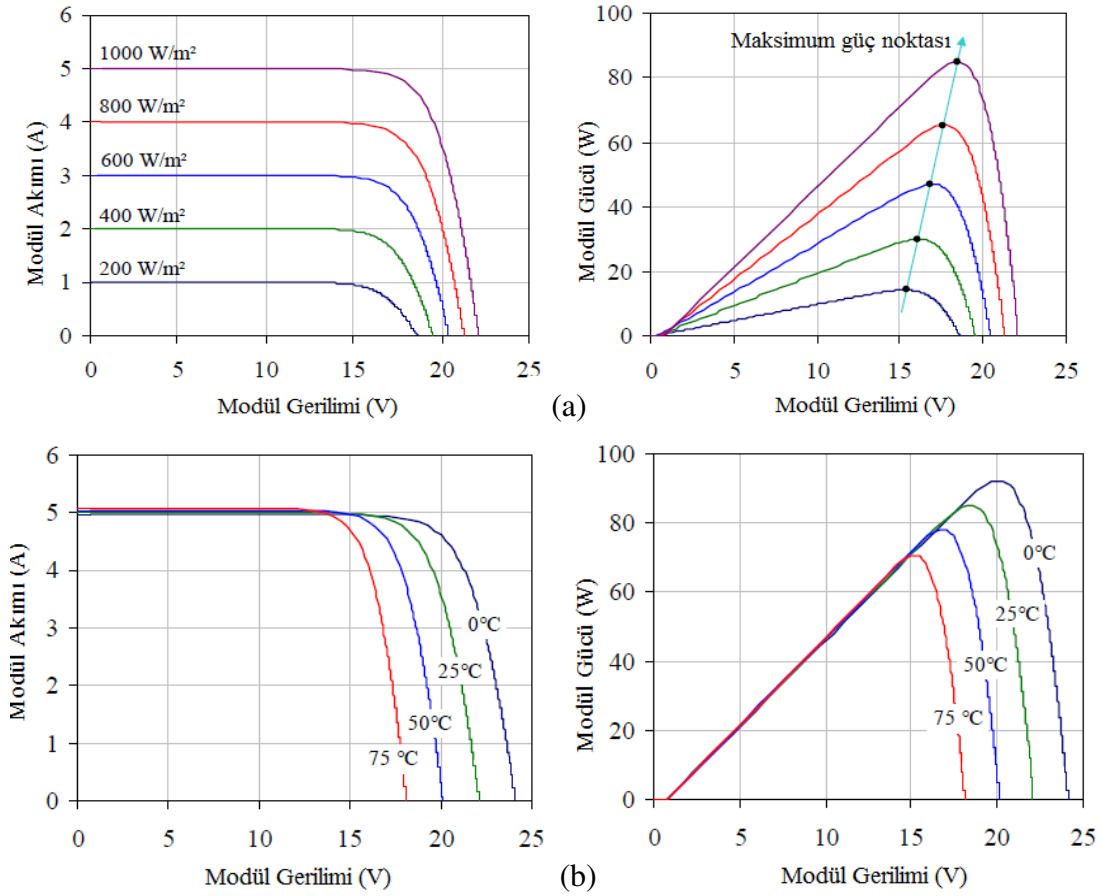
Güç talebine bağlı olarak modüller birbirleriyle seri-parallel bağlanarak fotovoltaik panel oluşturulur. Paneller de birbirleriyle seri-parallel bağlanarak fotovoltaik dizi meydana gelir. Böylece güneş enerjisinden bir kaç wattan, megawatt'lara kadar sistem oluşturulur. Şekil 3.18'de FV bir sistemin hücre- modül- panel- dizi oluşumu görülmektedir.



Şekil 3.18. FV hücre – modül – panel - dizi oluşumu

Güneş ışınımında tüm yıl boyunca optimum yaralanabilmek için, güneşi doğuşundan batışına kadar maksimum şartlarda görmek gerekir. Herhangi bir modülün akım çıkışı, üzerine gelen güneş ışıması ile doğru orantılıdır. Daha fazla güneş ışığı, daha fazla elektrik enerjisi demektir.

Örnek olarak, yüksek verimli mono kristal yapılı bir FV modül için Şekil 3.19(a)'da 25 °C hücre sıcaklığında ve güneş ışımasının farklı değerlerindeki modül gerilimi-modül akımı ile modül gerilimi- modül gücü ilişkileri verilmiştir. Şekil 3.19(b)'de ise güneş ışımasının 1000 W/m^2 değerinde ve modül sıcaklığının farklı değerlerindeki modül gerilimi-akımı ile modül gerilimi-gücü ilişkileri verilmiştir. Şekil 3.19(a)'da görüldüğü gibi FV modülün verdigi akım, yüzeyine gelen güneş ışınımı şiddetine ve yüzey sıcaklığına bağlı olarak değişir. Güneş ışıması arttıkça modül akımı ve gücü doğrusal olarak artmaktadır. Şekil 3.19(b)'de ise aynı güneş ışımasında (1000W/m^2) modül sıcaklığı arttıkça, modül gerilimi ve modül gücü azalmaktadır.



Şekil 3.19. Monokristal bir FV modül için akım - gerilim ve gerilim-güç ilişkileri a) Güneş ışımasının etkisi hücre sıcaklığı 25 °C), b) Hücre sıcaklığının etkisi (güneş ışıması E_0= 1000W/m^2) [47]

Şekil 3.19(a)'da görüldüğü gibi FV modülün verdigi akım, yüzeyine gelen güneş ışınımı şiddetine ve yüzey sıcaklığına bağlı olarak değişir. Güneş ışıması arttıkça modül akımı ve gücü doğrusal olarak artmaktadır. Şekil 3.19(b)'de ise aynı güneş ışımasında (1000W/m^2) modül sıcaklığı arttıkça, modül gerilimi ve modül gücü azalmaktadır.

3.3.2.3. Maksimum güç noktası izleyicisi

FV panelden üretilen gücün, yüke sürekli olarak en yüksek seviyede verilmesi maksimum güç noktası izleyicisi (MPPT, Maximum Power Point Tracking) olarak tanımlanabilir. FV panellerinin verimleri yaklaşık %13 civarında düşük bir değerde olduğu bilinmektedir. Modülleri değişken yükler altında maksimum verimle kullanabilmek için Şekil 3.19(a)'daki gerilim - güç grafiğinde gösterilen maksimum güç noktalarının değişken sıcaklık ve güneşlenme değerlerinde takip edilmesi

gerekmektedir. Böylece FV panelinin verimi sürekli olarak en yüksek seviyede tutulabilir. Maksimum güç transferi teorisine göre, kaynak ve yük empedansları eşit olduğunda yüke maksimum güç aktarılır. Böylece anahtarlamalı dönüştürücünün empedansı anahtarlama darbe boşluk oranı ayarlanarak güneş paneli empedansı ile eşit yapıldığında maksimum güç noktasında çalışma şartı sağlanmaktadır. Maksimum güç takibi için yükseltici veya alçaltıcı DC/DC dönüştürücüler kullanılmaktadır. Dönüştürücülerin anahtarlama oranında yapılacak olan değişiklik yükün empedansına etki etmekte ve anahtarlama oranları değiştirilerek yüke maksimum güç transferi işlemi gerçekleştirilmektedir. DC/DC dönüştürücünün anahtarlama oranını değiştirerek maksimum güç noktası takip işleminde dirençteki degişiklik gücün tepe noktasındaki değişime karşılık gelir. FV panellerin maksimum güç noktasını yakalamak için birçok yöntem vardır. Yaygın olarak kullanılan bu yöntemler;

- Sabit gerilim metodu
- Sabit akım metodu
- Kısa devre akım metodu
- Açık gerilim metodu
- Saptır-gözle metodu
- Artan iletkenlik metodu

Sıcaklık metodu'dur [65].

3.3.2.4. Panel verimini etkileyen faktörler

Yarı iletken pillerin verimini etkileyen etkenler, doğal etkenler ve teknolojik etkenler olmak üzere iki grupta toplanabilir [32].

1. Doğal Etkenler

- Tam olmayan soğurma
- Foton enerjisinin tamamının elektron hol çiftinin oluşturulmasında kullanılmaması
- Eğri etkeni
- Güneş pilinin sıcaklığı
- Yüzey kirlenmesi

2. Teknolojik Etkenler

- Güneş pilinin iç seri direncinden ileri gelen kayıplar
- FV güneş pili üzerindeki yansıma kayıpları
- Toplama kayıplar
- Güneş pilinin kalınlığı

FV üretiminde meydana gelen kayıplar, gerçek güç çıkışını hesaplamada hesaba alınmalıdır. Böylece FV modüllerin net verimi elde edilebilir.

FV pil üzerindeki yansıma kayıpları: FV üzerine güneş ışının geliş açısı dikey doğrultudan farklı olduğunda yansıma kayıpları oluşur. Yansıma kayıpları materyalden materyale göre degişmektedir. Silisyum için yansıma katsayısı oldukça düsüktür. Bu yansıma kayıpları FV yüzeyinin yansıma önleyici tabaka ile kapalanmasıyla azaltılabilir. Aynı zamanda bu tabaka, FV pil yüzeyini çesitli dıs etkilerden de korur. Yansıma önleyici tabaka'da kullanılan maddeler saydam maddeler olup, buharlastırma, kimyasal çöktürme ve oksitleme yolu ile yapılır.

Spektral kayıplar: Güneş ışıması geniş spektral dağılımı ile karakterize edilir. Çünkü gündüzleri hava yığın değerleri değişir. Güneş ışını son derece farklı enerjili fotonlar içerir. Fotonlar ile bant aralığı enerjisinden daha küçük enerji emilemez ve bu yüzden kullanılamaz. Fotonlar ile bant aralığı enerjisinden daha büyük enerji durumunda, fotonun enerjisi ne olursa olsun sadece düşük miktarda enerjinin bant aralık enerjisine eşit olduğunda kullanışlıdır. Fazla enerji basitçe kristal kafes içinde dağıtılır.

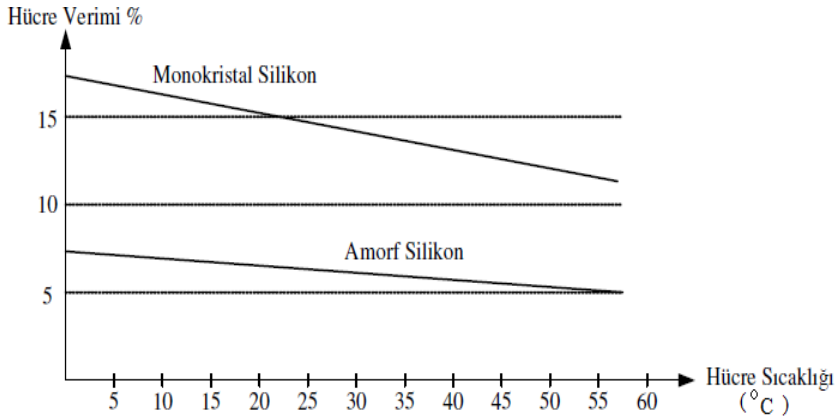
Uyumsuzluk kayıpları: Aynı üreticilerin ve aynı tip FV modüllerinin akım-gerilim (I-V) karakteristiği birbirinden farklı olabilir. Satıcıların bilgisine göre standart test şartları altında maksimum güç noktası veri özelliklerinden %10 sapabilir. FV üretiminde seri ve paralel bağlanan modüllerin farklı I-V özellikleri, uyumszluk denilen güç kayıpları oluşturur. Örnek olarak 36 adet özdeş modülün uyumsuzluk kayıpları için üreticilerin parametreleri ile hesaplama sonucu elde edilen veriler karşılaştırıldığında yaklaşık %3 uyumsuzluk kaybı olduğu görülmüştür [66].

Gölgeleme Kayıpları: FV üretiminin, özellikle maksimum çıkış gücü değeri, fill faktörü ve FV güç üretiminin verimliliği gibi özellikleri kısmi gölgelemeden

etkilenir. Bu nedenle verimli güç üretiminde, FV sistemin çalışması sırasında kısmi gölgelemenin önüne geçmek için uygun bir alan seçmek çok önemlidir.

Harici Kayıplar: Gerçek bir sistemde FV generatör çıkış gücü ve giriş gücü, güç ayarlama birimine tamamen eşit değildir. Bu giriş gücünü hesaplamak için, iletken dirençleri ve engelleme diyotlarından dolayı oluşan gerilim düşümü kayıplara neden olur. Bağlantı kablolarının dirençlerinden kaynaklanan kayıplar, FV generatör kablolarının uzunluğuna ve çapına göre hesaplanmalıdır.

Güneş pilinin sıcaklığı: FV pilin sıcaklıgı verimin düsmesine neden olur. Şekil 3.20'de FV pil sıcaklığının verime olan etkisi görülmektedir.

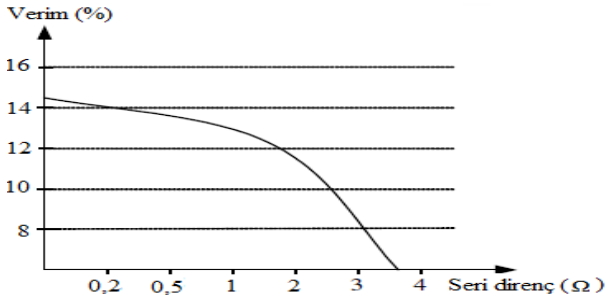


Şekil 3.20. FV pillerin sıcaklığının verime etkisi

Şekil 3.20'de görüldüğü gibi hem monokristal silikonlu hemde amorf silikonlu FV pilerin sıcaklığı arttıkça verimlerinin azaldığı görülmektedir. Sıcaklığı düşük olarak koruyabilmek için uzayda kullanılacak pillerin üzeri erimiş silikondan yapılmış şeffaf bir örtü ile kaplanır. Bu örtü çok katlı bir filtre özelligi gösterir ve mor ötesi ışınları pil yüzeyinden yansıtır.

Yüzey kirlenmesi: Modüllerin yüzeyindeki tozlanma ve kirlenmeler modül verimliliğini azaltmaktadır. Yapılan araştırmalar, kirlenme durumunda FV performansının %3,5 oranında düştüğünü göstermektedir. Bu nedenle kirlenmeyi önlemek için modülün eğim açısının yağmur sularının kolayca akabilmesini sağlamak için >20° olmalıdır. Modüller bina yüzeylerinde düşey olarak uygulandıklarında ise temizlenebilmeleri için açılabilir kanat seklinde düzenlenebilirler ya da hareketli yüzey temizleme aletleri ile temizlenebilirler.

Güneş pilinin iç seri direncinden ileri gelen kayıplar: Seri direnç, farklı tabakalardan geçen akımdan kaynaklanan bir dağılım olduğu kabul edilmektedir. İç seri direncinden dolayı akım gerilim karakteristik eğrisinde sapma meydana gelir. Seri dirençten ileri gelen kayıplar pil teknolojisinin gelişmesiyle giderilebilir. Şekil 3.21'de bir FV pil veriminin seri dirençle değişimi görülmektedir.

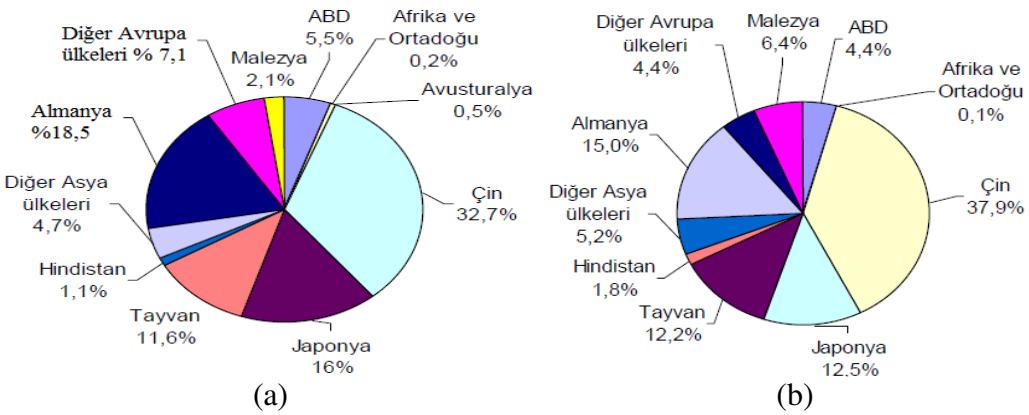


Şekil 3.21. Bir FV pilin veriminin seri dirençle değişimi

Şekil 3.21'de görüldüğü gibi FV pilin seri direnç değeri arttıkça verimi düşmektedir. Seri direnç değeri 4 Ω'a yaklaştığında verim eğrisi sıfır olmaktadır.

FV pilin kalınlığı: Fotovoltaik pilin kalınlığı da önemlidir. Pil kalınlığı küçüldüğü zaman geçirilmiş ışınlardan dolayı kayıp artar. Fotovoltaik pilin verimi azalır. Yaygın olarak kullanılan silisyum FV pillerinin kalınlığı 0,2 – 0,4 mm arasındadır.

Güneş açısı, sıcaklık gibi hava koşulları ve sistemin yükündeki değişimler, gerilim değerini değiştirir. FV sistemde kullanılan DC-DC dönüştürücü çıkış geriliminin, istenilen değerde sabit kalması ve bu değerde tutulması önemlidir. Şekil 3.22'de FV pil teknoloji üretimlerinin ülkelere göre dağılımı görülmektedir.

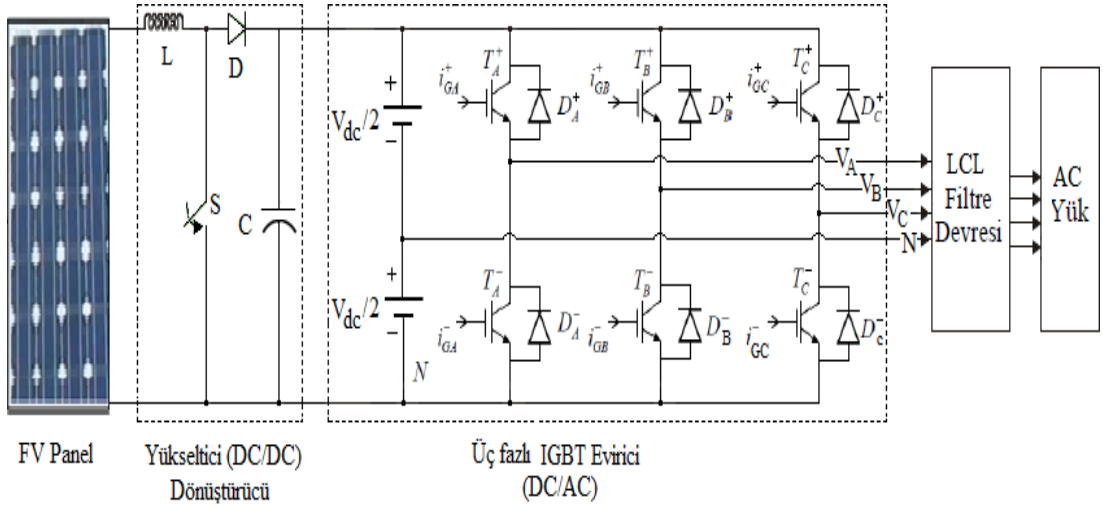


Şekil 3.22. FV hücre üretim miktarının (MWp) ülkelere göre dağılımı; a) 2008 yılı, b) 2009 yılı [67]

Şekil 3.22'de görüldüğü gibi Asya ülkelerinin 2008 yılında dünya FV piyasasında %64 olan hakimiyetleri 2009 yılında %76 oranına yükselmiştir. Almanya, Japonya ve Amerika gibi ülkelerin dünya pazarındaki 2009 yılındaki oranları, 2008 yılına göre azalmıştır. Tayvan ve Çin gibi ülkelerde ise üretim oranı artmıştır. Üretimlerde hakimiyet Asya ülkelerine doğru kaymaktadır.

Güneş pili modülleri uygulamaya bağlı olarak, bataryalar, eviriciler, batarya şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak oluşturulan güneş pili sistemleri, elektrik enerjisine ihtiyaç duyulan her uygulamada kullanılabilir. Bu sistemler, özellikle yerleşim yerlerinden uzak, elektrik şebekesi olamayan yerlerde, yakıt taşımanın pahalı olduğu durumlarda oldukça ekonomik olmaktadır [67].

Güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisinin tüketicilere ulaştırılmasında iletim hattıyla aynı gerilim ve frekansta ulaştırılması için dönüştürücü devrelerden faydalanılır. Şekil 3.23'te FV panelinden elde edilen elektrik enerjisinin yüke aktarılması aşamalarının açık devre modeli görülmektedir.



Şekil 3.23. FV paneli için açık devre modeli

Şekil 3.23'te görüldüğü gibi FV modülden elde edilen DC gerilim, eviricinin girişine uygulanması gereken DC gerilime yükseltici dönüştürücü ile yükseltilir. Elde edilen DC gerilim evirici'de istenilen AC gerilime dönüştürülerek iletim hattına ve gerilim harmoniklerini azaltmak için LCL filtre devresi üzerinden AC yüklere aktarılır.

3.3.3. Mikro hidroelektrik güç üretim sistemi

Yenilenebilir enerji kaynaklardan hidrolik enerji, uzun süredir yaygın olarak kullanılmaktadır. Hidroelektrik güç üretim sistemi, suyun potansiyel enerjisinin kullanılarak elektrik üretilmesi esasına dayanır. Barajlarda depolanan su, yüksekten akıtılarak türbine çarptırılır. Bununla birlikte türbin dönmeye başlar ve suyun potansiyel enerjisi bu türbinde mekanik enerjiye dönüşmüş olur. Bu mekanik enerji yardımıyla generatör mili döndürülerek generatörden gerilim üretilir. Hidroelektrik enerji, yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde rüzgâr ve güneş enerjisine nazaran sürekliliği, kararlılığı ve kontrol edilebilirliği en yüksek olan yenilenebilir enerji kaynağıdır. Gece, gündüz ve değişik iklim/doğa şartlarında sürekli enerji sağlayabilme özelliğine sahiptir.

Hidroelektrik santraller, baraj veya nehirlerden faydalanılarak elektrik üretimi gerçekleştirilir. Barajlar; elektrik üretimi, sulama, taşkınları önleme (su rejimini düzenler), balıkçılığı geliştirme, mesire yerleri sağlama, ağaçlandırmayı sağlama, turizmi geliştirme, ulaşımı kolaylaştırma ve su sporlarına imkan verme gibi alanlarda kullanılmaktadır. Hidroelektrik santrallerin avantaj ve dezavantajlarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür.

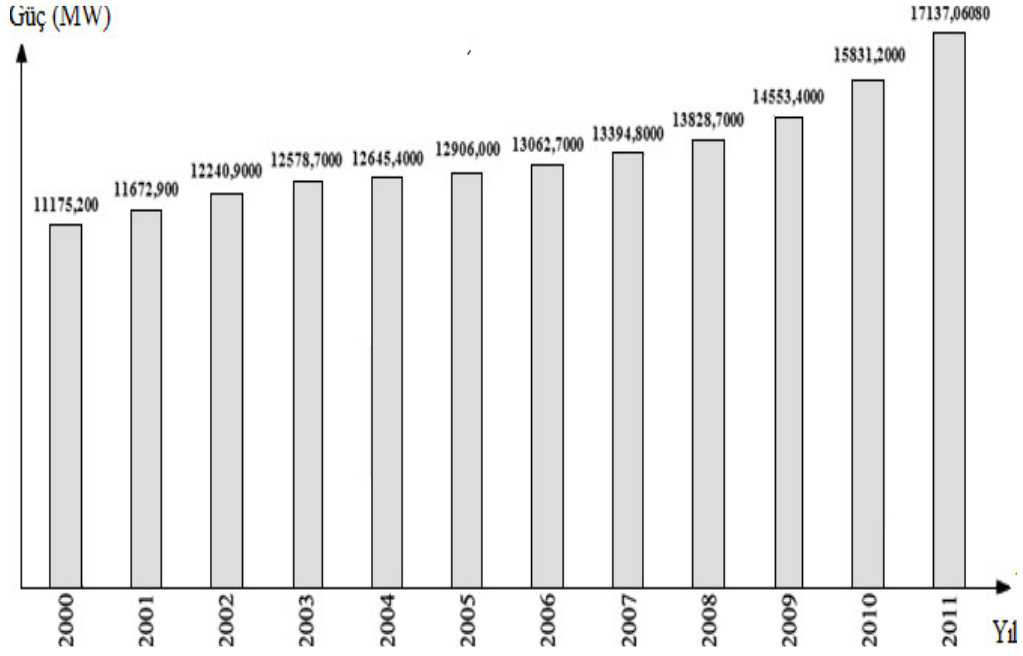
Avantajları;

- Temiz enerji kaynağıdır.
- Acil durumlarda hızla devreye alınır ve devreden çıkartılabilir.
- Doğal kaynaktır, dışa bağımlı değildir.
- Büyük kapasiteli santrallerde yapılan yatırım sadece enerji için değildir.
- Sulama ve taşkınları önlemede kullanılır.
- Özellikle kırsal bölgelerin yakıt bulma ve taşıma problemlerine çözüm getirir.
- Yakıtlı santrallere göre watt saat başına en düşük maliyetlidir.
- Genellikle yıl boyunca güç çıkışı tahmin edilebilir.
- Genellikle büyük kapasiteli batarya bankalarına ihtiyaç gerekmez.
- Sistem sessiz ve göze batmayan şekilde yapılabilir.
- Genel olarak bakımları kolay, ucuz ve hizmet süreleri ise uzundur.

Dezavantajları;

- Büyük kapasiteli ve barajlı hidroelektrik santrallerde toplam inşaat süresi uzundur (7-10 yıl).
- Yağışlardan olumsuz etkilenebilir.
- Su tutma gerekli ise ilk kurulum maliyeti yüksek olabilir.
- Kaynak yetersizliği nedeniyle bir çok yerde uygun değildir.
- Konum için özel teknoloji gereklidir.
- Genellikle su kaynağı önemli değişiklik gerektirir (nehir içindeki generatör tipleri hariç).
- Daha soğuk iklimlerde boru donma gibi durumlar problem olabilir.
- Hareketli parçalar zamanla yıpranıp ek maliyet getirmektedir.
- Büyük kapasiteli ve barajlı hidroelektrik santrallerde çevresel ve ekolojik kaygılar mevcuttur.

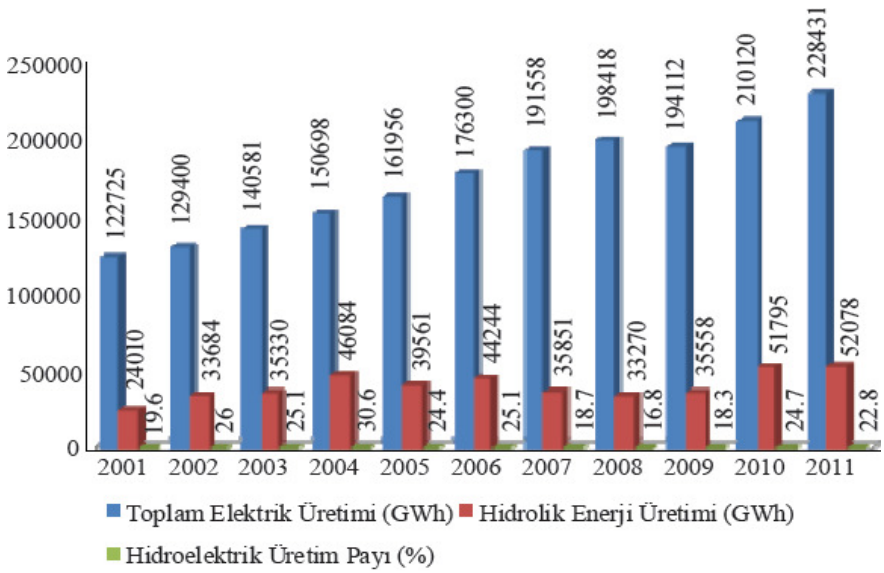
Ülkemizin 2000-2011 yılları arası hidroelektrik enerjinin kurulu gücü Şekil 3.24'te görülmektedir.



Şekil 3.24. Hidroelektrik enerji kurulu gücün yıllara göre değişimi [68]

Şekil 3.24'te görüldüğü gibi 2000 yılından 2011 yılına kadar her yıl kurulu güç değerinde belli bir oranda artış olmaktadır. 2000 ile 2011 yılları arasındaki artış, %53,34 oranında olmuştur.

Ülkemizin 2001-2011 yılları arasındaki hidroelektrik enerji üretimi ve hidroelektrik enerjinin toplam enerji üretimindeki payı Şekil 3.25'te görülmektedir.



Şekil 3.25. Hidrolik enerji üretimi ve hidrolik enerjinin toplam enerji üretimindeki payı [69]

Şekil 3.25'te görüldüğü gibi 2001 ile 2011 yılları arasında hidrolik enerji üretiminde en fazla artış, 2004 yılında % 11 oranında olmuştur. Ancak 2008 yılında %2,8 oranında azalma olmuştur. 10 yıllık süre sonunda %3,2 oranında artış olmuştur. Hidroelektrik santraller kapasitelerine göre Tablo 3.4'teki gibi sınıflandırılırlar.

Tablo 3.4. Hidroelektrik santral tipi ve kapasiteleri [70]

Santral tipi	Kapasitesi	Kullanım alanları
Pico hidroelektrik	Birkaç W- 5 kW	Müstakil ev
Mikro hidroelektrik	5 kW-100kW	Küçük topluluklar veya şebekeden uzak kırsal alanlarda
Mini hidroelektrik	100kW-1 MW	Hem bağımsız hem de şebeke beslemeli
Küçük hidroelektrik	1-15 MW	Genellikle besleme şebekelerinde
Orta hidroelektrik	15-100 MW	Genellikle besleme şebekelerinde
Büyük hidroelektrik	>100 MW	Geniş ulusal elektrik şebekelerinde

Ülkemizin yenilenebilir enerji potansiyeli içinde en önemli yeri tutan hidrolik kaynaklarımız bakımından incelendiğinde; teorik hidroelektrik potansiyel 433 milyar kWh, teknik olarak değerlendirilebilir potansiyel 216 milyar kWh olarak ve ekonomik hidroelektrik enerji potansiyel 140 milyar kWh/yıl'dır. Türkiye hidrolik enerji potansiyelinin % 37'lik kısmı işletmede, % 15'lik kısmı (özel teşebbüs

tarafından yapımı sürdürülen projeler dahil) ise inşa halindedir (2010 itibarıyla). Türkiye'nin teorik hidroelektrik potansiyeli dünya teorik potansiyelinin %1'i, ekonomik potansiyeli ise Avrupa ekonomik potansiyelinin %16'sıdır [10].

Bir su borusu veya kanalından, ya da akarsuların belirli bir kesitinden akan suyun m^3 olarak değerine debi denir. Q ile gösterilir, birimi m^3/s'dir. Birikmiş suyun düşmek yüksekliğine düşü denir. H ile gösterilir, birimi metre (m)'dir. Esas bir türbine benzer bir model türbinin 1 m düşüm yüksekliğinde ve en iyi verimde bir beygirlik gücü (BG) sağlamak için dönmek zorunda olduğu devir sayısına özgül devir sayısı denir. Bu sayı, türbin tipi seçiminde ve türbinleri birbirleriyle karşılaştırmada kullanılan en önemli büyüklük olup Denklem (3.9) ile hesaplanır.

$$n_s = n.\sqrt{P} / H^{5/4} \quad (3.9)$$

n_s : Özgül dönme sayısı (d/dk)
n : Türbinin dönme sayısı (d/dk)
H : Net düşü yüksekliği (m)
P : Tek grup adedine düşen güç (BG)

$$n = 60.f / p \quad (3.10)$$

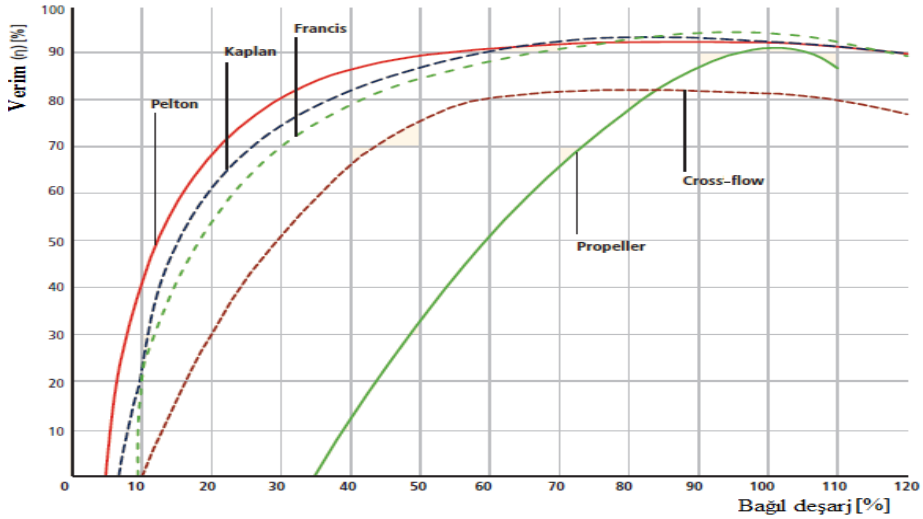
f : Şebeke frekansı (50 Hz)
p : Çift kutup sayısı

Hidroelektrik santrallerinde düşü yüksekliği ve özgül dönme sayılarına göre kullanılan türbin çeşitleri Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.5. Düşü yüksekliği ve özgül dönme sayılarına göre türbin çeşitleri [71]

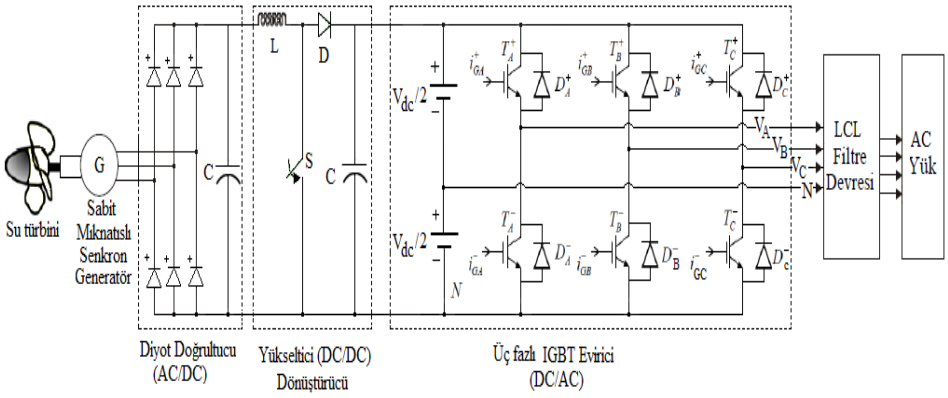
Türbin Tipi	Özgül Dönme Sayısı n_s(d/dk)	Düşüm Yüksekliği H (m)
Pelton	10-13 13-20 20-30	1800-1300 1300-550 550-300
Francis(Yavaş Dönen) (Normal Dönen) (Hızlı Dönen)	60-125 125-225 225-400	350-150 150-80 80-35
Kaplan	350-600 600-800 800-1000	35-18 18-12 12-5

Hidroelektrik santrallerde özellikle türbin gibi elektromekanik techizatların verimi, daha iyi tasarımı ve aynı zamanda konuma göre uygun türbin tipi seçilerek arttırılabilir. Şekil 3.26'da bağıl deşarja göre farklı tipteki su türbinlerinin verim değerleri görülmektedir.



Şekil 3.26. Farklı tipteki hidroelektrik su türbinleri için tipik verim değerleri [72]

Şekil 3.26'da görüldüğü gibi pelton, kaplan ve francis su türbinlerinin göreceli deşarjının % 60 ile % 100 olması durumunda verimleri % 90'ı geçmektedir. Aynı deşarj oranlarında cross-flow türbinin verimi %80 civarındadır. Propeller su türbininde bağıl deşarjın %35'inden sonra verim oluşmaya başlamakta ve bağıl deşarj %100 olduğunda verim %90'ın üzerine çıkmaktadır. Mikro hidroelektrik santralın ürettiği enerjinin yüke aktarılması aşamalarının detaylı modeli Şekil 3.27'de görülmektedir.



Şekil 3.27. Mikro hidroelektrik santral detaylı modeli [73]

Şekil 3.27'de görüldüğü gibi değişken hızlı su türbini doğrudan senkron generatöre bağlanmıştır. Senkron generatör değişken genlik ve frekansta çıkış gerilimi üretir. AC yüklerin istenilen besleme gerilimi (400 V) ve frekans (50 Hz) ihtiyaçlarını karşılamak için back-to-back AC/DC/AC güç dönüştürücü ara yüzeyi kullanılmıştır. Yani su türbininin bağlı olduğu senkron generatör çıkışında elde edilen değişken genlik ve frekanstaki AC gerilim öncellikle diyot doğrultucu devre ile DC gerilime dönüştürülmüştür. Evirici girişinde istenilen DC gerilimi elde etmek için yükseltici dönüştürücü (DC/DC) kullanılmıştır. Daha sonra evirici yardımıyla AC gerilim elde edilmiştir. Elde edilen AC gerilim, yüksek anahtarlama frekansıyla (4kHz) güç dönüşümünün gerçekleştirilmesi sırasında oluşan gerilim harmoniklerinin etkisini en aza indirmek için LCL filtre devresi üzerinden tüketiciye iletilmiştir.

3.3.4. Enerji depolama birimi

Enerji depolama teknolojilerinin geliştirilmesi, sistem ile ekipman düzeyinde gerilim düşmesi ve kesintiler gibi güç kalitesi problemlerinin çözümlerinde büyük önem taşımaktadır. Bununla birlikte enerji depolamanın; sistem verimliliğini arttırması, yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonuna olanak vermesi, şebeke kararlığını ve güvenirliğini arttırması, enerji güvenliğini arttırması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını arttırdığından dolayı sera gazı emisyonunu azaltması gibi faydaları vardır [74]. Depolama birimleri, küçük hibrit güç üretim sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Elektrik enerjisinin ucuz olarak doğrudan depolanması kolay olmamasına rağmen, ihtiyaç olduğunda elektrik enerjisine dönüştürüp kullanılmak üzere farklı formlarda depolanabilir. Enerjinin depolanması için geliştirilen başlıca teknolojiler; elektriksel, mekaniksel, kimyasal ve ısıl depolama teknolojileridir.

Elektriksel enerji depolama teknolojileri; güç kalitesinin iyileştirilmesinde, elektrikli araçlarda ve akıllı şebekelerde uygulama alanı bulmaktadırlar. Bunlar; kapasitörler, ultra kapasitörler ve süper iletken manyetik enerji depolama teknolojileridirler. Mekaniksel enerji depolama teknolojileri, potansiyel ve kinetik enerji olarak depolama yapmaktadırlar. Bunlar; volanlar, pompalı hidroelektrik depolama ve sıkıştırılmış hava ile enerji depolama teknolojileridirler. Kimyasal depolama teknolojileri bataryaların kullanımı sayesinde gerçekleştirilmektedir.

3.3.4.1. Kapasitörler

Elektrostatik formda depolanan enerjiyi, elektrik enerjisi olarak açığa çıkaran enerji depolama teknolojisidir. Bu cihazlar, özellikleri bozulmadan yüz binlerce defa şarj deşarj döngüsü yapabilmektedirler. Kapasitörler, öncellikle tüketicilerin küçük elektronik cihazları için kullanılmış, ancak giderek silah ve ticari elektrikli araçların güç temini için geliştirilmektedir. Şu anda, enerji yoğunluğunu artırmak araştırma hedefleri arasındadır.

3.3.4.2. Ultra kapasitörler/süper kapasitörler

Ultra kapasitör veya süper kapasitör olarak adlandırılan büyük kapasite değerine sahip kondansatörler günümüzde yeni bir enerji depolama elemanı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ultra kapasitör ile oluşturulan enerji depolama sistemi, enerji tamponu görevi dışında aynı zamanda şebekenin güç kalitesinin iyileştirilmesini de sağlamaktadır. Birkaç milisaniyeden birkaç dakikaya kadar yüksek güç deşarjı gerektiren tüm uygulamalar için, ultra kapasitör kullanımı uygun olmaktadır.

Ultra kapasitörler, oldukça yüksek güç yoğunlukları nedeniyle (18 kW/kg) çok kısa bir süre içinde güç sistemine yüzlerce hatta binlerce amper akım verebilmektedir. Böylece kısa sürede yüksek güç gerektiren güç kalitesi problemlerinin çözümünde önemli rol alabilmektedirler.

Ultra kapasitörler, kimyasal bir reaksiyon olmadan doğrudan elektriği depolayabildiklerinden çok kısa sürede şarj ve deşarj olabilmektedir. Piller, normal şarj durumunda birkaç saat, hızlı şarj durumunda ise birkaç on dakikada şarj olabilirken, ultra kapasitörler birkaç saniyede şarj olabilmektedir.

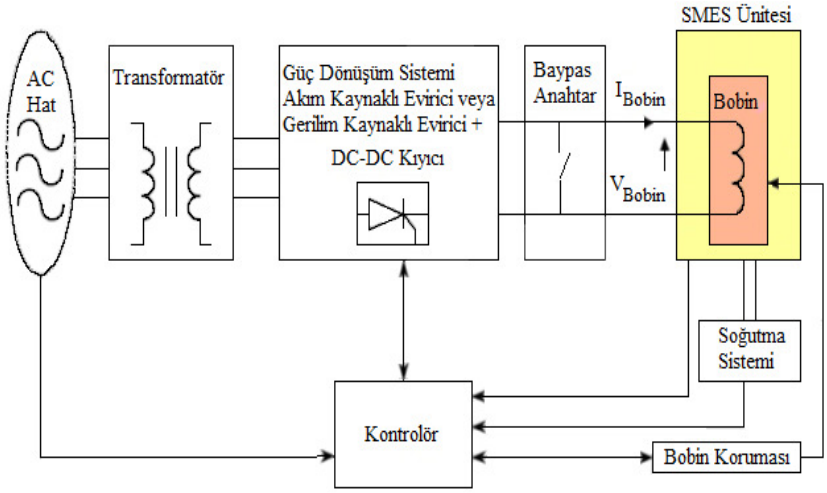
Bununla birlikte pillerin tersine ultra kapasitörler bakımsız olarak çok uzun ömürlü olabilmektedirler. Ayrıca normal kullanımda sıcaklık etkilenmeleri de oldukça düşüktür. Ultra kapasitör, -40 °C ile +85 °C arasında çalışabilmektedir. Ultra kapasitörlerin en önemli üstünlükleri, uzun işletim ömürleri, esnek gerilim düzeyi, yüksek akım gücü olarak sayılabilir. Ultra kapasitör uygulamalarının çok yüksek

hızla enerji depolama kapasiteleri ile güç kalitesi iyileştirmeye yönelik olarak aktif filtre uygulamalarında kullanımının artması da beklenmektedir.

Ultra kapasitörler, çok yüksek güçleri çok hızlı depolayıp geri verebildikleri için özellikle güç sistemlerinde meydana gelen gerilim çökmesi veya kısa süreli kesintiler gibi geçici durumların giderilmesinde önemli görevler alabilmektedir. Ayrıca kesintiler sırasında yaşanan geçişlerde gerilim kararlılığını sağlayabilmektedir [74].

3.3.4.3. Süperiletken manyetik enerji depolama (SMES, Superconducting Magnetic Energy Storage)

Süperiletken manyetik enerji depolama; en önemli enerji depolama tekniklerinden biridir. Bu teknolojilerde enerji, halka şeklinde sarılmış süperiletken tellerden oluşan bir bobinden oluşur. Üretilen fazla elektrik bu bobine verilir ve her an kullanıma hazır bir şekilde manyetik alan olarak depolanır. Sistemin verimi, %90 veya daha fazladır ve cevap süresi çok kısadır (milli saniye). Şekil 3.28'de tipik bir SMES sisteminin bileşenleri görülmektedir.

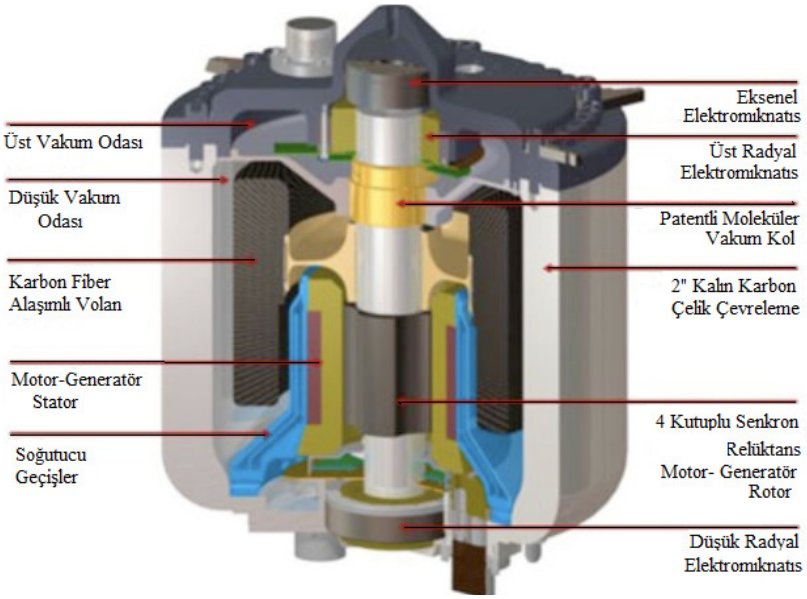


Şekil 3.28. Tipik bir SMES sistemi bileşenleri [74]

Depolanan enerji, bobin endüktansına ve akıma bağlı olup, deşarj edilerek sisteme her an geri verilebilir. Çıkışta bir evirici ile tekrar AC güç elde edilir. SMES' in uygulama alanlarının geniş olması (yük akışı, frekans kontrolü, sistem kararlılığı, enerji yönetimi gibi) ekolojik dengeye olumlu etkisi ve yüksek verimliliği göz önüne alındığında gelecekte enterkonnekte sistem içerisinde uygulama alanı bulabilecek önemli bir enerji üretim birimi olduğu söylenebilir.

3.3.4.4. Volanlar (Flywheels)

Volanlar; en eski enerji depolama teknolojilerinden biridir. Sistem enerjisini, yüksek devir sayısı ile dönen bir rotorun sağladığı atalet ile depolar. Sistemden enerji alındığında, enerjinin korunumu kanununa göre devir sayısı azalır. Tersi olarak da sisteme enerji verildiğinde devir sayısı artar. Devir sayısı yaklaşık 75000 devir/dakika'yı bulabilir. Kontrollü güç sağlamak, büyük güç etkileri meydana getirmek amacıyla; uzay, ulaşım, telekomünikasyon ve nükleer araştırma endüstrilerindeki güç sistemlerinde başarıyla kullanılmaktadırlar. Şekil 3.29'da volan enerji depolama ünitesinin kesit şeması görülmektedir.



Şekil 3.29. Volan enerji depolama ünitesinin kesit şeması [74]

Volan ile enerji depolama teknolojisi, bazı uygulamalarda kullanılsa da halen araştırma ve geliştirme aşamasındadır ve birkaç yıl sonra ticari olarak kullanıma hazır hale geleceği düşünülmektedir.

3.3.4.5. Bataryalar

Batarya, hemen hemen tüm elektrik sistemlerinde genişçe kullanılan kimyasal enerjiyi doğrudan elektrik enerjisine çeviren veya tersini yapan elektrokimysal cihazlardır. Bunlar, primer ve sekonder bataryalar olarak iki sınıfa ayrılırlar. Primer bataryalar, tekrar şarj edilemez ve kullanımları bitince atılırlar. Sekonder bataryalar ise bir elektrik kaynağı ile tekrar şarj edilebilme özelliğine sahiptir [75].

Batarya enerji depolama sistemleri; sistemin verimini, güvenilirliğini ve kontrolünü arttırarak sisteme yararlılık sağlar. Gelecekte batarya enerji depolama sistemleri, modern güç kaynağı sistemlerinin vazgeçilmez bir parçası olacaktır.

Mikro şebekelerde kullanılan enerji depolama teknolojileri; elektrik üretim ve dağıtım şirketleri, tesis işletmecileri ve elektrikli araç üreticileri için oldukça önemli bir ilgi alanıdır. Büyük miktarlarda enerjinin depo edilebilmesi elektrik şirketlerinin operasyonları için büyük bir esneklik sağlayabilir. Çünkü bu sayede, talep edilen enerjinin aynı anda üretilmesine gerek kalmaz [76].

Batarya depolama sistemlerinde, yaygın kullanım ve maliyetinin düşük olması nedeniyle kurşun asitli bataryalar tercih edilmekte ve böylece çeşitli ekonomik avantajlar oluşmaktadır. Batarya maliyetleri sistemin kurulum maliyetinin yanında ihmal edilecek kadar azdır. Ancak bataryanın bakımı, yenisiyle değiştirilmesi, sistem işletim maliyetlerinin önemli bir kısmını oluşturmaktadırlar. Uzun işletme sürelerinde maliyet önceki durumlara göre artmaktadır.

Tablo 3.6'da kurşun asitli bataryalar ile diğer bataryaların enerji ve güç yoğunluklarının karşılaştırılması verilmiştir. Kurşun asitli bataryaların enerji yoğunluklarının düşük olmasına rağmen, güç yoğunlukları diğer bataryalardan yüksektir.

Tablo 3.6. Bataryaların enerji ve güç yoğunluklarının karşılaştırılması [77]

Batarya Tipi	Enerji Yoğunluğu (Wh/kg)	Güç Yoğunluğu (W/kg)
Kurşun asit	35-40	75-300
Nikel kadmiyum	40-60	150-300
Nikel demir	50-70	70-150
Nikel metal hidrür	55-85	100-300
Çinko bromür	70-85	90-110
Sodyum nikel klorür	80-120	130-160
Lityum metal sülfit	100-130	150-250
Lityum polimer	155	100-315
Sodyum sülfür	150-240	90-230

Bataryalar seri bağlanarak gerilimleri, paralel bağlanarak akım kapasiteleri arttırılır. Batarya kapasitesini etkileyen faktörler aşağıdaki şekilde sıralanabilir [77];

- Aktif madde miktarı; pozitif aktif madde(PbO_2) ve negatif aktif madde (Pb) miktarları doğrudan bataryanın kapasitesini etkiler. Pratikte, teorik kütleden 3-6 kat daha fazla aktif madde batarya ömrünü uzatmak için kullanılır.

- Deşarj hızı; Kısa sürede yüksek enerji talebi gerektiğinde gerilim düşüşü hızlı olacağından alınan enerji miktarı da azalır. Asidin harcanarak azalması neticesinde iç direncin artması, PbO_2 yerine iletkenliği düşük olan $PbSO_4$ oluşması, gözenekli yapının $PbSO_4$ oluşumuyla tıkanması, plaka çevresindeki asit hızla harcanır ve bölgedeki konsantrasyonu azalır, asidin plakaya uzak bölgelerden taşınması asidin harcanma hızından daha düşüktür (konsantrasyon polarizasyonu) gibi sebepler gerilim düşümüne sebep olur.

- Plaka kalınlığı; plakaların kalın olması asit difüzyonunu engeller. Çünkü deşarj sırasında PbO_2 yerine $PbSO_4$ oluşmakta ve oluşan $PbSO_4$ asit difüzyonunu ve iletkenliği düşürmektedir.

- Asit yoğunluğu ve miktarına bağlıdır.

- Sıcaklık; sıcaklık arttıkça iç direnç azalacağından gerilim artar. Ancak sıcaklığın artması plakaların mekanik dayanımını azaltması nedeniyle istenmeyen bir durumdur.

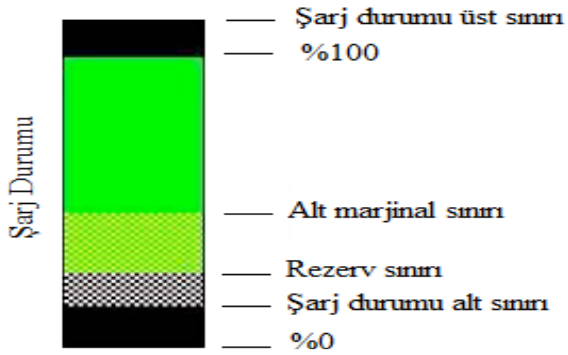
- Plaka malzemesi; plaka malzemesi, plaka gridlerinin kalınlığı ve bataryanın kendiliğinden deşarjına kadar bir çok yönde etkide bulunabilir. Örneğin Antimonun fazlalığı bataryanın kendiliğinden deşarjını arttırır, eksikliği ise plakanın mekanik dayanımını azaltır.

- Plakanın hazırlanması; plakaların geometrik şekli (tüp/ızgara) ve hazırlanışı (pastalama, kürleme vb.) batarya kapasitesini etkilemektedir.

- Plaka yüzey alanı; plakalarının toplam yüzey alanı bataryadan alınacak anlık enerji kapasitesine doğrudan etki etmektedir. Toplam plaka yüzey alanı arttıkça batarya kapasitesi artar.

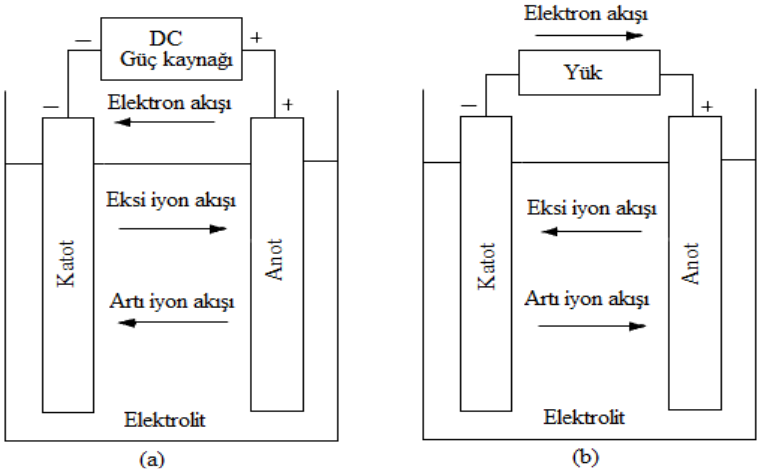
- Plakaların montajı; plakaların boyutları, kalınlık ve bağlantı şekilleri bataryanın kapasitesi üzerinde etkilidir.

Bataryalar, kararlı bir güç vermesi için yüklü (şarjlı) olması gerekmektedir. Kapalı alanlarda kurulu olduklarında hidrojen (H_2) ve oksijen (O_2) gibi tehlikeli gazlar üretebilmektedir. Diğer sistem bileşenleri ile karşılaştırıldığında kısa ömürlüdür. Bu özellikler, bataryaların dezavantajlarıdır. Şekil 3.30'da bataryanın şarj durumu sınırları görülmektedir.



Şekil 3.30. Batarya şarj durumu sınırları sınıflandırılması [78]

Bataryalar bir veya daha fazla seri halde 2 V'luk hücrelerden oluşmaktadır. Levhalardan oluşan her bir hücre elektrolit içersindedir. Levhalar arasında bir kimyasal reaksiyon deşarj olduğu zaman elektrolit bir elektrik enerjisi üretir. Bu kimyasal reaksiyon batarya şarj olana kadar devam eder. Bataryanın depolama kapasitesi verilen gerilim değerinde amper saat ile belirtilir. Örneğin depolama kapasitesi 200 amper-saat olarak verilen bataryadan bir saat için 200 amper akım elde edilmektedir. Bataryaların şarj ve deşarj olma durumlarındaki elektrokimyasal işlemlerini gösteren diyagramlar Şekil 3.31'de verilmiştir.



Şekil 3.31. Bir hücrenin elektrokimyasal işlemi a) şarj, b) deşarj [75]

Şekil 3.31'de görüldüğü gibi şarj ve deşarj durumunda iyon akışları birbirinin tersi yönündedir.

Batarya ve ultra kapasitörler hibrit sistemlerde birleşmiş faydaları olan tamamlayıcı teknolojilerdir. Her iki teknoloji karşılaştırıldığında dikkate alınan iki temel özelliği her bir cihazın enerji ve güç yoğunluğudur. Tablo 3.7'de her iki teknolojinin karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 3.7. Batarya ve ultrakapasitör karşılaştırılması [79]

	Ultrakapasitör	Batarya
Gerilim	2,7V/hücre	2V/hücre
Sıcaklık	-40^0C – $+65^0$C	-20^0C – $+50^0$C
Verim	0,85 – 0,98	0,7 – 0,85
Yaşam döngüsü	>500,000	1000
Güç yoğunluğu	<10,000 W/kg	<1000 W/kg
Enerji yoğunluğu	1 – 10 Wh/kg	10 – 100 Wh/kg
Şarj zamanı	0,3 – 30 s	1 – 5 h
Deşarj zamanı	0,3 – 30 s	0,3 – 3 h

Tablo 3.7'de görüldüğü gibi ultrakapasitör, bataryadan daha büyük güç yoğunluğuna ve daha kısa sürede daha fazla enerji sağlaması özelliğine sahiptir. Bunun tersine batarya ultrakapasitörle karşılaştırıldığında, daha uzun zamanda ve daha düşük güçler için daha yüksek enerji yoğunluğuna sahip olduğu görülmektedir.

Hibrit sistemde kullanılan batarya birimi; ayrı ayrı şarj ve deşarj durumu dikkate alınarak modellenmiştir. Deşarj durumu için bataryanın çıkış gerilimi Denklem (3.11)'deki gibi hesaplanabilir.

$$V_{bat}=E_b-I_{bat}.R_{dşrj}.\left[1-\exp\left(-\frac{t_b}{R_{dşrj}.C_{ov}}\right)\right] \tag{3.11}$$

V_{bat} : Batarya gerilimi (V)

E_b : Batarya açık devre gerilimi (V)

I_{bat} : Batarya akımı (A)

$R_{dşrj}$: Deşarj direnci (Ω)

t_b : Batarya dinamikleri ile ilgili örnekleme zamanı (dk)

C_{ov} : Batarya kutuplaşma kapasitesi (F)

Ayrıca şarj şartlarında batarya gerilimi, Denklem (3.12) ile değiştiği kabul edilir,

$$V_{bat}=E_b+I_{bat}.R_{şrj}.\left[1-\exp\left(-\frac{t_b}{R_{şrj}.C_{ov}}\right)\right] \quad (3.12)$$

$R_{şrj}$: Şarj direnci (Ω)

Bataryanın şarj durumu (BŞD) Denklem (3.13) ile hesaplanır.

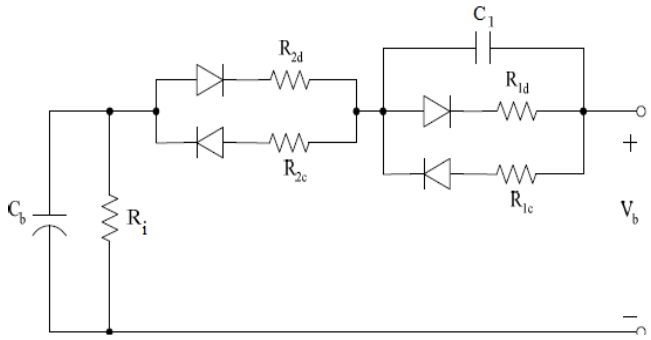
$$\%BŞD=\%BŞD_0-\left(\frac{1}{C_n}\int I_{bat}.dt\right)x100 \quad (3.13)$$

% BŞD : Bataryanın anlık şarj durumu (%)

% $BŞD_0$: Bataryanın ilk şarj durumu (%)

C_n : Batarya kapasitesi (Ah)

Bataryanın enerji depolama kapasitesi alternatif enerji sistemlerinin boyutlandırılmasında önemli bir faktördür. Bataryanın boyutu, gerekli olan enerji miktarına göre belirlenir. Bataryanın işletme ömrü 20 °C ortam sıcaklığında işletildiği sürece 5 ile 10 yıl arasında değişmektedir. Şekil 3.32'de kuşun asit batarya için basitleştirilmiş model görülmektedir.



Şekil 3.32. Batarya için eşdeğer devre modeli [1]

V_b : Batarya gerilimi (V)

C_b : Batarya kapasitansı (µF)

R_i : Kendi kendine deşarj veya izolasyon direnci (Ω)

R_{2c} : Şarj için iç direnç (Ω)

R_{2d} : Deşarj için iç direnç (Ω)

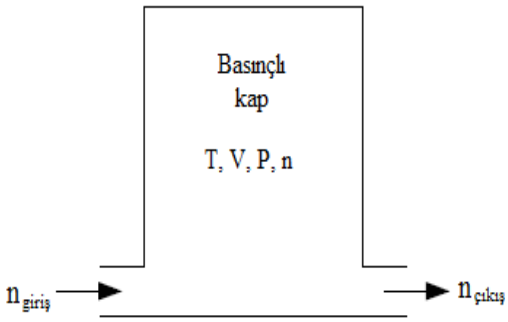
R_{1c} : Şarj için aşırı gerilim direnci (Ω)

R_{1d} : Deşarj için aşırı gerilim direnci (Ω)

C_1 : Aşırı gerilim kapasitansı (µF)

3.3.5. Yüksek basınçlı H_2 tankı

Şekil 3.33'te gösterilen yüksek basınçlı depolama tankı içindeki H_2 için ideal gaz denklemi basınç, hacim ve sıcaklık (P,V,T) arasındaki ilişkiyi tam olarak tarif etmez.



Şekil 3.33. Basınçlı H_2 depolama tankı

Bu durumda Denklem (3.14)'teki gibi geliştirilmiş Beattie-Bridgeman durum eşitliği kullanılmalıdır. Bu eşitlik ile, yüksek basınçlı gaz depolama tankında uygun basınç, hacim ve sıcaklık değerleri iyi doğrulukla başarılı olmuştur [1].

$$P_t=\frac{n_t^2 R_g T_{H_2}}{V_t^2}\left(1-\frac{c_n}{V_t T^3}\right).\left[\frac{V_t}{n_t}+B_0\left(1-\frac{b_n}{V_t}\right)\right]-\frac{A_0\left(1-\frac{a_n}{V_t}\right)n_t^2}{V_t^2} \qquad (3.14)$$

P_t : Tanktaki hidrojen basıncı (atm)

V_t : Tank hacmi (lt)

TH_2 : H_2 sıcaklığı (K)

n_t : Tanktaki H_2 mol sayısı

R_g : Gaz sabiti (0,08206 atm·litre/mol·K)

A_0, B_0, a, b, c gazın belirli tip sabitleridir. H_2 için bu değerler, Tablo 3.8'de verilmiştir.

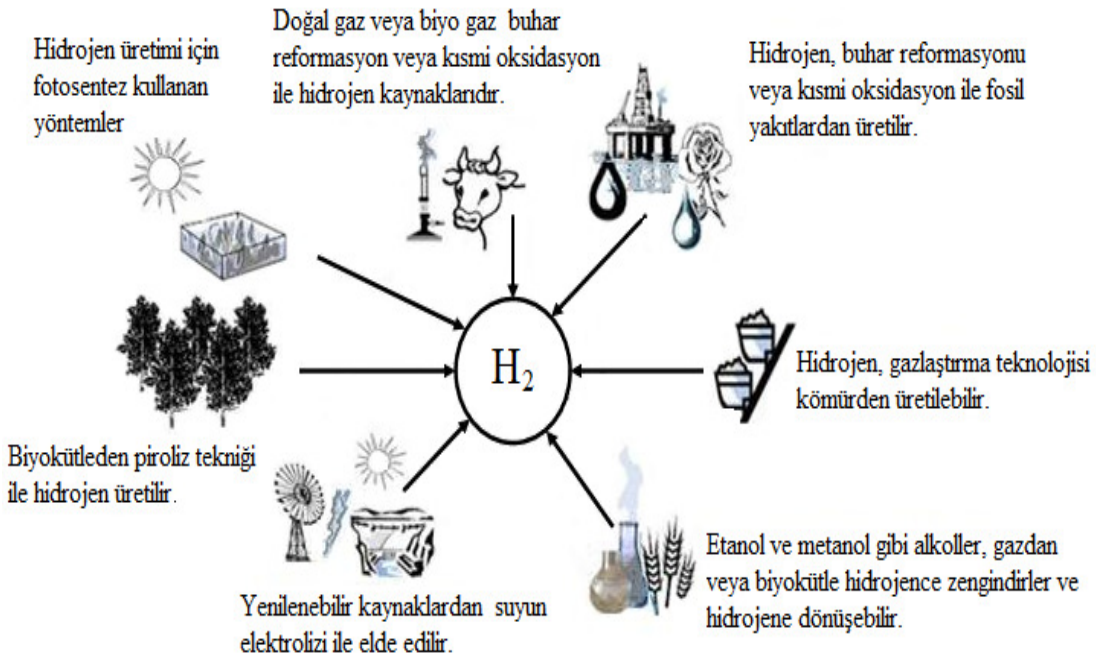
Tablo 3.8. H_2 için Beattie-Bridgeman eşitliğinin sabitleri [1]

A_0	0,1975 atm·lt^2/mol^2
B_0	0.02096 lt/mol
a	-0,00506 lt/mol
b	-0,04359 lt/mol
c	0,0504×10^4 lt·K^3/mol

3.3.6. Elektrolizör

Elektrik akımı yardımıyla, bir sıvı içinde çözünmüş kimyasal bileşiklerin ayrıştırılması işlemine elektroliz denir. Elektroliz işlemi, elektroliz kabı ya da tankı denen bir aygıt içinde uygulanır. Bu aygıt, çözünerek artı ve eksi yüklü iyonlara ayrılmış bir bileşiğin (elektrolit) içine birbirine değmeyecek biçimde daldırılmış iki elektrottan oluşur. Elektrolit, çoğunlukla erimiş olarak ya da bir tuz eriyiğinin sulu çözeltisi halindedir. Elektrolizör ise suyun elektrolizinde hidrojen ve oksijeni ayırmak için kullanılan hücre olup çeşitli kaynaklardan hidrojen üretmek için kullanılır. Hidrojen çok yönlü kullanılabilirliği, yakıtın taşınması, enerji yoğunluğu, çevreye etkileri, efektif maliyet gibi alternatif enerji kaynaklarının genel özelliklerine tümü ile uyan tek enerji taşıyıcısıdır [80].

Geleceğin enerji kaynağı olarak gösterilen hidrojen; kokusuz, renksiz, tatsız ve saydam bir yapıya sahiptir. Dünyadaki en küçük ve en hafif element olup yeryüzünde serbest halde bulunmazlar. Doğal bir yakıt olmayıp su, hava, kömür ve doğal gaz gibi değişik hammaddelerden üretilebilen sentetik bir yakıttır. Tanklarda depolanabilmesi, ağır ve pahalı bataryalara gerek duyulmaması, istenildiğinde yüksek verimle tekrar elektrik enerjisine dönüştürülebilmesi hidrojenin önemini arttırmıştır. Hidrojenin elde edildiği kaynaklar, Şekil 3.34'te görülmektedir.

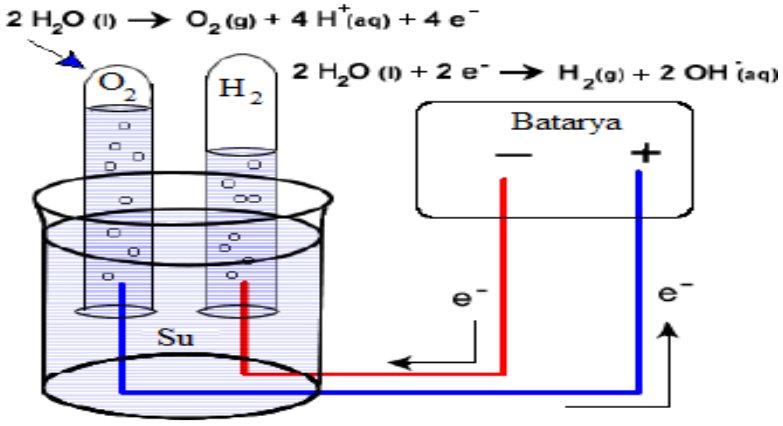


Şekil 3.34. Hidrojenin elde edildiği kaynaklar [81]

Şekil 3.34'te görüldüğü gibi hidrojenin elde edildiği yöntemlerden biri de suyun elektrolizi yöntemidir. Bu yöntemle hidrojen elde edilerek depolanması, yenilenebilir enerji kaynaklarının sürekliliğini sağlamak için önemlidir.

Suyun elektrolizi ile hidrojen üretimi yöntemi temel olarak sekiz gruba ayrılır. Bunlar; alkali, asidik, yüksek sıcaklık, termokimyasal, foto kimyasal, foto elektrokimyasal, biyokimyasal ve bir yan ürün olarak hidrojen ile elektroliz yöntemleridir [82].

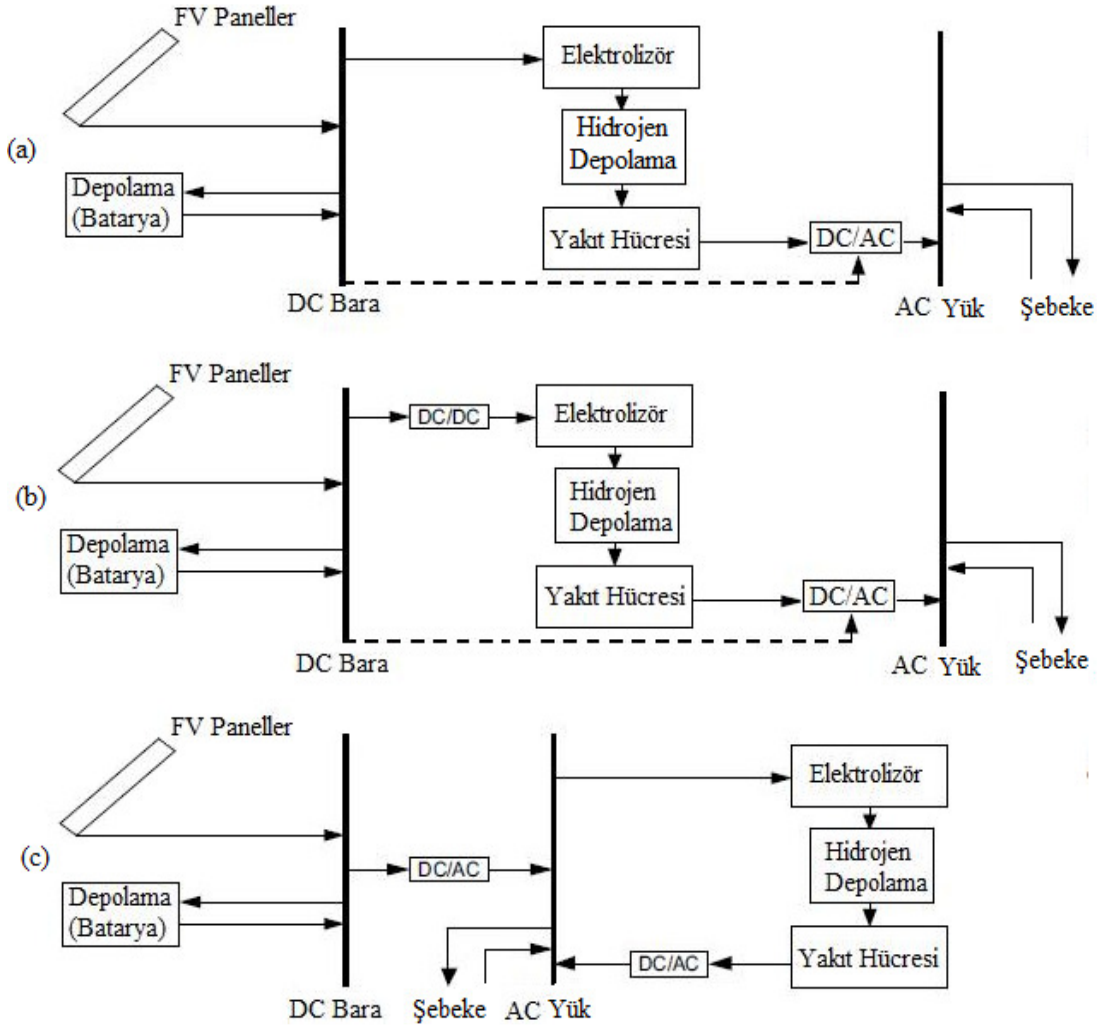
Şekil 3.35'te suyun elektroliziyle oksijen ve hidrojen elde edilmesinin şematik gösterilimi görülmektedir.



Şekil 3.35. Suyun elektroliziyle oksijen ve hidrojen eldesi

Suyun elektrolizi için, normal basınç ve sıcaklıkta, ideal olarak 1,23 volt yeterlidir. Tepkimenin yavaş olması ve başka nedenlerle, elektroliz işleminde daha yüksek gerilimlerde kullanılır. Hidrojen üretim hızı, gerçek akım şiddeti ile orantılı olduğundan, ekonomik nedenlerle yüksek akım yoğunlukları yeğlenmektedir. Bundan dolayı pratikte suyun ayrıştırılması için hücre başına uygulanan gerilim genelde 2 volt dolayındadır. Kuramsal olarak, her metreküp oksijen için 2,8 kWh elektrik enerjisi yeterli olmakla birlikte, yukarıda özetlenen nedenlerle pratikte kullanılan elektrik enerjisi miktarı bir metreküp hidrojen üretimi için 3,9-4,6 kWh arasında değişmektedir. Buna göre elektroliz işleminin verimi %70 dolayında olmaktadır. Ancak, son yıllarda bu alanda yapılan çalışmalar ve gelişen teknoloji sayesinde %90 verim elde edilmiştir [83].

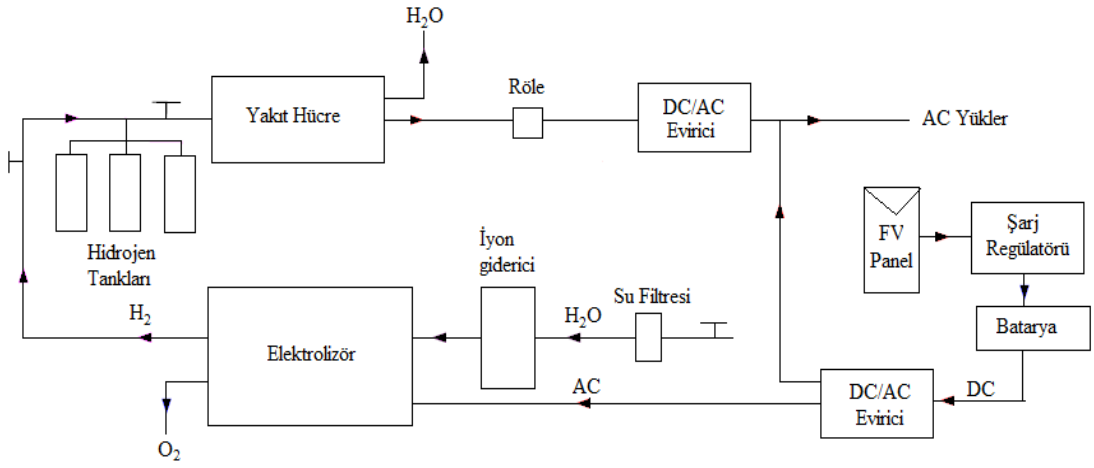
Elektrolizör bağlantılarının üç tipik enerji akış diyagramları doğrudan bağlantı ve akım tipi (DC veya AC) bağlantıları Şekil 3.36'da görülmektedir. Aynı zamanda kısa süreli enerji taleplerini karşılamak için batarya kullanılmıştır.



Şekil 3.36. a) Elektrolizör ile doğrudan bağlanmış şebeke bağlantılı FV-hidrojen/yakıt hücresi hibrit sistemler, b) DC elektrolizör ile şebeke bağlantılı FV-hidrojen/ yakıt hücresi hibrit sistemler, c) AC elektrolizör ile şebeke bağlantılı FV-hidrojen/ yakıt hücresi hibrit sistemler [84].

Elektrolizörler, yakıt hücrelerinin tersi prensibine göre çalışmaktadırlar. Proton Geçirgen Membran (PEM, Proton Exchange Membrane), alkali (AE, Alkaline Electrolysers) ve katı oksit (SOE, Solid Oxide Electrolysers) elektrolizör olmak üzere üç çeşittir. Ticari olarak PEM ve alkali elektrolizör kullanılmaktadır. Şu anda ticari olarak kullanılan elektrolizörlerin çoğu, AC tiplerdir. Bu da hidrojen üretimi için şebeke veya diğer hibrit sistemlerden elektrik kullanımına imkan verir. Ancak bu durumda hibrit enerji sistemi eviricilere ihtiyaç duymaktadır. Eğer elektrolizör DC

tip ise bu durumda DC/DC dönüştürücüler elektrolizör için uygun gerilim elde etmek için kullanılır. Şekil 3.37'de FV panelden üretilen elektrik enerjisinin ya doğrudan evirici üzerinden ya da elektrolizör ve yakıt hücresi üzerinden AC yüklere aktarılmasına ilişkin blok şeması görülmektedir.



Şekil 3.37. FV panelden üretilen enerjinin AC yüklere aktarılmasına ilişkin blok şeması

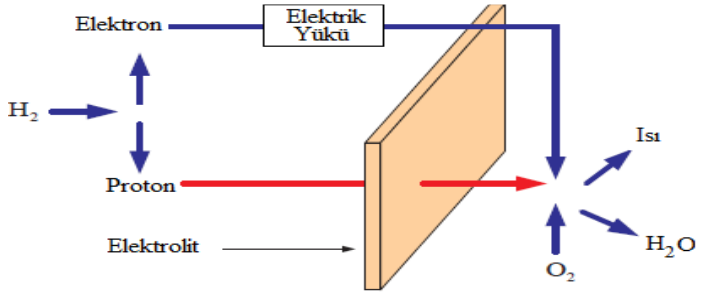
Şekil 3.37'de görülen FV panel yerine, rüzgâr veya mikro hidroelektrik gibi başka yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen DC gerilim kullanılabilir. Eğer üretilen güç, AC yüklerin talebinden fazla ise doğrudan evirici üzerinden yüke aktarılır. Fazla kalan güç ise, daha sonra yakıt hücresinde kullanılmak üzere H_2 üretimi için elektrolizör'e aktarılır. Enerji talebinin artması durumunda hidrojen tanklarında bulunan H2 yakıt hücresi tarafından DC gerilim üretilir. Üretilen gerilim, evirici yardımıyla AC gerilim üretilerek AC yüklere aktarılır.

3.3.7. Yakıt hücresi

Yakıt hücre sistemleri; teknolojilerinin hızlı gelişmesi, yüksek verimlilikleri, çevreyi kirletici gazların sıfır veya düşük yayılımlı olması ve esnek yapıları gibi özelliklerinden dolayı, son yıllarda dağıtılmış üretim uygulamalarında büyük bir potansiyel göstermeye başlayan bir alternatif enerji kaynağıdır. Bunlar, kimyasal enerjinin doğrudan elektrik enerjisi ve ısıya dönüştüğü elektrokimyasal enerji dönüşüm sistemi olup bir tür bataryadır. Yakıt olarak, genellikle ya önceden elektrolizör tarafından üretilen veya dışarıdan satın alınan hidrojen kullanılmaktadır. Ancak metan, doğal gaz, etanol, metanol ve son dönemlerde benzin kullanabilen

yakıt pilleri denemelerinden de olumlu sonuç alınmıştır [85]. Burada, hidrojen ve oksijen arasındaki elektrokimyasal reaksiyon ile ortaya elektrik, saf su ve ısı çıkar. İlk yakıt hücresi ünitesi, 1842 yılında William Robert Grove tarafından keşfedilip geliştirilmiştir [86]. Yakıt hücreleri, dizel motorlardan daha yüksek verim ve daha düşük emisyon sunan ancak birçok uygulama için çok pahalı olması muhtemeldir. Yakıt hücrelerinin çalışması temel kimyasal prensibe dayanmaktadır. Hidrojen gazı (H_2) ve oksijen gazı (O_2) reaksiyona sunulan bu süreçte tepkimenin şekliyle su oluşur. Şekil 3.38'de yakıt hücre çalışma prensibi şeması görülmektedir.

$$2H_2 + O_2 \longrightarrow 2H_2O \qquad (3.15)$$

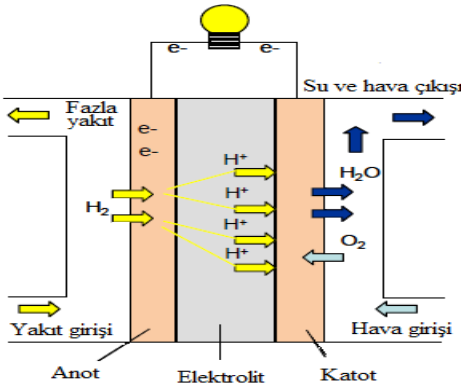


Şekil 3.38. Yakıt hücre çalışma prensibi şeması [87]

Yakıt hücresinin plaka yüzeyi akım şiddetini, plakaların seri bağlanması ise gerilimi etkiler. Birçok plakanın yan yana bağlanması ile elde edilen sisteme stak (yığın) adı verilir. Staklar kendi aralarında seri ve paralel bağlanmaları ile istenilen gerilim DC olarak elde edilir. Yakıt hücreleri, boyutlarının küçük olması, yüksek verimle çalışmaları ve atık ısılarının kullanılabilir olmasının yanı sıra aşağıdaki özellikleri nedeniyle de diğer güç sistemlerine göre daha üstündürler [88].

- Modüler yapıda olmaktadır.
- Kullanıcıya yakın inşaa edilebilmektedir.
- Yakıt olarak saf hidrojenin yanısıra doğal gaz, metanol veya kömür gazları kullanılabilmektedir.
- Sessiz çalışmaktadır.
- Minimum seviyede kükürt oksit ve azot oksit emisyonları içerir.
- İnşa edilecek alanda çok az çevre kısıtlamaları gerektirmeleri ve kısa sürede inşaa edilebilmektedir.
- Katı atık problemleri olmamaktadır.

Yakıt hücrelerinin temel yapısı, bir çift elektrot ve bir elektrolitten meydana gelmiştir. Şekil 3.39'da yakıt hücresi kimyasal reaksiyonu görülmektedir.



Şekil 3.39. Yakıt hücresi kimyasal reaksiyonu [89]

Yakıt hücreleri, kararlı durumda güvenilir güç sağlamak için iyi enerji kaynaklarıdır. Ancak onlar elektrik yüklerinin istediği hızda cevap veremezler. Bu problem, onların yavaş iç elektrokimyasal ve termodinamik cevaplarından kaynaklanmaktadır [90].

Yakıt hücreleri normalde güç elektroniği cihazları ile çalışır. Yakıt hücre üreticileri ve güç elektroniği ara yüz tasarımcıları arasında yeterli bilgi alışverişi olmaması bir problemdir. Birbirleri hakkında yeterli bilgi olmadan güç elektroniği devre tasarımcıları, bazı seri direnç ile bir sabit gerilim kaynağı olarak yakıt hücresi alırken, yakıt hücre üreticirileri, normalde eşdeğer empedans olarak güç elektroniği arayüzü modellemektedir.

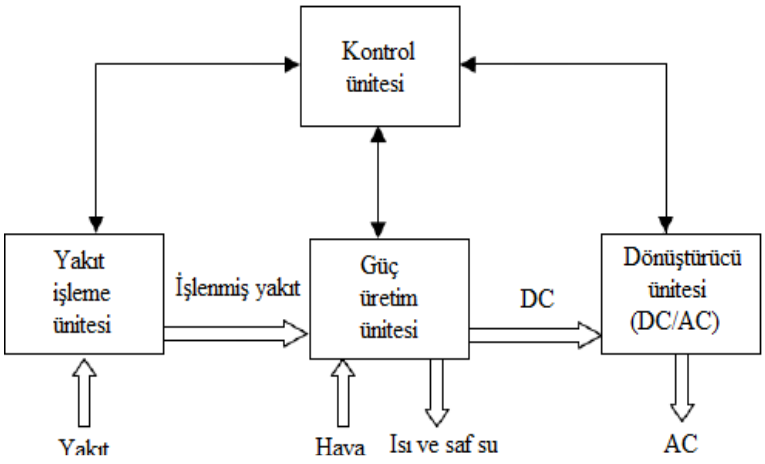
Biraz farklı özelliklere sahip alkali (Alkaline Fuel Cell, AFC), proton değişimli membran (Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC), fosforik asit (Phosphoric Acid Fuel Cell, PAFC), erimiş karbonat (Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC) ve katı oksitli yakıt hücre (Solid Oxide Fuel Cell, SOFC) teknolojileri vardır. Temel belirgin fark, yakıt hücresinin tasarım ve çalışma özellikleri üzerinde çok kapsamlı etkileri olan elektrolittir. Doğru akım ve hücre gerilimine sahip tüm yakıt hücreleri seri hücre sayısına bağlı olarak gerilim oluşturur. Bundan başka gerilim, yük ve yakıt hücresinin zamanla yıpranmasıyla değişir. AC gerilim elde etmek için güç düzenleyici; DC/AC dönüşüm, akım, gerilim ve frekans kontrolüne sahip olmalıdır. Yakıt hücresi dış ortama güç sağlamanın yanında, sistemde bulunan pompalar, fanlar

ve kontrol sisteminin enerji ihtiyacını da karşılar. Tablo 3.9'da farklı tiplerdeki yakıt hücresinin kimyasal reaksiyonları verilmiştir.

Tablo 3.9. Farklı tiplerdeki yakıt hücresinin kimyasal reaksiyonları [87]

Yakıt Hücre Tipi	Anot Reaksiyon	Hareket İyonu	Katot Reaksiyon
PEMFC ve PAFC	$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$	H+	$1/2O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$
AFC	$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$	OH-	$1/2O_2 + H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^-$
MCFC	$H_2O + CO_3^{2-} \rightarrow H_2O + CO_2 + 2e^-$	CO_3^{2-}	$1/2O_2 + CO_2 + 2e^- \rightarrow CO_3^{2-}$
SOFC	$H_2 + O^{2-} \rightarrow H_2O + 2e^-$	O^{2-}	$1/2O_2 + 2e^- \rightarrow O^{2-}$
CO_2: Karbondioksit, e^-: Elektron, H_2O: Su , CO_3^{2-}: Karbonat iyonu, H_2: Hidrojen OH- H^+: Hidroksi iyonu, H^+: Hidrojen iyonu, O_2 : Oksijen, O^{2-}: Oksijen iyonu			

Yakıt hücresi sistemi; yakıt işleme ünitesi, güç üretim ünitesi, güç dönüşüm ünitesi ve kontrol ünitesi olmak üzere dört temel üniteden oluşmaktadır. Şekil 3.40'da yakıt hücresi sistemi genel yapısı görülmektedir.



Şekil 3.40. Yakıt hücresi sistemi genel yapısı

Yakıt işleme ünitesi; yakıtın yakıt hücresine gönderilmesi öncesinde hazırlandığı, eğer doğrudan hidrojen kullanılmıyorsa, kullanılan yakıttan hidrojenin ayrıştırıldığı, saflaştırılıdığı ve koşullandırıldığı ünitedir.

Güç üretim sistemi; güç üretiminin gerçekleştirildiği ünite olup bir veya birden fazla yakıt hücresi modülünden meydana gelebilmektedir.

Güç dönüşüm ünitesinde, hücrede üretilen DC gerilim ticari kullanım için düzenlenir (regüle edilir) veya evirici yardımı ile AC gerilime dönüştürülür.

Kontrol sistemi ünitesinde, sistemin tüm işleyişi denetlenir ve kontrol edilir. Bu noktada en önemli kontrol; başta nemlendirme, yakıt hücresi sıcaklık kontrolü, yakıt-hava debi kontrolü, gerilim-akım çıktı kontrolü, atık ısı, atık su kontrolü, soğutucu akışkan kontrolü vb. gibi sıralanabilir.

Ayrıca pek çok yakıt hücresi sisteminde fan, kompresör, nem ünitesi, ısı değiştiriciler vb. yardımcı elemanlar da bulunmaktadır.

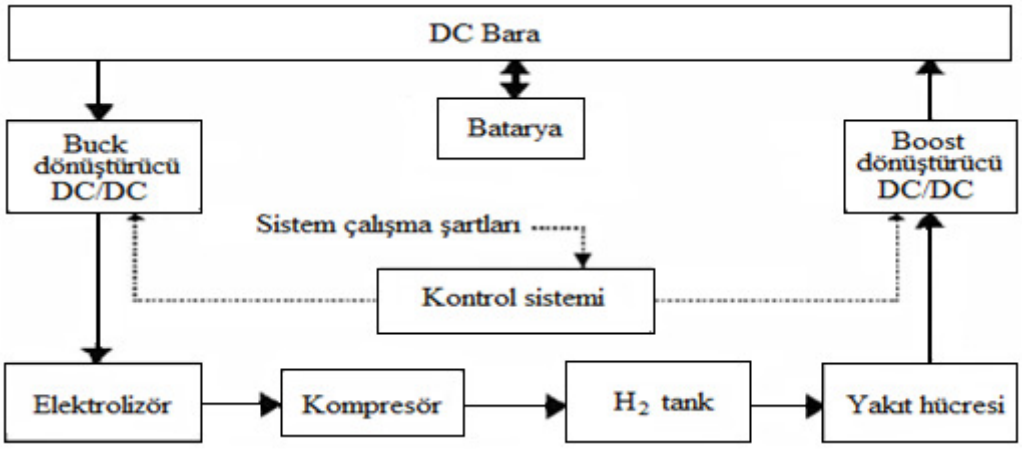
Tablo 3.10'da farklı yakıt hücre teknolojilerinin çalışma sıcaklığı ve elektrik verimliliğinin karşılaştırmaları verilmiştir.

Tablo 3.10. Önemli yakıt hücre teknolojileri karşılaştırmaları [87]

Elektrolit	PEMFC (PEFC)	PAFC	MCFC	SOFC
Çalışma Sıcaklığı (°C)	80	200	650	800-1000
Elektrik verimliliği (%)	30-35	35-40	45-55	45-55

Tablo 3.10'da görüldüğü gibi PEM yakıt hücresinin çalışma sıcaklığı 80 °C olup en düşük seviyededir. Katı oksit yakıt hücresinin çalışma sıcaklığı ise 800-1000 °C ile en yüksek seviyededir. PEM yakıt hücresinin doğalgaz tabanlı elektrik verimliliği % 30-35 ile en düşük seviyede ve erimiş karbonat ve katı oksit yakıt hücrelerinin verimleri ise % 45-55 arasındadır.

Elektrolizör ve yakıt hücresinin, sistemin çalışma şartlarına göre DC baraya bağlanması durumlarındaki blok diyagramı Şekil 3.41.'de görülmektedir.



Şekil 3.41. Elektrolizör ve yakıt hücresinin DC baraya bağlantı blok diyagramı

Şekil 3.41'te görüldüğü gibi, elektrolizör için gerekli olan enerji buck (düşürücü) DC-DC dönüştürücü üzerinden DC baradan alınmaktadır. Elektroliz sonucu elde edilen hidrojen kompresör yardımıyla H_2 tankına alınmaktadır. Sistemin çalışma şartlarına göre enerji ihtiyacı olduğunda yakıt hücresi, enerji üretimi için gerekli olan hidrojeni H_2 tankından alacak ve üretilen enerji boost (yükseltici) DC-DC dönüştürücü tarafından DC baraya aktarılacaktır.

4. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLI MİKRO ŞEBEKELERDE ENERJİ YÖNETİMİ

Enerji yönetimi; ürün kalitesinden, güvenlikten veya çevresel tüm koşullardan fedakarlık etmeksizin ve üretimi azaltmaksızın enerjinin verimli kullanımı doğrultusunda yapılandırılmış ve organize edilmiş disiplinli bir çalışmadır. Günümüzde enerji fiyatlarında sürekli öngörülemeyen dalgalanmaların yaşanması, enerji kaynaklarının giderek azalması, tesis ömrünün arttırılması ve bakım giderlerinin azaltılması, enerji ile ilgili yönetmeliklerin giderek daha etkin ve bağlayıcı olması, enerji kullanımı sera gazı salınımları gibi çevresel etki oluşturulması, rekabette öne çıkma, müşteri beklentilerini karşılama ve geçme gerekliliği, marka itibarının ve kurumsal sorumlulukların etkili şekilde yönetilmesi, teşvik primlerinden faydalanma olanağı ortaya çıkması gibi nedenler etkin bir enerji yönetimini gerektirmektedir.

Enerji yönetiminin amacı; ülkemizin enerji arz güvenliğinin ve verimliliğinin sağlanması, enerji kaynaklarında çeşitliliğin ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması, elektrik üretimi, iletimi, dağıtımı ve kullanımında kayıpların azaltılması, ekonomik, sosyal kalkınma, rekabet gücü ve ulusal güvenlikte önemli bir yer tutan enerji alanında, araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) ile yenilik faaliyetlerini gerçekleştirmektir.

"Ölçmek bilmek, bilmek yönetmek, yönetmek de iyileştirmektir." ilkesiyle enerji tipi ne olursa olsun, daha etkin, daha sürdürülebilir enerji tüketimi şeklinde sürekli iyileştirme için gereklilikler üzerine kuralları koyan TS EN ISO 50001 Enerji Yönetim Standardı (ISO 50001 yayınlanmadan önce BS EN 16001 olarak bilinmekteydi) geliştirilmiştir. Enerjinin giderek daha da büyük önem taşıdığı günümüzde, enerjinin verimli kullanılması esasına dayanan TS EN ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi (EYS) standardı, her sektörde küçükten büyüğe her türlü işletmeye uygulanabilecek, tek başına olabileceği gibi diğer yönetim sistemleriyle entegre olarak da yürütülebilecek bir yönetim sistemidir. Bu sistem, "Planla, Uygula,

Kontrol Et, Önlem Al" (PUKÖ) kapsamı çerçevesinde enerji yönetimi kararlarını ve ihtiyaçlarını göz önüne alarak enerji tüketimini anlamak için aksiyon planlarının oluşturulmasında, tüketimi azaltmak için hedef ve enerji performans göstergelerinin belirlenmesinde ve böylece sürdürülebilir çevreye olan katkıya gösterge olan bir sistemdir. EYS, kuruluşların enerji politikalarını belirlemesi, amaç ve hedefleri doğrultusunda oluşturduğu enerji yönetim programları çerçevesinde enerji tüketimini yönetmesi ve enerji yönetim sisteminin performansını değerlendirerek iyileştirmelerin sağlanmasına dayanmaktadır.

Enerji verimliliği ihtiyaçlarının belirlenmesi, politika ve hedeflerin oluşturulması, proseslerin belirlenmesi, enerji yöneticisi ve diğer kaynakların belirlenmesi, ölçüm ve izleme planlarının belirlenmesi, prosedürlerin hazırlanması, iletişimin sağlanarak uygulamaların gerçekleştirilmesi, iç tetkik yapılması, gözden geçirme ve sürekli iyileştirme, sistemin uygulama adımlarıdır. EYS'nin kuruluşlarda geliştirilmesi sonucunda; enerji politikasının resmiyet kazanması, enerji tüketiminin sistematik bir yaklaşımla yönetilmesi sayesinde enerji masrafında düşüş, çevrenin korunması, kaynakların etkin kullanımı, sera gazı emisyonunun azaltılması, mevzuata uyumun sağlanması, başta çevre yönetim sistemi olmak üzere diğer yönetim sistemleri ile kolayca entegre olabilmesi sağlanır.

Bir EYS, başta enerji iletim ve üretim sistemlerinde modern bir dağıtım otomasyon sistemidir. Bu, gerçek zaman şebeke bilgilerini dağıtıcılara, dağıtım hakkındaki kararları yaparak şebeke yönetimi ve kontrolü sağlarlar. Böylece EYS, şebekenin güç kalitesini iyileştirerek, güvenliğini ve şebekenin ekonomik çalışmasını arttırabilir. Entegre bir teknoloji olarak dağıtım otomasyonu, kontrol ölçümleri, güç sistem işletme teorileri, bilgisayar teknolojileri, iletişim ve güç elektroniği teknolojisinin gelişmesiyle birlikte nitelikli hale gelmektedir.

Dağıtım otomasyonu, üç aşamada gelişmiştir. Birinci aşamada, dağıtım merkezi ve santrallerdeki ilgili veri ve kontrol planlaması için sadece telefon kullanılabilmektedir. İkinci aşamada, dağıtım merkezi, santraller ve alt sistemler için çeşitli işletme parametreleri ve anahtarlama durumları, uzaktan ölçüm ve iletişim teknolojisi kullanılarak yapılan teknolojidir. Uzaktan ayarlama ve kontrol boyunca dağıtım merkezi otomasyonu, bazı anahtarları çalışır veya çalışmaz yapabilmektedir.

Bu teknoloji, hala dağıtım otomasyonun önemli bir parçasıdır. Üçüncü aşama, dağıtım bölgeleri için bilgisayar teknolojisinin uygulaması olmuştur.

Bilgisayar ve haberleşme cihazlarına karşılık gelen izleme, kontrol ve veri toplama sistemi olan SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition, Veri Tabanlı Kontrol ve Gözetleme Sistemi) sistemleri, enerji dağıtım birimlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. SCADA sistemi izleme, danışma, kontrol ve veri toplama işlevlerini yerine getirir. Bu sistemin kimya endüstrisi, doğalgaz ve petrol boru hatları, petrokimya endüstrisi, elektrik üretim ve iletim sistemleri, elektrik dağıtım tesisleri, su toplama, arıtma ve dağıtım tesisleri, hava kirliliği kontrolü, çimento endüstrisi, otomotiv endüstrisi, bina otomasyonu ve proses tesisleri gibi birçok kullanım alanı vardır.

Geniş bir coğrafi alana yayılmış, bölgesel ve yerel tüm enerji sistemlerinin kararlı çalışmasında ve güvenliğinde önemli bir rol oynamakta ve kullanılmaktadır. 1960'larda güç sistemlerinin ekonomik yük dağıtım kontrolü için sayısal bilgisayarlar kullanılmaya başlandı. O zamandan beri bir çok otomatik kontrol konuları araştırılmış ve önemli ekonomik faydalar elde edilmiştir[36]. Dağıtılmış kaynakların ölçüsü ve çeşitliliğinin artması, bilgi teknolojisindeki gelişmeler, enerji piyasası ve birkaç ciddi kesintilerin oluşmasından dolayı karşı karşıya kalınan zorlukların geliştirilecek EYS'leri ile fırsata dönüştürülmesi gerekir. Bir mikro şebekedeki EYS, dağıtılmış üretim birimleri arasında en uygun bölüştürmeyi ve yüke ekonomik hizmet etmeyi yapabilen bir sistemdir.

Küçük yerleşim birimlerinde küçük akarsular ve nehirler bulunmasına rağmen yük talebi yüksektir. Bir mikro hidroelektrik sistem tek başına toplam talebi karşılayamaz. En iyi çözüm, rüzgâr, FV panel ve mikro hidroelektrik sistemlerin hibrit bir yapıyla entegre olmasıdır. Bu sistemlerin meteorolojik koşullara bağlı olmaları bunların en zayıf yönleridir. Yağışlı mevsimlerde FV sistemden güç üretimi azalırken mikro hidroelektrikten güç üretimi artmaktadır.

Bu tezde önerilen enerji yönetim sistemi ile bölgesel dağıtılmış kaynakların optimal kullanımı, yerel yüklerin beslenmesi, işletme maliyetinin düşürülmesi ve emisyon seviyelerinin en aza indirilmesi amaçlanmaktadır.

Bu çalışma için yerleşim yeri ve şehir şebekesinden 5 kilometre uzaklıkta bulunup içinde turistik otelin olduğu küçük bir alan seçilmiştir. Şekil 4.1'de çalışmada kullanılan şebekeden bağımsız yenilebilir enerji kaynaklı olan rüzgâr türbini, FV panel ve mikro hidroelektrik santralden oluşmuş hibrit mikro şebeke verilmiştir. Yük değerlerinin belirlenmesinde, bölgedeki geçmiş elektrik talep değerlerinden faydalanılmıştır. Yük ihtiyaçlarını karşılamak üzere kullanılan kısa mesafeli AG hattı, üç fazlı (400V, 50 Hz) olarak düşünülmüştür. Yakıt hücresi, batarya ve elektrolizör birimleri bu hat üzerine gerekli dönüştürücüler yardımıyla bağlanmıştır.



Şekil 4.1. Şebekeden bağımsız küçük bir alanda örnek hibrit mikro şebeke

Şekil 4.1'de görülen turistik otel; 70 adet oda, lokanta, toplantı odası ve lobi salonundan oluşmaktadır. Seçilen yerin yaz ve kış turizmi için uygun yerde olmasından dolayı otelin yılın her mevsiminde en yüksek seviyede doluluk oranıyla hizmet verdiği düşünülmüştür. Oteldeki odalar içinde bulunan elektrikli ev aletlerinin kullanım süreleri günden güne değişebilmekle birlikte, bir odanın günlük ortalama enerji tüketim değerleri Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Günlük ortalama enerji tüketim değerleri

Elektrikli ev aletleri	Adet	Kullanım süresi	Harcanan enerji (Wh)
Buzdolabı (850Wh/gün)	1	1 gün	850
37 ekran televizyon (50 W)	1	5 saat	250
Tasarruflu lamba (15 W)	3	6 saat	270
Ütü (2000W)	1	0,5 saat	1000
Laptop (30 W)	1	7 saat	210
Saç kurutma makinesi (1500W)	1	0,333 saat	500
Elektrikli Süpürge (1400 W)	1	0,5 saat	700
Toplam			3780

Tablo 4.1.'de görüldüğü gibi, her bir oda için aydınlatma amaçlı 3 adet 15W'lık tasarruflu lamba kullanılmıştır. Kullanılan lamba, buzdolabı, televizyon, ütü, laptop, saç kurutma makinesi ve elektrikli süpürge için günlük ortalama harcanan toplam enerji 3780 Wh'tır.

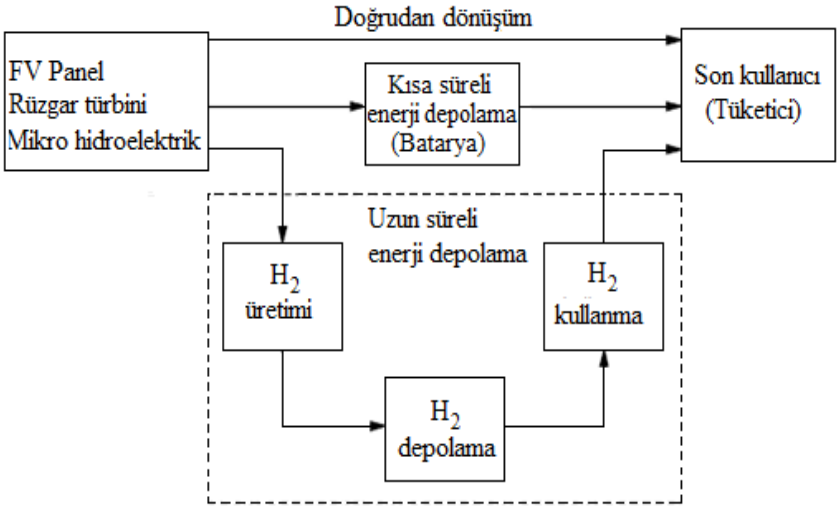
Hibrit güç üretim sistemleri için gerekli olabilecek bir diğer yük de atık yüktür. Atık yük, güç elektroniği ve anahtarlamalı direnç yapısında bir devre elemanıdır. Normal yalıtılmış şebekelerde bu tür yüklere ihtiyaç duyulmayabilir. Şebekede bir güç fazlalığı olduğu yani yük için gerekli olan enerji talebinin yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerji miktarınından az olduğu durumlarda şebekedeki gerilim yükselmesini önlemek ve kararlı çalışmayı sağlamak için atık yük kullanılır. Bazı işletme durumlarında atık yük olmadan ihtiyaç fazlası aşırı güç giderilemeyebilir.

Dağıtım şebekesi, sadece tüketici yüklerine uyum sağlayacak ölçüde tek yönlü enerji akışı için tasarlanabilir. Bununla birlikte son yıllarda bir çok etken mikro şebekeye olan ilginin artmasına sebep olmuştur. Bunlar, gaz emisyonlarının azaltılması (özellikle CO_2), enerjinin verimli ve mantıklı kullanılması, serbest piyasa ve rekabet politikası, enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi, ulusal ve küresel güç ihtiyaçları gibi etkilerdir. Bunların dışında, modüler üretim tesislerinin varlığı, küçük jeneratörler için yer bulma kolaylığı, kısa inşaat süreleri, daha küçük santrallerin daha düşük sermaye maliyeti ve üretim kaynakları yüklere yakın yerde kurularak iletim maliyetini düşürebilmektedir [87].

Depolama birimi olan batarya, kısa süreli yedekleme için sistemde kullanılan geçici güç kaynağıdır. Bataryaların 3-6 yıl civarında düşük ömürleri vardır. Bunların sık sık işletilmesi işletme ve bakım maliyetlerini etkiler [8]. Batarya olarak şarj ve deşarj avantajlarından dolayı kurşun asit batarya kullanılmıştır.

Yakıt hücresi elektrolizör kombinasyonu bir yedekleme ve uzun süreli bir depolama sistemi olarak kullanılır. Sistem birim boyutları, önemli sistem bileşenlerinin özellikleri, çalışmanın bundan önceki bölümünde açıklanmıştır. Kısa ve uzun süreli depolama sistemi kullanılarak, düşük maliyetli entegre sisteme dayalı en uygun stratejiler oldukça verim sağlayabilir. EYS; yakıt hücresi, elektrolizör ve bataryadaki

çeşitli alt sistemlerin ömürlerini önemli ölçüde etkiler. Şekil 4.2'de hidrojene dayalı ve şebekeden bağımsız güç üretim sistemi verilmiştir.



Şekil 4.2. Hidrojene dayalı ve şebekeden bağımsız güç üretim sistemi [82]

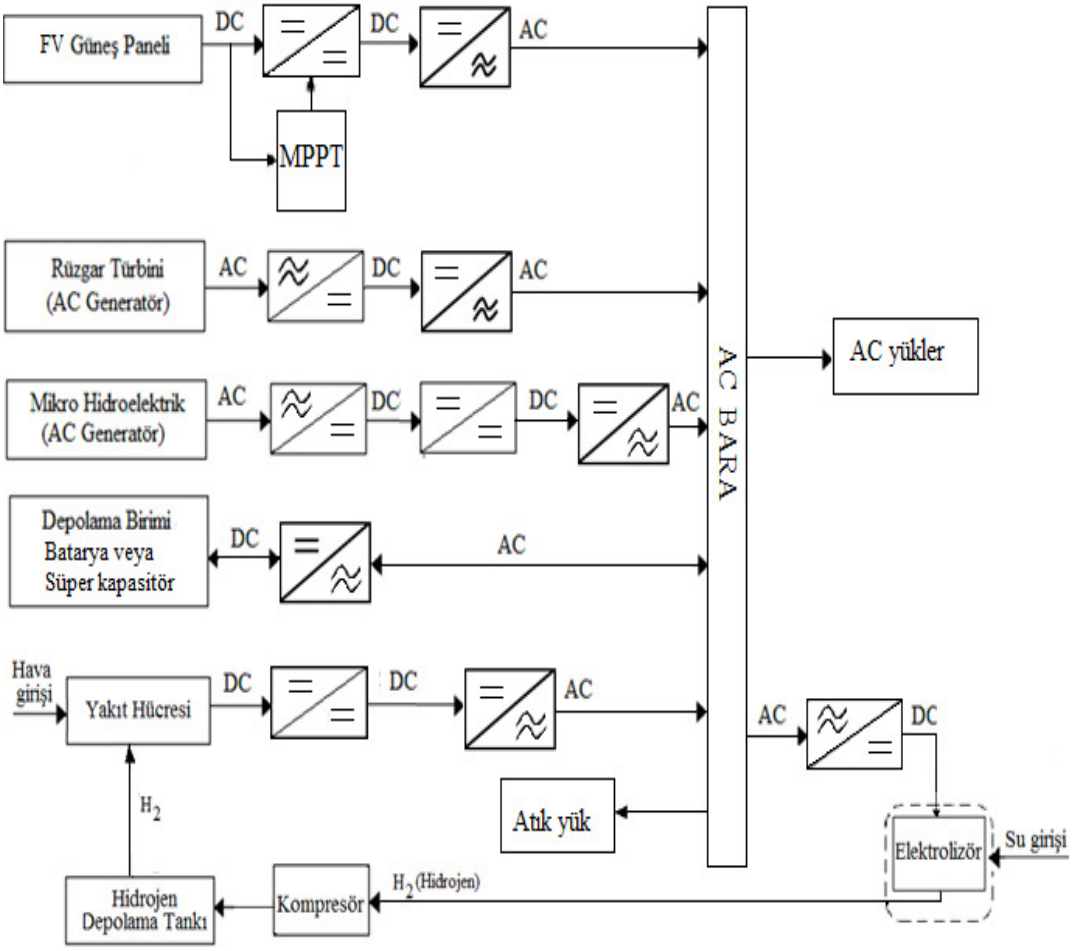
Şekil 4.2'de görüldüğü gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen güç, tüketicilere doğrudan verilebildiği gibi, kısa süreli enerji depolama birimi olan batarya üzerinden veya uzun süreli enerji depolama birimi olan hidrojen kullanımı üzerinden aktarılmaktadır.

Önerilen sistemde kullanılan enerji üretim kaynakları ve depolama birimleri Şekil 4.3'te görülmektedir. Görüldüğü gibi yenilenebilir enerji kaynaklı FV panel, rüzgâr türbini ve mikro hidroelektrik olan santral üretim birimleri ile depolama birimi, yakıt hücresi ve elektroliz ünitesinden oluşan sistem, AC bağlantılı bara ile entegre edilmiştir.

FV panelden elde edilen DC gerilim önce DC/DC dönüştürücüde istenilen seviyeye getirilir. Daha sonra eviricide AC yükler için istenilen besleme gerilimi (400 V) ve frekans (50 Hz) değerlerine getirilerek AC besleme hattına bağlanır. Sistem için her biri 200 W olan 50 adet monokristal FV modül kullanılmıştır.

Rüzgâr türbininden elde edilen AC gerilim önce DC gerilime, daha sonra evirici'de istenilen değere ulaştırılarak iletim hattına bağlanır. Rüzgâr türbini olarak Proven Energy firmasının WT15000 modeli kullanılmıştır.

Mikro hidroelektrik santralden üretilen AC gerilim, önce DC gerilime dönüştürülür. Daha sonra DC/DC yükseltici dönüştürücüde evirici için gerekli olan gerilime dönüştürülür. Elde edilen DC gerilim evirici'de istenilen değer AC gerilim oluşturularak besleme hattına iletilir. Mikro hidroelektrik santral için en uygun su türbini olan 8 kW gücünde Cross-Flow türbini kullanılmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklı üretim birimlerinin ayrıntılı özellikleri EK-A'da verilmiştir.



Şekil 4.3. Yenilenebilir enerji kaynaklı mikro şebeke için blok şeması

Depolama birimi olarak kullanılan batarya, üretilen gücün yük talebinden fazla olması durumunda kullanılmaktadır. Yük talebi az olduğunda ise depolanan enerji yüke aktarılmaktadır. Batarya olarak, enerji kapasitesi 4 kWh olan kurşun asit batarya kullanılmıştır. Üretilen gücün fazla ve batarya'nın şarjlı olması durumunda fazla güç, daha sonra yakıt hücrelerinde kullanılmak üzere H_2 üretimi için elektrolizörde kullanılmaktadır.

Sistemde 4 kWp gücünde PEM yakıt hücresi kullanılmıştır. Yükün güç talebi, yenilenebilir enerji kaynakları ve bataryadan karşılanmasının yeterli gelmediği durumlarda yakıt hücresi DC gerilim üretmektedir. Bu gerilim değeri DC/DC yükseltici dönüştürücüde evirici için gerekli olan gerilime dönüştürülür. Elde edilen DC gerilim eviricide istenilen AC gerilim değeri oluşturularak besleme hattına iletilir. Sistemde üretilen gücün fazla ve yük talebinin az olduğu durumlarda hidrojen üretimi için 4 kWp gücünde PEM tipi elektrolizör kullanılmıştır.

Besleme hattında bulunan istenilen gerilim ve frekans değerinde elde edilen AC gerilim, yüksek anahtarlama frekansıyla (4kHz) güç dönüşümünün gerçekleştirilmesi sırasında oluşan gerilim harmoniklerinin etkisini en aza indirmek için LCL filtre devresi üzerinden tüketiciye aktarılmıştır.

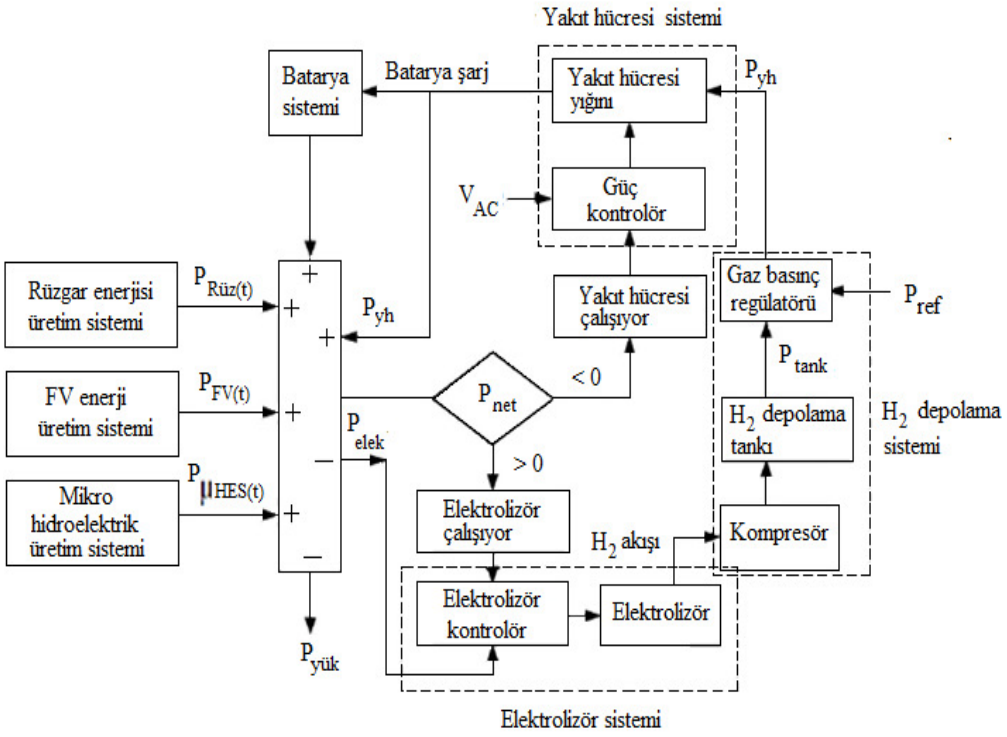
Geliştirilen enerji yönetimi stratejisi, fazla gücün nasıl kullanılacağına karar verir. Yani yükler tarafından talep edilen güç miktarı, yenilenebilir enerji kaynakları tarafından üretilen güçten daha fazla olduğu taktirde enerji yönetimi, güç açığını karşılamak için en uygun şekli tespit eder. Oluşturulan yenilenebilir enerji kaynaklı mikro şebeke sisteminde kullanılan birimlerin özellikleri Tablo 4.2'de görülmektedir.

Tablo 4.2. Mikro şebeke sistemi birimleri ve özellikleri

Kaynak	Tipi ve kurulu gücü	FV panel, 10 kWp
	Tipi ve kurulu gücü	Rüzgâr türbini, 15 kWp
	Tipi ve kurulu gücü	Mikro hidroelektrik, 8 kWp
Batarya	Tipi ve enerji kapasitesi	Kurşun asit, 4 kWh
Elektrolizör	Tipi ve gücü	PEM, 4 kWp
Hidrojen Depolama	Tipi	Basınçlı tanklar(137 bar)
	Yoğunluk kapasitesi	2856 Nm^3 H_2
	Enerji kapasitesi	10,127 kWh
Yakıt Hücresi	Tipi ve gücü	PEM, 4 kWp

Enerji yönetimi için karar faktörleri, bataryanın şarj durumu ve yenilenebilir enerji kaynakları tarafından sağlanan güç seviyeleridir. Bu nedenle, suyun elektrolizi ile hidrojen üretimi ve yakıt hücresinde hidrojen tüketiminin çalışma ilkeleri, yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen gücün ve şarj durum seviyesinin azlığına veya fazlalığına bağlıdır. Sistemin performansında, yakıt hücresi, elektrolizör'ün çalışma karakteristikleri ve bataryanın minimum şarj durum seviyesi gibi enerji

yönetim sistemi için önemli işlem değişkenlerinin etkisi vardır. Şekil 4.4'te mikro şebeke sistemindeki güç akış diyagramı görülmektedir.



Şekil 4.4. Mikro şebekedeki güç akış diyagramı

Şekil 4.4'teki akış diyagramında görüldüğü gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen güçlerin toplamı ile yükün talep ettiği gücün farkından elde edilen net güç, Denklem (4.1)'deki gibi;

$$P_{net} = P_{FV(t)} + P_{Rüz(t)} + P_{\mu HES(t)} - P_{yük(t)} \quad (4.1)$$

hesaplanır.

P_{net} : Net elde edilen güç (kW)

$P_{FV(t)}$: Zamanla değişen FV güneş enerjisi gücü (kW)

$P_{Rüz(t)}$: Zamanla değişen rüzgâr türbini gücü (kW)

$P_{\mu HES(t)}$: Zamanla değişen mikro hidroelektrik gücü (kW)

$P_{yük(t)}$: Zamanla değişen yük gücü (kW)

Elektrolizör ve yakıt hücresi aynı anda çalışmamaktadır. Yani sistemde elde edilen net gücün sıfırdan büyük olması ($P_{net}>0$) durumunda, elektrolizör çalışarak H_2 üretimi sağlanacak ve üretilen H_2, depolama tankında depolanacaktır. Net gücün

sıfırdan küçük olması ($P_{net}<0$) durumunda ise yakıt hücresi çalışarak sisteme güç aktaracak ve batarya şarjı yeterli değilse batarya şarj olacaktır. Ayrıca ihtiyaç olması halinde bataryadan da yük akışı sağlanacaktır.

4.1. Enerji Yönetim Stratejisi

Rüzgâr, FV ve mikro hidroelektrik üretim kaynaklarından üretilen toplam güç, yükün talep ettiği güçten daha büyük olması durumunda, bataryanın şarj durumuna bakılır. Bataryanın şarj durumu maksimum değerine eşit veya büyükse, bu durumda fazla gücün elektrolizörün maksimum ve minumum değerleri arasında bir değerde ise elektrolizör H_2 üretmesi için çalıştırılır. Eğer fazla güç değeri, elektrolizör'ün maksimum değerinden büyük ise elektrolizör çalıştırılır ve geriye kalan güç atık yüke yönlendirilir. Fazla güç değeri, sıfır ile elekrolizör'ün minimum değeri arasında ise bu durumda elektrolizör çalıştırılmaz ve fazla güç, ya batarya şarjına ya da atık yüke yönlendirilir. Bataryanın şarj durumu maksimum seviyeye ulaştığında şarj süreci kontrolör yardımıyla durdurulur.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen güç, yükün talep ettiği güce eşit veya daha az ise bu durumda bataryanın şarj durumuna bakılır. Eğer batarya şarj durumu maksimum seviyesinin üzerinde veya minimum ile maksimum değeri arasında ise depolanan enerjiden kontrolör yardımı ile deşarj durumu başlar. Batarya şarjı azalarak minimum seviyeye ulaştığında, sistemden bataryanın bağlantısı kesilir. Bu durumda yakıt hücresi çalıştırılarak yükün talebi karşılanır fazla kalan güç ise batarya şarjında kullanılır. Üretilen toplam enerji ve yük talebi eşit olduğunda batarya şarj durumu değişmeden kalacaktır.

Yenilenebilir enerji kaynaklı üretim birimlerinin ürettiği güç, talep edilen güçten daha fazla olması durumunda, fazla güç ya bataryayı şarj etmek ya da elektrolizörde hidrojen (H_2) üretmek için kullanılabilir. Bu işlem şarj olarak adlandırılır. Bunun aksine yenilenebilir enerji kaynakları tüm enerji talebini karşılayamıyorsa, ihtiyaç duyulan enerji ya bataryalardan ya da depolanan hidrojenden faydalanılarak alternatif enerji kaynağı olarak kullanılabilen 4 kWp değerindeki bir PEM yakıt hücresi tarafından karşılanmalıdır. Bu işlem deşarj olarak adlandırılır. Deşarj işlemi sırasında gerekli enerji batarya ve yakıt hücresi tarafından değerlendirilmelidir. Yakıt hücresinin çalışması sırasında üretilen su, elektrolizörde kullanılmak için su

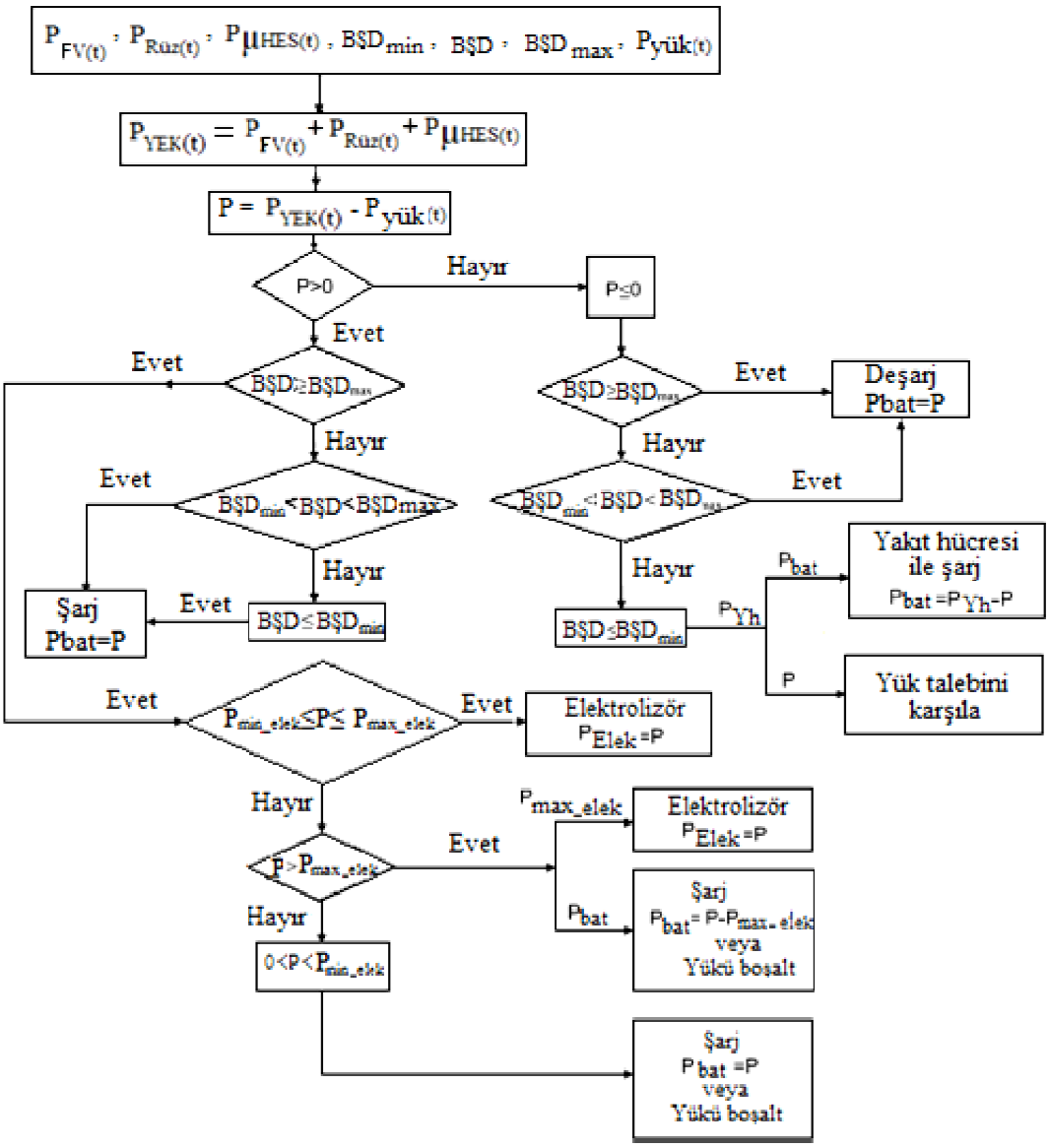
depolama tankına kapalı bir döngü içinde geri kazandırılır. Ayrıca kısa süreli üretilen enerji dalgalanmalarının önlenmesi ve sistemin düzgün çalışması için kurşun asit batarya kullanılmıştır.

Bataryanın minimum şarj durumu ($BŞD_{min}$), yakıt hücresinin çalışmasını sağlar ve bataryanın maksimum şarj durumu ($BŞD_{max}$) ise elektrolizörün çalışmasını düzenler. Elektrolizörün çalışması ya sadece yenilenebilir kaynaklar tarafından ya da yenilenebilir kaynaklar ve batarya tarafından desteklenebilir. Bununla birlikte şebekeden bağımsız sistemin çalışma zamanı ve hidrojen stoğu gibi çalışma değişkenlerinin sahip olduğu yakıt hücresi ve bataryanın şarj durum sınırları (minimum şarj durumu % 40 ve maksimum şarj durumu ise % 80 seçilmiştir) çalışması gibi temel değişkenlerdeki etkiler, program ile elde edilmiştir.

Yenilenebilir enerji üretim kaynaklarından üretilen enerji sabit veya zaman içersinde yavaş değişmiş olması durumunda sistemin çalışma mantığı basit olmaktadır. Ancak güç üretiminin büyük değişkenliği ve yenilenebilir enerji kaynakların rasgele davranışları enerji yönetim sisteminin karmaşıklığını artırmaktadır. Ayrıca elektrolizör ve yakıt hücresinin sık sık çalıştırılıp durdurulması, bu sistemlerin performansını ve ömürlerini azaltır. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynaklı enerji üretimindeki kısa süreli değişkenliklerde devreye girmek amacıyla kurşun asit bataryalar sistemin önemli bir bileşeni olmaktadır.

Tez çalışması için kullanılan sistemde uygulanan enerji yönetim stratejisinin temel amacı, değişik hava şartları altında yükün talebinin karşılanmasını sağlamak için en uygun üretim biriminin seçimini sağlamaktır.

Diğer yandan bir bataryanın işlem döngüleri (şarj - deşarj çevrimi), ömrünü etkiler daha sonra tüm sistemin işletme ve bakım maliyetlerini etkiler. Bu açıdan enerji yönetim stratejisinin en uygun şekilde belirlenmesi için geliştirilen bilgisayar programında kullanılan akış diyagramı Şekil 4.5'te görülmektedir. Öncellikle FV güneş panel gücü, rüzgâr türbini gücü, mikro hidroelektrik santral gücü, batarya şarj durumları ve yük talep güç değerleri alınır. Daha sonra yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen güçlerin toplamı alınır. Bu toplam değer ile yük talep gücü arasındaki fark alınarak elde edilen değere göre program devam etmektedir.



Şekil 4.5. Enerji yönetim sistemi programı için akış diyagramı

Şekil 4.5'teki akış diyagramında kullanılan terimler, Şekil 4.4'te kullanılanlar dışında kalanlar aşağıdaki gibi ;

$P_{YEK(t)}$: Yenilenebilir enerji kaynakları gücü (kW)

BŞD : Batarya şarj durumu (%)

$BŞD_{min}$: Bataryanın Minimum Şarj durumu

$BŞD_{max}$: Bataryanın Maksimum Şarj durumu

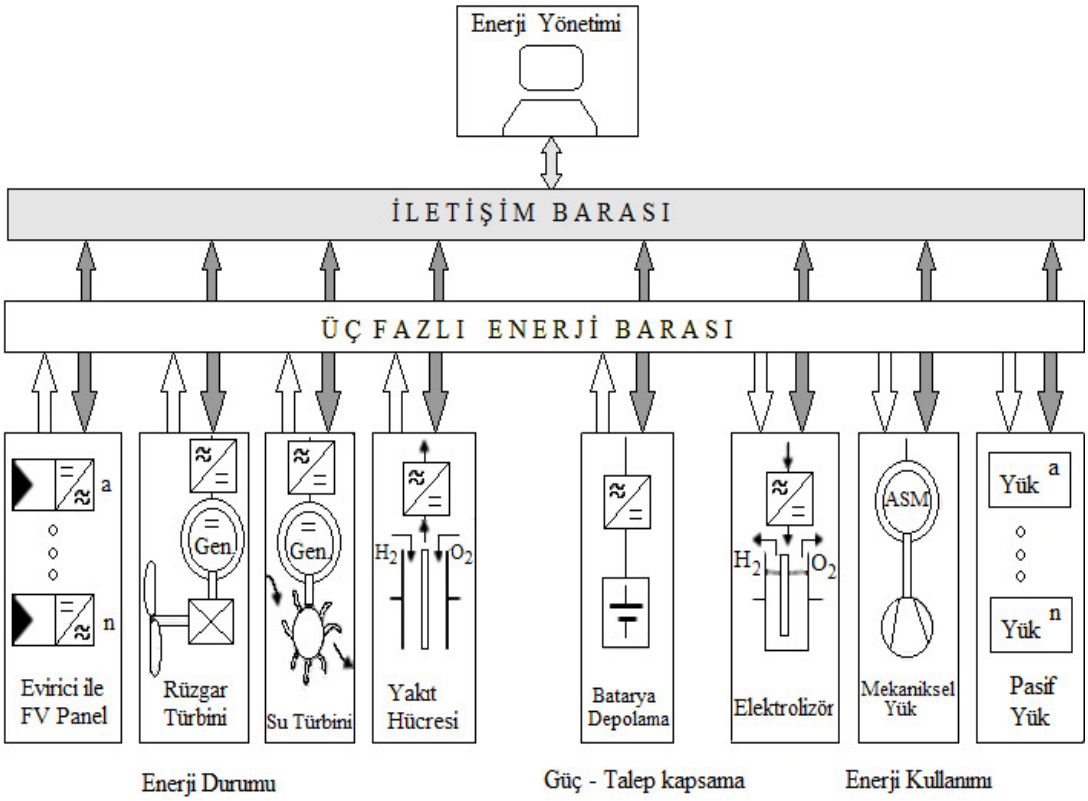
P_{elek} : Elektrolizör gücü (kW)

P_{yh} : Yakıt hücresi gücü (kW)

P_{bat} : Batarya gücü (kW)

belirlenmiştir.

Mikro şebeke için geliştirilen enerji yönetimi prensip şeması Şekil 4.6'da verilmiştir.

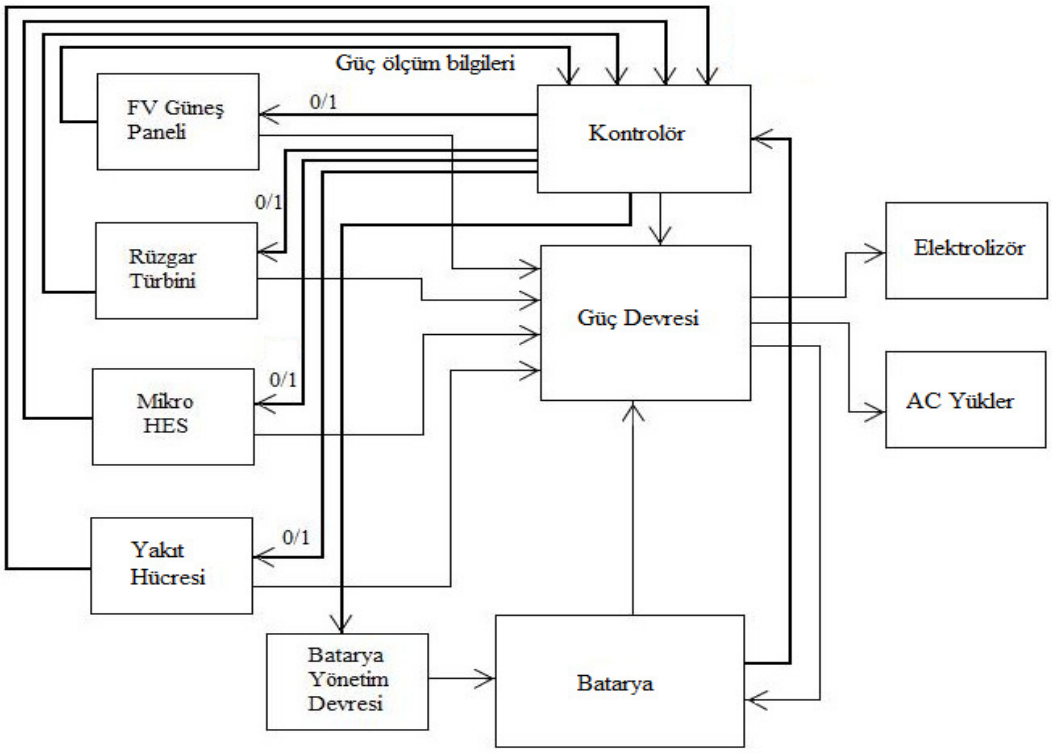


Şekil 4.6. Mikro şebeke için geliştirilen enerji yönetimi prensip şeması

Şekil 4.6'da görüldüğü gibi mikro şebekeyi oluşturan tüm sistem birimleri, üç fazlı enerji barasına bağlanmıştır. Bu birimler, iletişim barası üzerinden enerji yönetimi programına dahil olmaktadır.

Sistemin enerji durumu bloğunda FV panel, rüzgâr türbini, su türbini ve yakıt hücresi ile birlikte bunlara ait dönüştürücüler bulunmaktadır. Güç talep kapsama bloğunda batarya depolama bulunmaktadır. Enerji kullanımı bloğunda ise elektrolizör, mekaniksel yük ve pasif yükler bulunmaktadır. Tüm bloklar için en uygun güç kullanımı, geliştirilen bilgisayar programı ile gerçekleştirilmektedir.

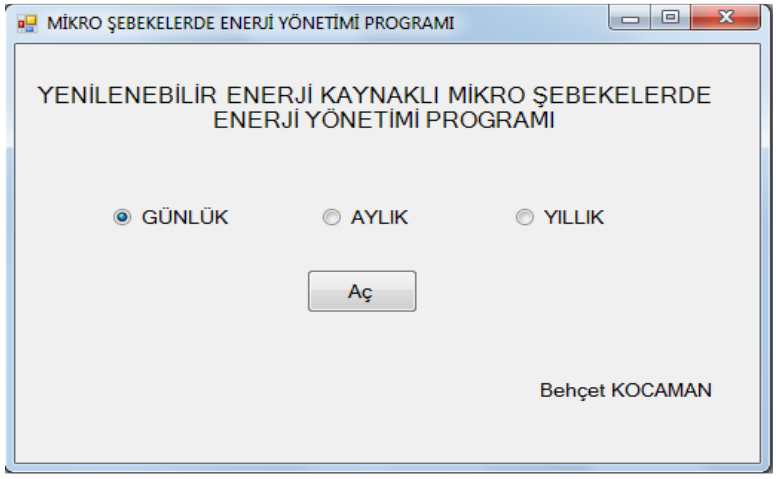
Şekil 4.7'de Mikro şebeke sistemine ilişkin kontrol ve güç devresi görülmektedir. Burada güç devresi ince, kontrol devresi ise kalın çizgilerle çizilmiştir. FV panel, rüzgâr türbini, mikro hidrolektrik, yakıt hücresi, batarya, elektrolizör ve AC yükler güç devresine bağlanmıştır. Kontrol devresinde bulunan kontrolör, güç ölçüm bilgilerini alarak gerekli olan birimi devreye alacak veya devreden çıkaracaktır. Batarya yönetim devresi, şarj durumuna göre kontrolör tarafından denetlenecektir.



Şekil 4.7. Mikro şebeke için kontrol ve güç devresi

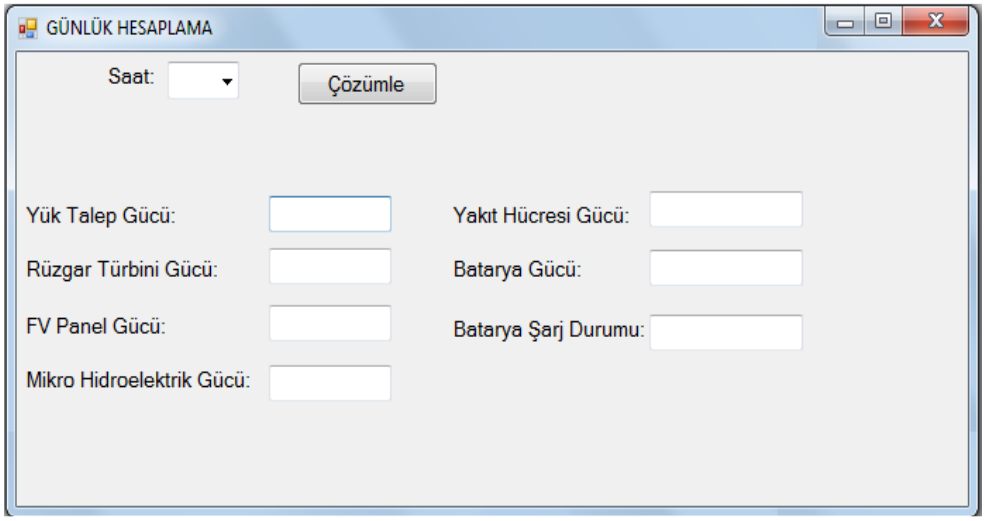
4.2. Günlük Enerji Yönetim Programı

Yenilenebilir enerji kaynaklı mikro şebekeler için geliştirilen enerji yönetimi programı için oluşturulan Şekil 4.5'teki akış diyagramına ilişkin Microsoft Visual Studio C Sharp (C#) dilinde yazılan enerji yönetimi programının kodları EK-B'de verilmiştir. Program çalıştırıldığında ekrana Şekil 4.8'deki görüntü gelir. Buradan isteğe bağlı olarak günlük, aylık veya yıllık seçeneklerinden biri seçilebilir.



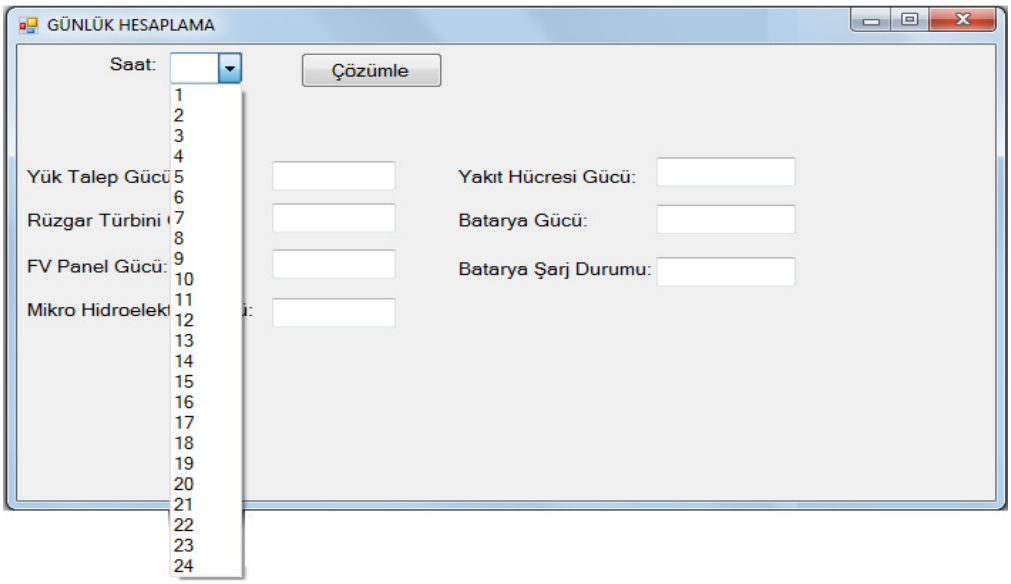
Şekil 4.8. Programın ilk ekran görüntüsü

Şekil 4.8'de görüldüğü gibi günlük seçeneği işaretlenmiştir. Günlük değer seçilip "Aç" tıklandığında mikro şebeke için günlük enerji yönetimi programı çalışacaktır. Programı için bahar mevsiminin herhangi bir günü için veriler kullanılmıştır. Bu durumda Şekil 4.9'daki ekran açılacaktır.



Şekil 4.9. Günlük seçeneği işaretlendiğinde ekrana çıkan görüntü

Şekil 4.9'da saat yazılan kısımdaki işaret tıklandığında Şekil 4.10'daki görüntü ekrana gelecektir.



Şekil 4.10. Saat seçim işlemi

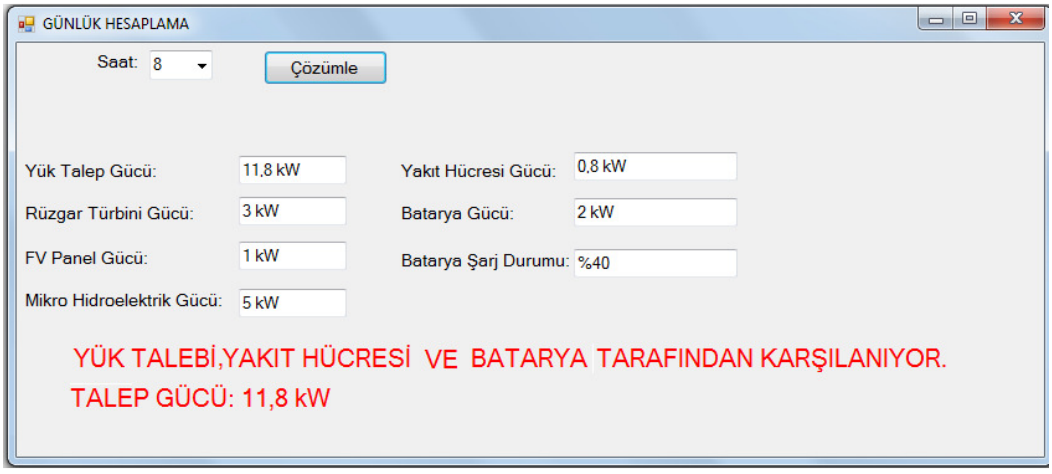
Şekil 4.10'daki ekrandan günün istenilen saati seçilebilir. İstenilen saat seçildikten sonra, daha önceden benzer çalışmalardan alınan ve veri tabanına aktarılan veriler

alınarak programda işlenecek ve çözümle butunona tıklandığında, o anki güç durumu ekrana gelecektir. Program Saat 03:00 için çalıştırıldığında Şekil 4.11'deki görüntü ekrana gelecektir.



Şekil 4.11. Saat 03:00 için güç durumu

Şekil 4.11'de görüldüğü gibi saat 03:00 itibarı ile yükün talep ettiği güç 7,7 kW'tır. Söz konusu saate yenilenebilir enerji kaynaklarından FV panelden güç üretilmemekte ancak rüzgâr türbininden elde edilen güç miktarı 2 kW ve mikro hidroelektrik santralden üretilen güç miktarı 5 kW olmak üzere toplam 7 kW güç üretilmiştir. Yükün talebini karşılamak için ihtiyaç duyulan 7,7 kW'lık gücün 7 kW'ı yenilenebilir enerji kaynaklarından ve geriye kalan 0,7 kW'lık güç, batarya tarafından karşılanmıştır. Hesaplama yapılan saate batarya, şarj durum oranı %66'dır. Program saat 08:00 için çalıştırıldığında Şekil 4.12.'deki görüntü ekrana gelecektir.



Şekil 4.12. Saat 08:00 için güç durumu

Şekil 4.12'de görüldüğü gibi saat 08:00 itibarı ile yükün talep ettiği güç 11,8 kW'tır. Söz konusu saate yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgâr türbininden elde edilen güç miktarı 3 kW, FV panelden elde edilen güç miktarı 1 kW ve mikro hidroelektrik santralden üretilen güç miktarı 5 kW olmak üzere toplam 9 kW güç üretilmiştir.

Yükün talebini karşılamak için ihtiyaç duyulan 11,8 kW'lık gücün 9 kW'ı yenilenebilir enerji kaynaklarından, geriye kalan 2,8 kW'lık gücün 2 kW'ı batarya tarafından ve 0,8 kW'ı ise yakıt hücresi tarafından karşılanmıştır. Hesaplama yapılan saate batarya şarj durum oranı %40'tır.

Enerji yönetim program saat 15:00 için çalıştırıldığında Şekil 4.13.'teki görüntü ekrana gelecektir.

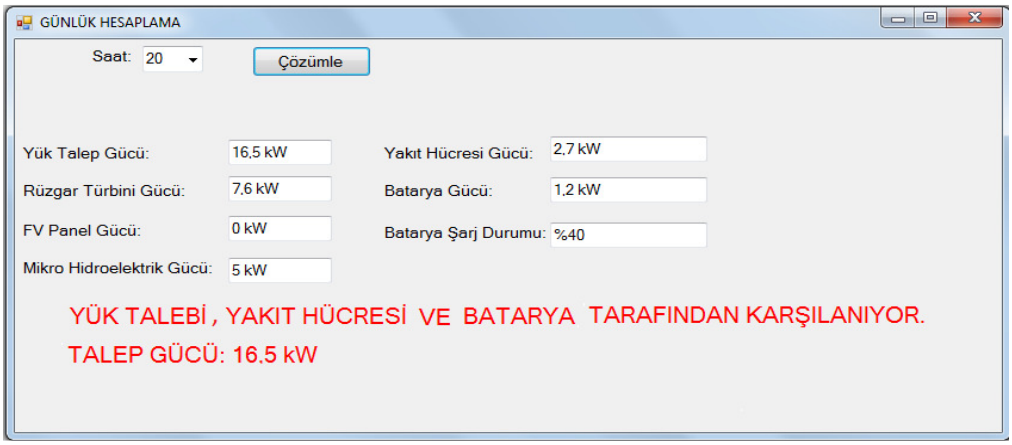


Şekil 4.13. Saat 15:00 için güç durumu

Şekil 4.13'te görüldüğü gibi saat 15:00 itibarı ile yükün talep ettiği güç 12,3 kW'tır. Söz konusu saate yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgâr türbininden elde edilen güç miktarı 9 kW, FV panelden elde edilen güç miktarı 9 kW ve mikro hidroelektrik santralden üretilen güç miktarı 5 kW olmak üzere toplam 23 kW güç üretilmiştir.

Yükün talebini karşılamak için ihtiyaç duyulan 12,3 kW'lık güç, yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmıştır. Fazla kalan 10,7 kW'lık güç, hidrojen üretimi için elektrolizörde kullanılmıştır.

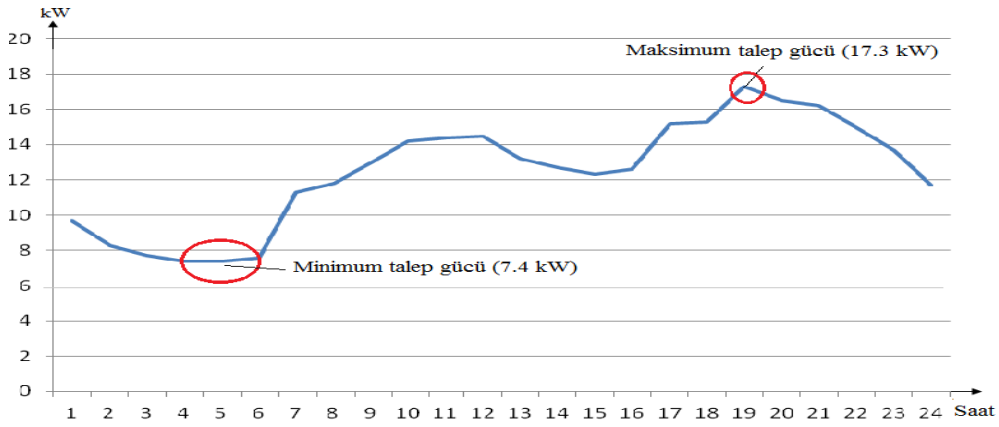
Hesaplama yapılan saate batarya şarj durum oranı %80'dır. Program saat 20:00 için çalıştırıldığında Şekil 4.14'teki görüntü ekrana gelecektir.



Şekil 4.14. Saat 20:00 için güç durumu

Şekil 4.14'te görüldüğü gibi saat 20:00 itibarı ile yükün talep ettiği güç 16,5 kW'tır. Söz konusu saate yenilenebilir enerji kaynaklarından FV panelden güç üretilmemekte ancak rüzgâr türbininden elde edilen güç miktarı 7,6 kW ve mikro hidroelektrik santralden üretilen güç miktarı 5 kW olmak üzere toplam 12,6 kW güç üretilmiştir. Yükün talebini karşılamak için ihtiyaç duyulan 16,5 kW'lık gücün 12,6 kW'ı yenilenebilir enerji kaynaklarından, geriye kalan 3,9 kW'lık gücün 1,2 kW'ı batarya tarafından ve 2,7 kW'ı ise yakıt hücresi tarafından karşılanmıştır. Hesaplama yapılan saatte batarya şarj durum oranı %40'tır.

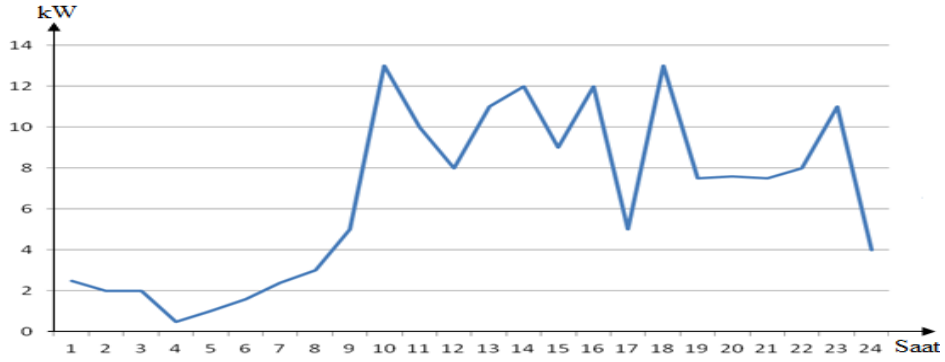
Hazırlanan programla günün 24 saati için o anki yenilenebilir enerji kaynaklarının ürettiği güç miktarı ile yükün talep ettiği güç miktarındaki duruma göre; her bir üretim biriminin ürettiği güç durumu program ekranından görülür. Günün her bir saati için alınan değerler, kaydedilip grafiklerle çizilmiştir. Şekil 4.15' te günlük yük talebi değişimi verilmiştir.



Şekil 4.15. Günlük yük talep değişimi

Şekil 4.15'te görüldüğü gibi talep edilen güç miktarı, gün içersinde farklılık göstermektedir. Bu farklılıklar yaşam şartlarından kaynaklanmaktadır. Gün içersindeki maksimum talep güç miktarı 17,3 kW ile saat 19:00'da, minimum talep güç miktarı ise 7,4 kW ile saat 04:00 ve 05:00'da olmuştur. Gün içersinde ortalama talep gücü 12,5 kW olmuştur.

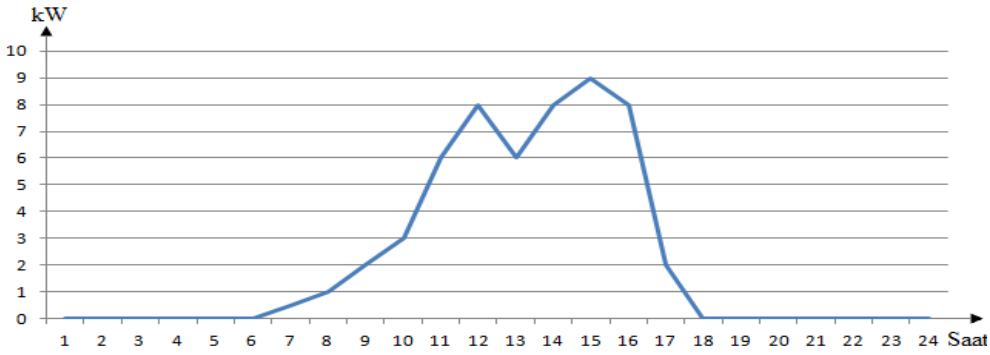
Şekil 4.16'da rüzgârın gün içindeki esme hızına bağlı olarak, rüzgâr türbininden üretilen bir günlük elektrik gücü değişimi verilmiştir.



Şekil 4.16. Rüzgâr türbininden günlük güç üretimi değişimi

Şekil 4.16'da görüldüğü gibi rüzgârın güç üretim miktarı, gün içersinde farklılık göstermektedir. Bu farklılıklar rüzgâr türbinlerinden elde edilen gücün meteorolojik şartlara bağlı ve kesintili olan rüzgâr hızından kaynaklanmaktadır. Gün içersinde üretilen maksimum güç miktarı 13 kW ile saat 10:00 ve 18:00'da, üretilen minimum güç miktarı ise 0,5 kW ile saat 04:00'da olmuştur. Gün içersinde rüzgâr türbininden elde edilen ortalama güç miktarı 6,6 kW olmuştur.

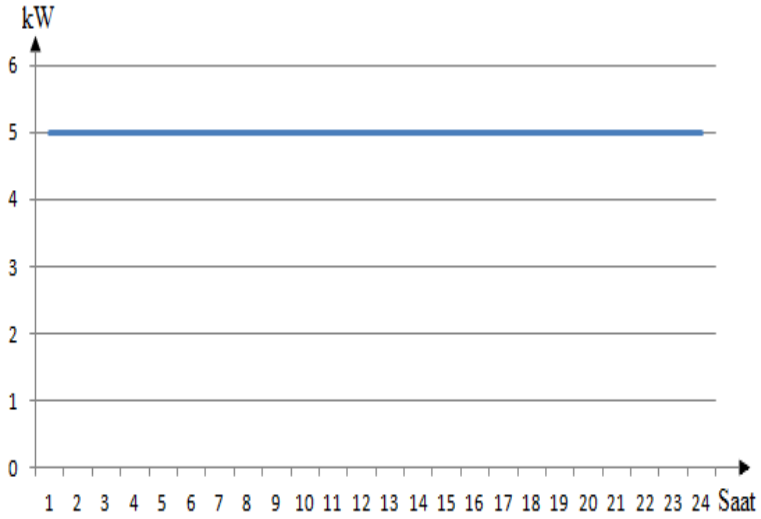
Şekil 4.17'de bir günlük FV panelden üretilen güç miktarı değişimi görülmektedir.



Şekil 4.17. FV panelden günlük güç üretimi değişimi

Şekil 4.17'de görüldüğü gibi, güneş ışınlarına bağlı olarak 18:00-24:00 saatleri ve 01:00-06:00 saatleri arasında güneş olmadığı için FV panelden güç üretilmemiştir. Güneşin olduğu 07:00 -17:00 saatleri arasında ise güneş ışınlarının miktarına bağlı olarak üretilen elektrik güç miktarı değişmektedir. FV panelden gün içersinde üretilen maksimum güç miktarı 9 kW ile saat 15:00'da, minimum güç miktarı 0,5 kW ile saat 07:00'da olmuştur. Gün içersinde ortalama üretilen güç miktarı ise 2,23 kW olmuştur.

Şekil 4.18'de akarsuyun debisine bağlı olarak mikro hidroelektrik santralden üretilen bir günlük elektrik gücü verilmiştir.

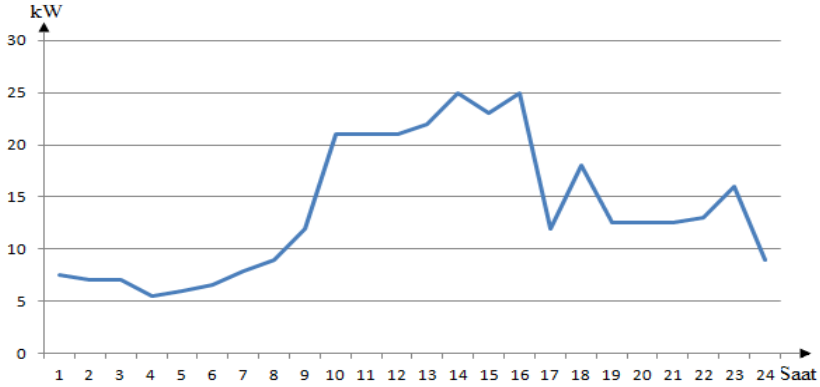


Şekil 4.18. Günlük mikro hidroelektrik santral güç üretimi

Şekil 4.18'de mikro hidroelektrik santralden üretilen güç miktarının 5 kW ile gün içinde sabit kaldığı görülmektedir. Söz konusu santralden üretilen gücün sabit olması, suyun debisinde gün içinde farklılık olmadığından kaynaklanmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklı rüzgâr türbini, FV panel ve mikro hidroelektrik santralden üretilen güç miktarının gün içindeki değişimi Şekil 4.19'da verilmiştir.

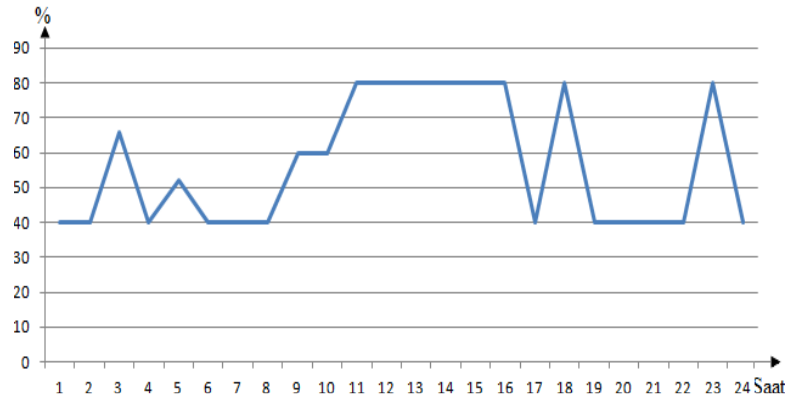
Şekil 4.19'da görüldüğü gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen güç miktarı, gün içersinde farklılık göstermektedir. Bu farklılıklar sistemde bulunan üretim kaynaklarının güç üretiminin meteorolojik şartlara bağlı olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.19. Yenilenebilir enerji kaynaklarından günlük üretilen güç değişimi

Gün içersinde üretilen maksimum güç miktarı 25 kW ile saat 14:00 ve 16:00'da, üretilen minimum güç miktarı ise 5,5 kW ile saat 04:00'da olmuştur. Gün içersinde yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen ortalama güç miktarı 3,84 kW olmuştur.

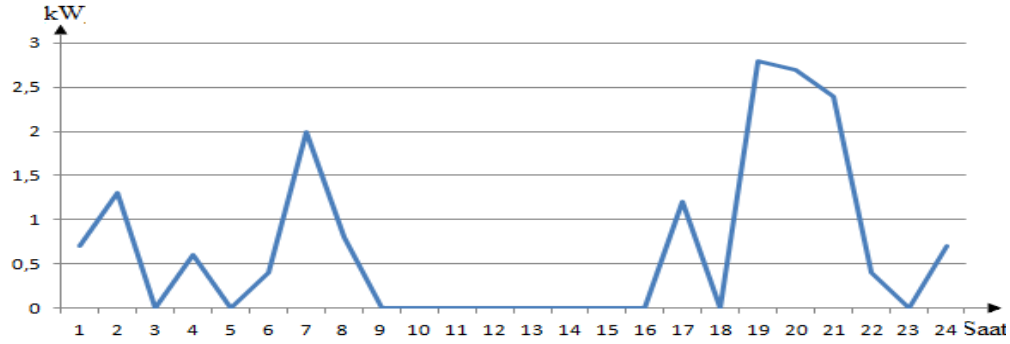
Gün içersinde yük talebini karşılamada önemli bir rol üstlenen ve depolama birimi olan bataryanın şarj durumu değişimi Şekil 4.20'de verilmiştir. Şarj durumunun maksimum seviyesi %80 ve minimum seviyesi %40 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.20. Batarya şarj durumunun gün içindeki değişimi

Şekil 4.20'de görüldüğü gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının ürettiği gücün yük talebinden fazla olduğu saatlerde (saat 10:00-16:00 arası, saat 18:00 ve saat 23:00) bataryanın seçilen maksimum şarj değerinde olduğu görülmektedir. Ancak diğer saatlerde yükün ihtiyacına göre şarj durumu değişiklik göstermektedir.

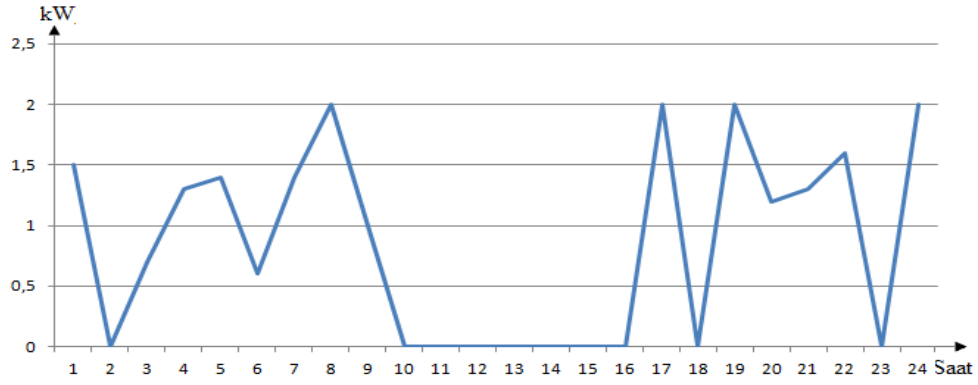
Yük talebinin karşılanmasında kullanılan yakıt hücresinin, gün içinde yüke aktardığı güç değişimi Şekil 4.21'de verilmiştir.



Şekil 4.21. Yakıt hücresinin gün içinde karşıladığı güç değişimi

Şekil 4.21'de görüldüğü gibi, yük talebinin karşılanması için sistemde bulunan üretim kaynakları ve bataryanın ürettiği güçlerin yeterli olduğu saatlerde (saat 03:00, 05:00, 09:00-16:00, 18:00 ve 23:00 yakıt hücresinden güç karşılanmadığı görülmekdedir. Geriye kalan saatlerde yükün talebini karşılayacak miktardaki güç, yakıt hücresinden karşılanmıştır. Yakıt hücresinden gün içersinde karşılanan maksimum güç miktarı 2,8 kW ile saat 19:00'da, minimum güç miktarı 0,4 kW ile saat 06:00 ve 22:00'da olmuştur. Gün içersinde yakıt hücresinden karşılanan ortalama güç miktarı ise 0,67 kW olmuştur.

Kısa süreli depolama birimi olarak kullanılan batarya'nın gün içersinde yük talebini karşılamada yüke aktardığı güç değişimi Şekil 4.22'de verilmiştir.

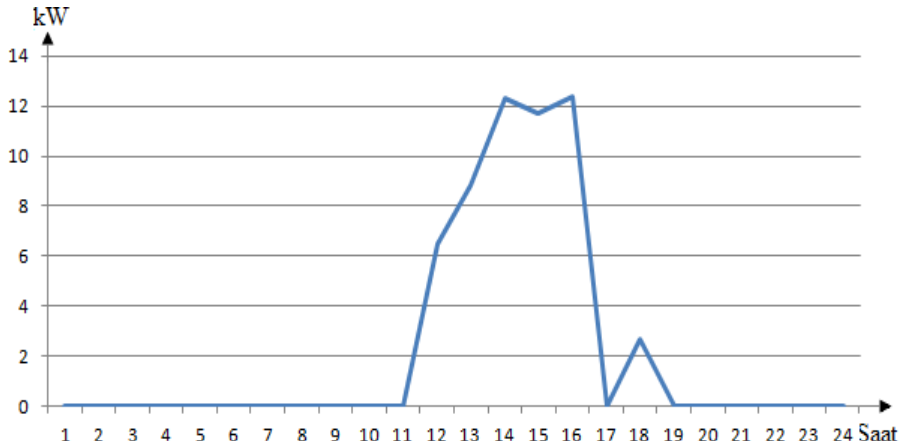


Şekil 4.22. Batarya'nın karşıladığı günlük güç değişimi

Batarya'nın yük talebinin karşılaması için öncellikle şarj durumunun minimum seviyesinin üzerinde olması gerekmektedir. Şekil 4.22'de görüldüğü gibi yük talep gücü ihtiyacının diğer üretim sistemlerinden karşılanan saatlerde (10:00-16:00, 18:00 ve 23:00 saatleri) veya batarya şarj durumunun yeterli olmadığı saate (saat 02:00) batarya'dan güç karşılanmamıştır. Geriye kalan saatlerde yükün talebini karşılayacak

miktardaki güç, batarya'dan karşılanmıştır. Batarya'dan gün içersinde karşılanan maksimum güç miktarı 2 kW ile saat 08:00, 17:00, 19:00 ve 24:00'da, minimum güç miktarı 0,6 kW ile saat 06:00'da olmuştur. Gün içersinde ortalama karşılanan güç miktarı ise 0,83 kW olmuştur.

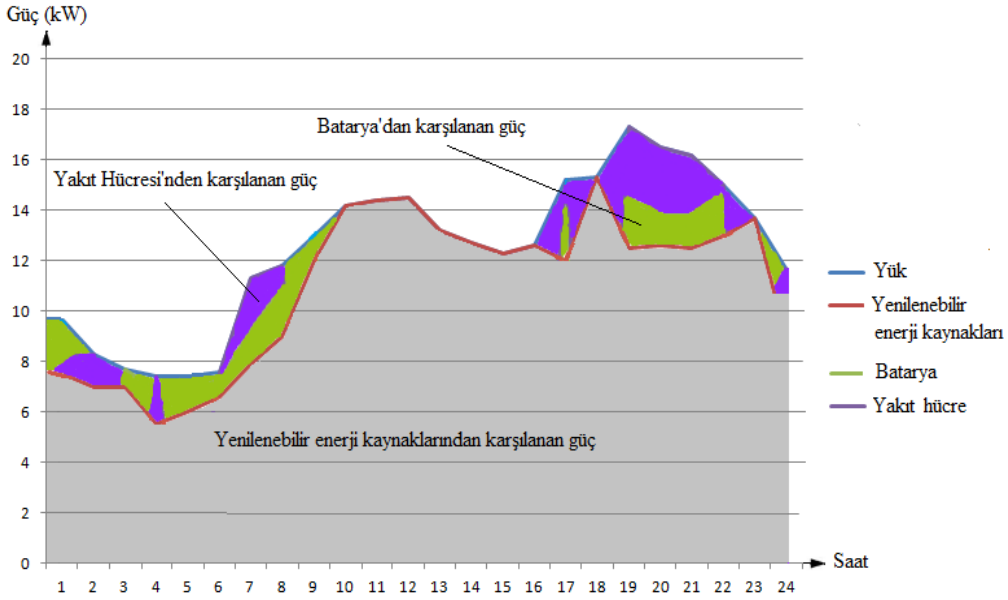
Yük talebinin az ve güç üretiminin fazla olduğu durumlarda fazla güç; bataryaları şarj ettikten sonra geriye kalan kısmı hidrojen üretimi için elektrolizör'e aktarılacaktır. Elektrolizör'ün maksimum gücünden fazla olan miktarı ise gece saatlerinde sokak ve bina dış yüzeyi aydınlatmalarında değerlendirilebilir. Gün içersinde elektrolizöre yönlendirilen güç değişimi Şekil 4.23'te verilmiştir.



Şekil 4.23. Gün içersinde elektrolizöre uygulanan güç değişimi

Şekil 4.23'te görüldüğü gibi elektrolizör'ün yük talebinden fazla kalan güç ile çalıştığı görülmektedir. Yükün güç talebi olduğunda ise çalışmadığı görülmektedir. Gün içersinde elektrolizör'e uygulanan maksimum güç miktarı 12,4 kW ile saat 16:00'da, minimum güç miktarı ise 2,3 kW ile saat 23:00'da olmuştur.

Gün boyunca yükün talep ettiği gücün; yenilenebilir enerji kaynaklarından, bataryadan ve yakıt hücresinden karşılandığı durumu gösteren grafik Şekil 4.24.'te verilmiştir. Görüldüğü gibi yükün talep ettiği gücün büyük miktarı yenilenebilir enerji kaynaklı olan rüzgâr türbini, FV panel ve mikro hidroelektrik üretim birimlerinden karşılanmıştır. Ancak bu kaynakların yeterli olmadığı durumlarda ihtiyaç duyulan güç, batarya ve yakıt hücresi'nden karşılanmıştır. Günün belli bir zamanında (10:00-16:00 saatleri arası) güç talebi sadece yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmıştır. Yük talebinden fazla kalan güç ise elektrolizör'de kullanılmıştır.



Şekil 4.24. Bir günlük talep edilen yükün, enerji üretim birimlerinden karşılanması

Bir günde sistemdeki tüm üretim kaynaklarından üretilen enerji 368,1 kWh'tır. Üretilen enerjinin, mikro şebekede bulunan kaynaklara göre dağılımları ve yüzdeleri Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3. Bir günlük üretilen elektrik enerjisinin kaynakları ve yüzdeleri

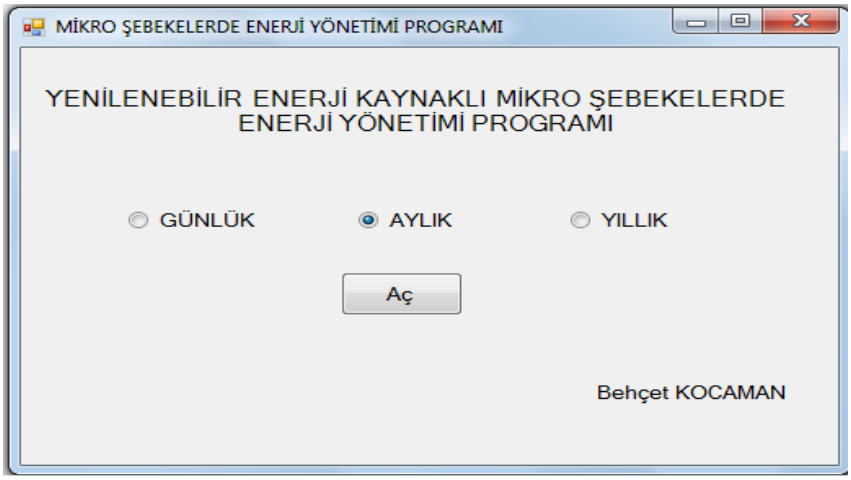
Kaynak	Enerji (kWh)	Üretim (%)
FV Panel	53,5	14,5
Rüzgâr türbini	158,6	43,08
Mikro hidroelektrik	120	32,6
Batarya	20	5,4
Yakıt hücresi	16	4,42

Tablo 4.3'te görüldüğü gibi, gün boyunca üretilen enerjinin %43,08'i (en büyük pay) rüzgâr türbininden ve %3,93 (en küçük pay) ile bataryadan karşılanmıştır. Gün boyunca yükün tükettiği enerji ise 299 kWh'tır.

Yenilenebilir enerji üretim kaynaklarından üretilen ve yük talebinden fazla olan gücün bir miktarı, elektrolizör'de daha sonra yakıt hücresinde kullanılmak üzere hidrojen üretiminde, geriye kalan kısmı ise batarya şarjında kullanılmıştır. Bataryaların maksimum şarj olması durumunda ve elektrolizörün maksimum H_2 depolama ihtiyaç gücünden fazla kalan güç, atık yüke aktarılarak boşaltılmıştır.

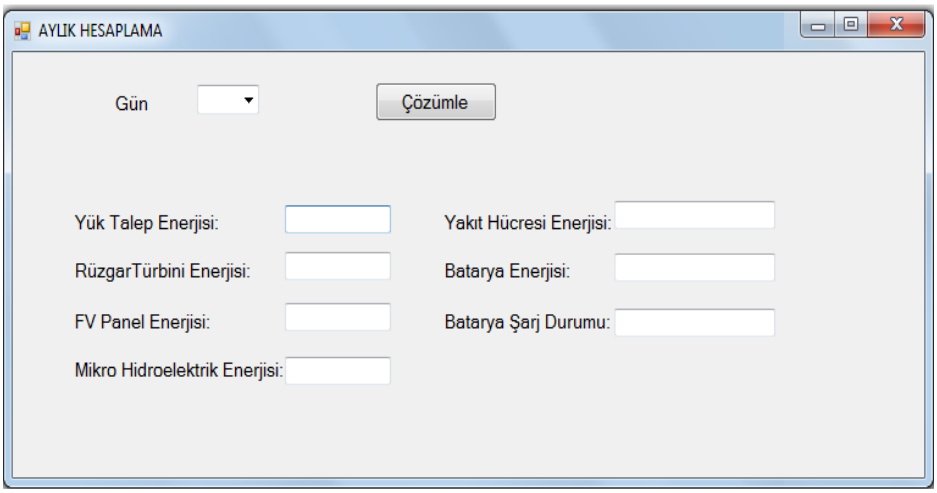
4.3. Aylık Enerji Yönetim Programı

Yenilenebilir enerji kaynaklı mikro şebeke için geliştirilen enerji yönetimi programının günlük verilerinde yapılan değerledirmeler gibi aylık verilere göre değerlendirmesi için Şekil 4.25'te verilen programın ilk görüntüsünden aylık seçeneği işaretlenir.



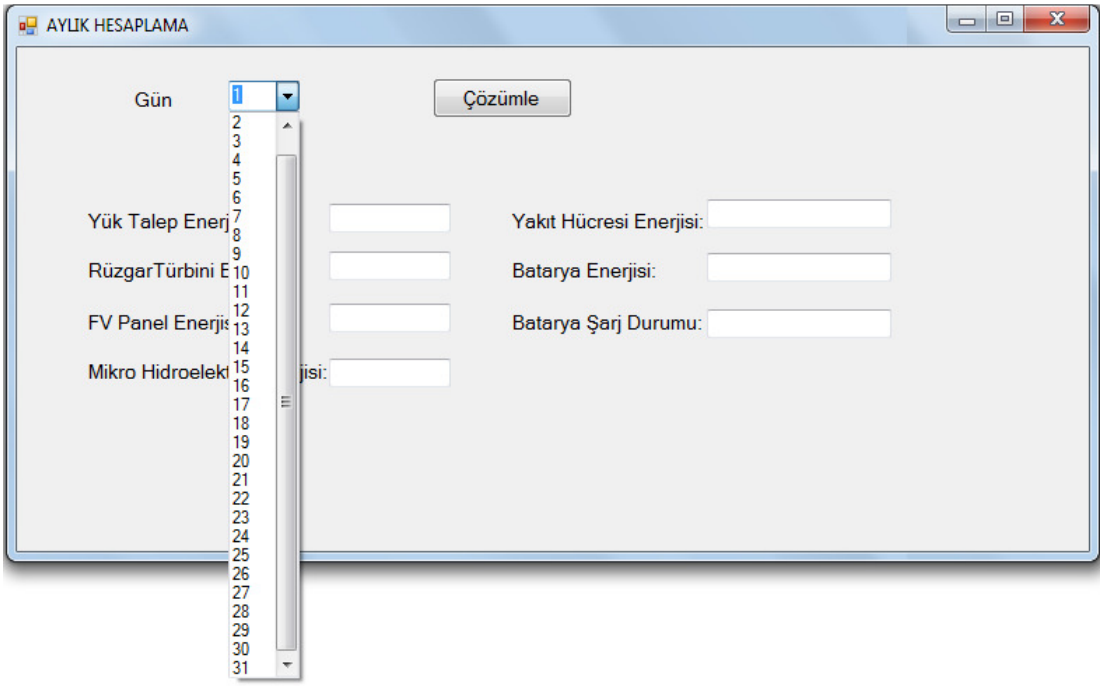
Şekil 4.25. Enerji yönetim programının aylık çalıştırma ekranı

Şekil 4.25'te görüldüğü gibi aylık seçeneği işaretlenip, "Aç" tıklandığında mikro şebeke için aylık enerji yönetimi programı çalışacaktır. Program için bahar mevsiminin herhangi bir ay'ının verileri kullanılmıştır. Yani yenilenebilir enerji kaynaklı üretim birimlerinden elde edilen enerji ve yükün talep ettiği enerji durumları bahar mevsimi dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Bu durumda Şekil 4.26'daki ekran açılacaktır.



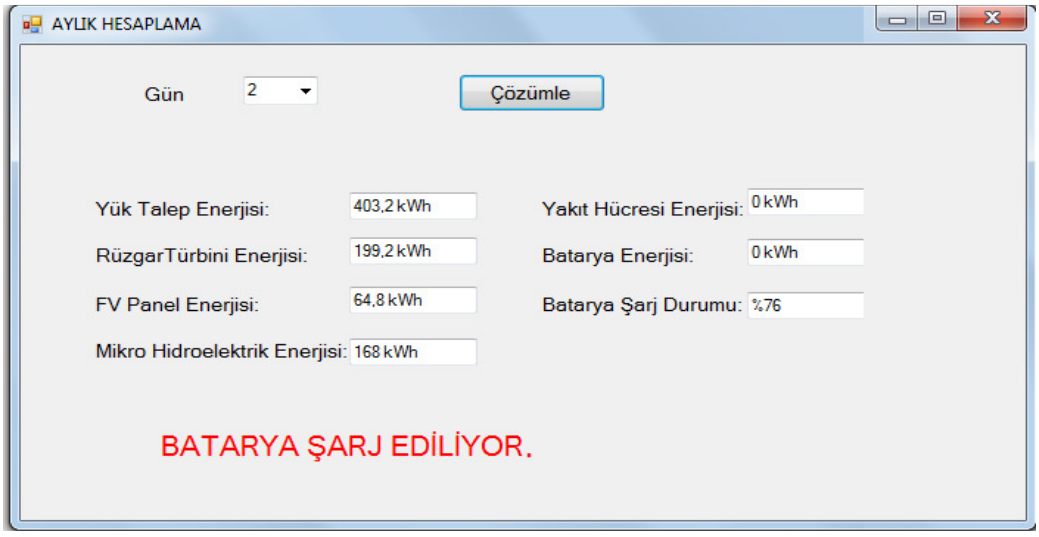
Şekil 4.26. Aylık seçeneği işaretlendiğinde ekrana çıkan görüntü

Şekil 4.26'da gün yazılan kısımdaki işaret tıklandığında Şekil 4.27'de görülen ekran görüntüsünden ay'ın istenilen günü seçilebilir.



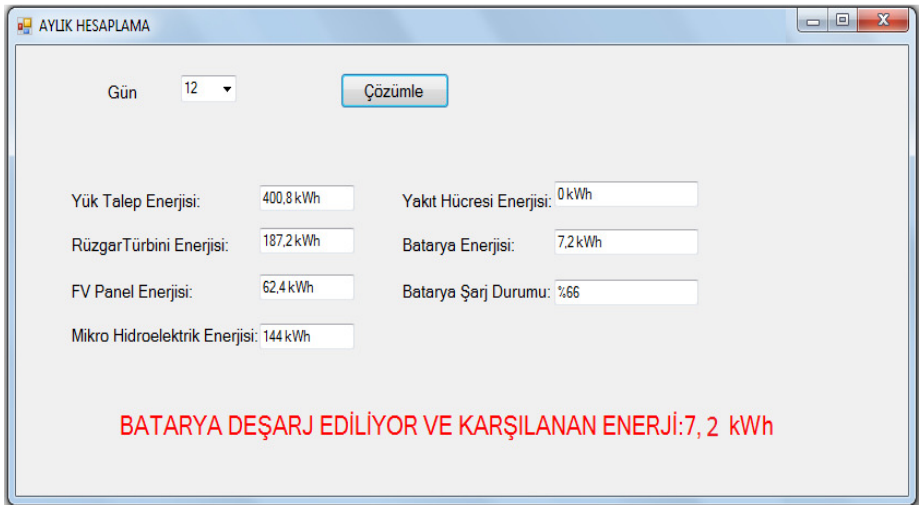
Şekil 4.27. Gün seçim işlemi

Şekil 4.27'deki ekrandan ay'ın istenilen günü seçilebilir. İstenilen gün seçildikten sonra, daha önceden benzer çalışmalardan alınan ve veri tabanına aktarılan veriler alınarak programda işlenecek ve çözümle butunona tıklandığında, o günün enerji durumu ekrana gelecektir. 2. gün için program çalıştırıldığında program çıktısı Şekil 4.28'deki gibi ekrana gelecektir.



Şekil 4.28. Ay'ın 2. günü için enerji durumu

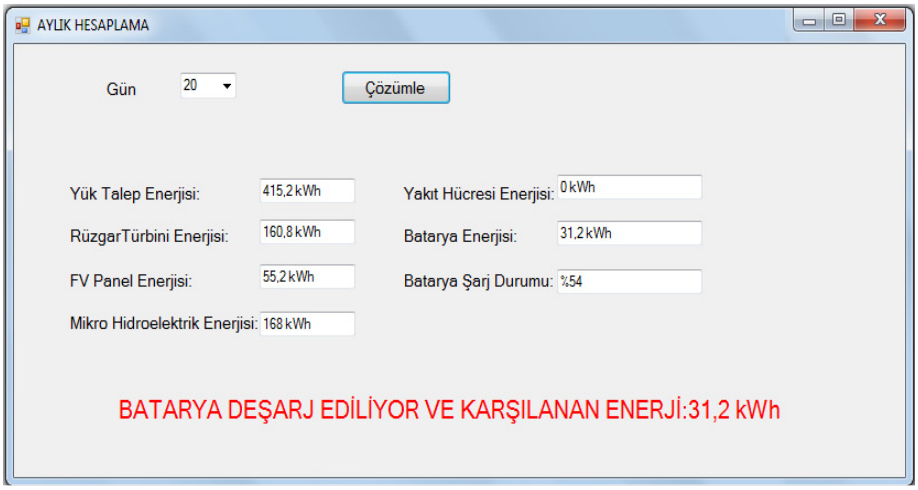
Şekil 4.28'de görüldüğü gibi 2. günde yükün talep ettiği enerji, 403,2 kWh'tır. Söz konusu günde, rüzgâr türbininden elde edilen enerji miktarı 199,2 kWh, FV panelden 64,8 kWh ve mikro hidroelektrik santralden üretilen enerji miktarı 168 kWh olmak üzere toplam 432 kWh enerji üretilmiştir. Yükün talebini karşılamak için ihtiyaç duyulan 403,2 kWh'lık enerji, yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmıştır. Fazla olan enerji elektrolizör'e aktarılmıştır. Gün sonunda batarya %76 oranında şarj durumundadır. Benzer şekilde program, 12. gün için çalıştırıldığında program çıktısı Şekil 4.29.'daki gibi ekrana gelecektir.



Şekil 4.29. Ay'ın 12. günü için enerji durumu

Şekil 4.29'da görüldüğü gibi 12. günde yükün talep ettiği enerji 400,8 kWh'tır. Söz konusu günde, rüzgâr türbininden elde edilen enerji miktarı 187,2 kWh, FV panelden 62,4 kWh ve mikro hidroelektrik santralden üretilen enerji miktarı 144 kWh olmak üzere toplam 393,6 kWh enerji üretilmiştir.

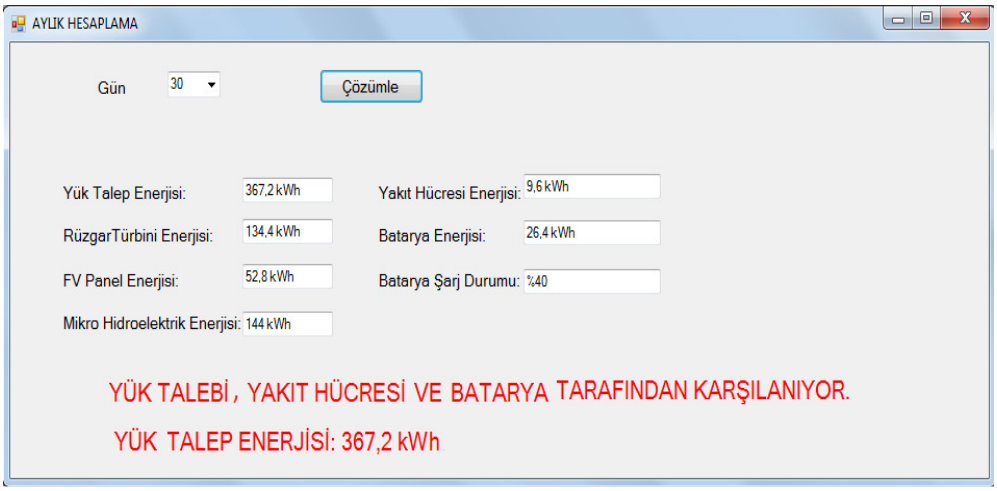
Yükün talebini karşılamak için ihtiyaç duyulan 400,8 kWh'lık enerjinin 393,6 kWh'lık kısmı yenilenebilir enerji kaynaklarından ve geriye kalan 7,2 kWh'lık kısmı ise batarya'dan karşılanmıştır. Gün sonunda batarya % 66 oranında şarj durumundadır. Program 20. gün için çalıştırıldığında program çıktısı Şekil 4.30'daki gibi ekrana gelecektir.



Şekil 4.30. Ay'ın 20. günü için enerji durumu

Şekil 4.30'da görüldüğü gibi 20. günde yükün talep ettiği enerji 415,2 kWh'tır. Söz konusu günde, rüzgâr türbininden elde edilen enerji miktarı 160,8 kWh, FV panelden 55,2 kWh ve mikro hidroelektrik santralden üretilen enerji miktarı 168 kWh olmak üzere toplam 384 kWh enerji üretilmiştir.

Yükün talebini karşılamak için ihtiyaç duyulan 415,2 kWh'lık enerjinin 384 kWh'lık kısmı yenilenebilir enerji kaynaklarından ve geriye kalan 31,2 kWh'lık kısmı ise batarya'dan karşılanmıştır. Gün sonunda batarya %54 oranında şarj durumundadır. Program 30. gün için çalıştırıldığında program çıktısı Şekil 4.31'deki gibi ekrana gelecektir.

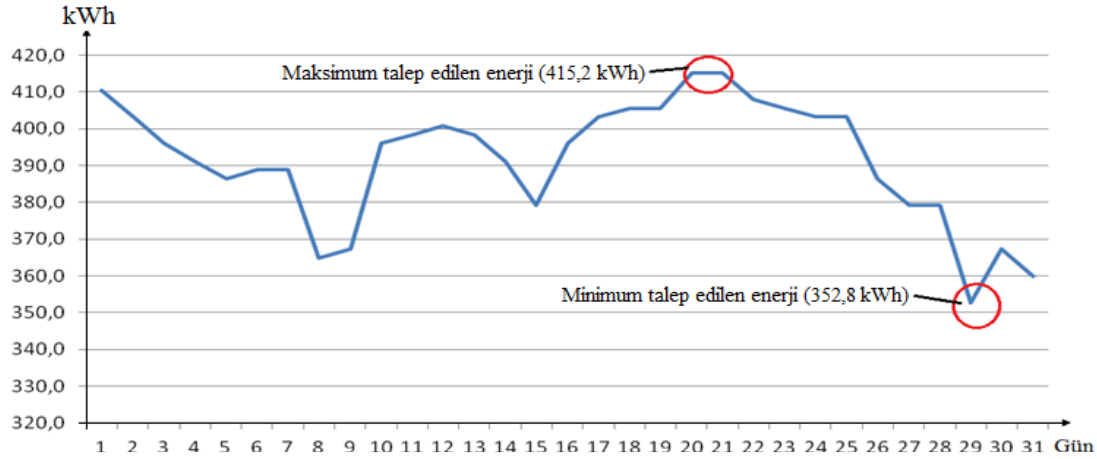


Şekil 4.31. Ay'ın 30. günü için enerji durumu

Şekil 4.31'de görüldüğü gibi 30. günde yükün talep ettiği enerji 367,2 kWh'tır. Söz konusu günde, rüzgâr türbininden elde edilen enerji miktarı 134,4 kWh, FV panelden

52,8 kWh ve mikro hidroelektrik santralden üretilen enerji miktarı 144 kWh olmak üzere toplam 331,2 kWh enerji üretilmiştir. Yükün talebini karşılamak için ihtiyaç duyulan 367,2 kWh'lık enerjinin 331,2 kWh'lık kısmı yenilenebilir enerji kaynaklarından ve geriye kalan 36 kWh'lık kısmın 9,6 kWh'ı yakıt hücresi'nden ve 26,4 kWh'ı ise batarya'dan karşılanmıştır.

Hazırlanan enerji yönetimi programında ay'ın 31 günü için elde edilen verilerle seçilen gündeki yenilenebilir enerji kaynaklarının ürettiği enerji miktarı ile yükün talep ettiği enerji miktarındaki duruma göre; her bir üretim biriminin ürettiği enerji durumu program ekranından görülür. Ay'ın her bir günü için alınan değerler, kaydedilip grafiklerle çizilmiştir. Şekil 4.32'de aylık yük talebi değişimi verilmiştir.

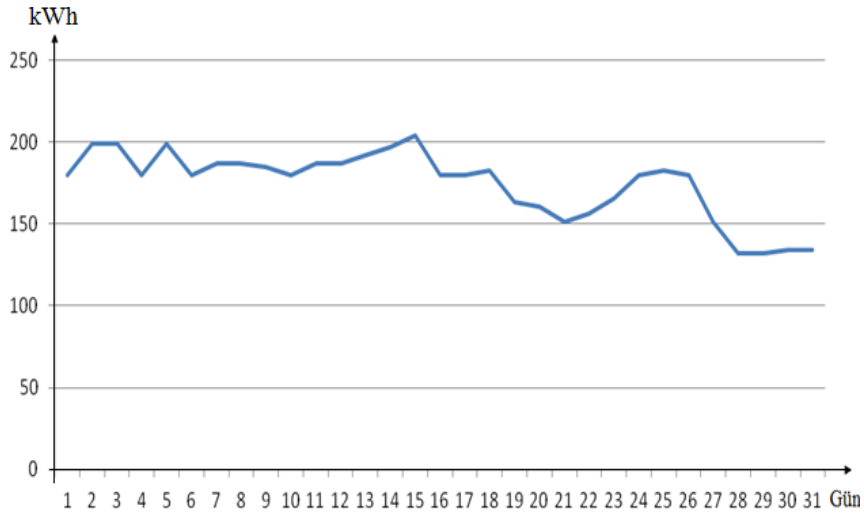


Şekil 4.32. Aylık yük talebi değişimi

Şekil 4.32'de görüldüğü gibi talep edilen enerji miktarı, ay içersinde farklılık göstermektedir. Bu farklılıklar, ay içindeki tüketim alışkanlıklarından kaynaklanmaktadır.

Ay içersindeki maksimum talep edilen enerji miktarı 415,2 kWh ile 20 ve 21. günde, minimum talep edilen enerji miktarı ise 352,8 kWh ile 29. günde olmuştur. Ay içersinde ortalama talep edilen enerji miktarı 391,82 kWh olmuştur.

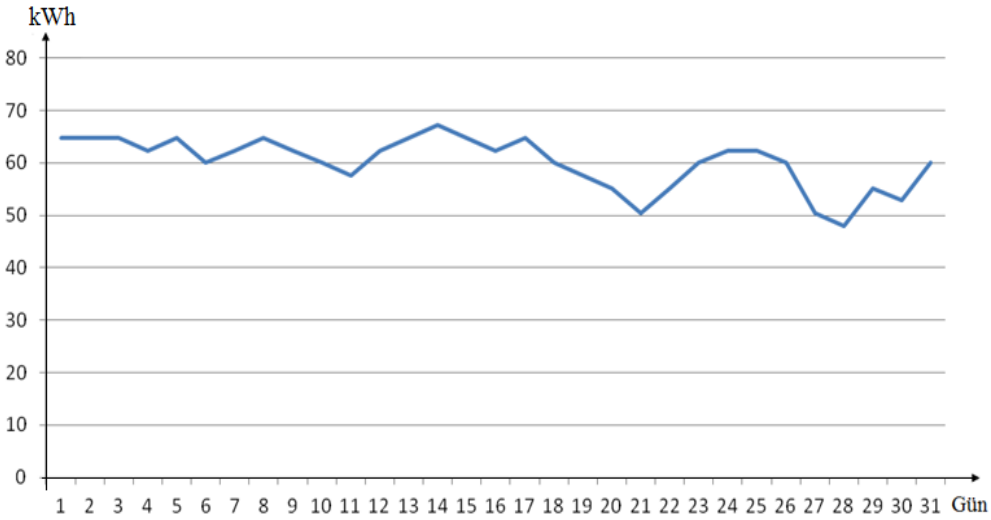
Şekil 4.33'te rüzgârın ay içindeki esme hızına bağlı olarak, rüzgâr türbininden üretilen bir aylık elektrik enerjisi değişimi verilmiştir.



Şekil 4.33. Aylık rüzgâr türbininden üretilen enerji değişimi

Şekil 4.33'te görüldüğü gibi rüzgâr türbinin enerji üretim miktarı, ay içersinde farklılık göstermektedir. Bu farklılıklar, rüzgâr türbinlerinden elde edilen enerjinin meteorolojik şartlara bağlı ve kesintili olan rüzgâr hızının günlere göre değişmesinden kaynaklanmaktadır.

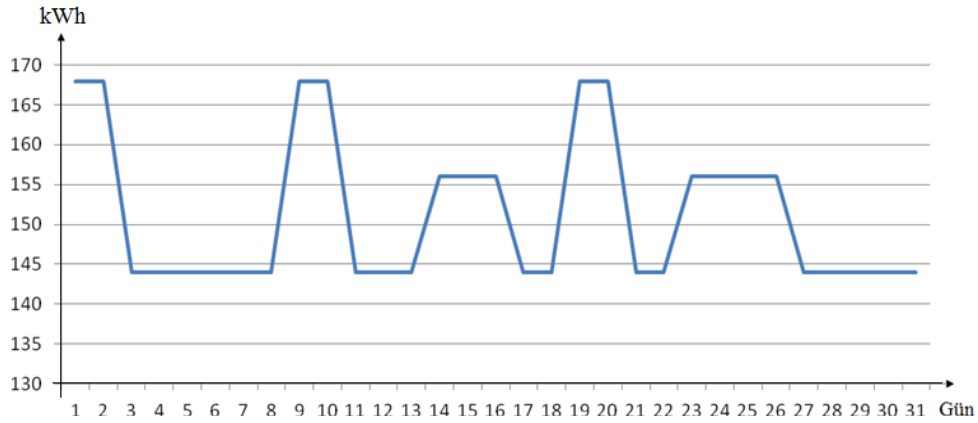
Ay içersinde rüzgâr türbininden üretilen maksimum enerji miktarı, 204 kWh ile 15. günde, üretilen minimum enerji miktarı ise 132 kWh ile 28 ve 29. günde olmuştur. Ay içersinde rüzgâr türbininden elde edilen ortalama enerji miktarı ise 174,5 kWh olmuştur. Şekil 4.34'te bir aylık fotovoltaik panelden üretilen enerji miktarı değişimi verilmiştir.



Şekil 4.34. FV panelden aylık enerji üretimi değişimi

Şekil 4.34'te görüldüğü gibi, güneş ışınlarına bağlı olarak FV panelden ay içersinde üretilen maksimum enerji miktarı 67,2 kWh ile 14. günde, minimum enerji miktarı 48 kWh ile 28. günde olmuştur. Ay içersinde ortalama üretilen enerji miktarı ise 60,15 kWh olmuştur.

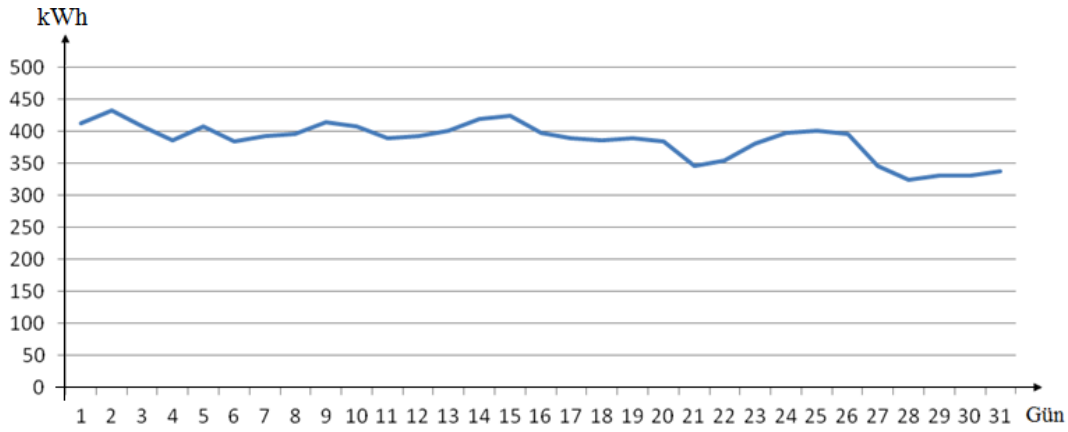
Şekil 4.35'te bir aylık mikro hidroelektrik santralden üretilen enerji miktarı değişimi verilmiştir.



Şekil 4.35. Mikro hidroelektrik santralden aylık enerji üretimi değişimi

Şekil 4.35'te görüldüğü gibi, bahar mevsimindeki yağışların değişkenliğinden dolayı enerji üretiminde fazla değişim (dalgalanma) olmuştur. Suyun debisine bağlı olarak mikro hidroelektrik santralden bir ay içersinde günlük üretilen maksimum enerji miktarı 168 kWh, minimum enerji miktarı 144 kWh olmuştur. Ay içersinde günlük ortalama üretilen enerji miktarı ise 151,35 kWh olmuştur.

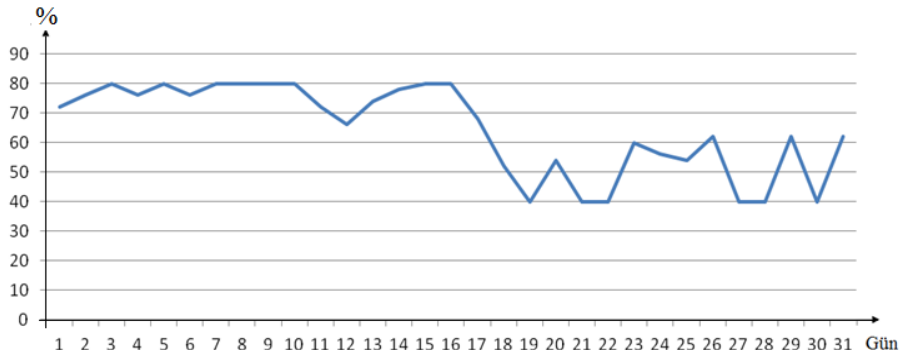
Şekil 4.36'da bir aylık yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerji miktarı değişimi verilmiştir.



Şekil 4.36. Yenilenebilir enerji kaynaklarından aylık enerji üretimi değişimi

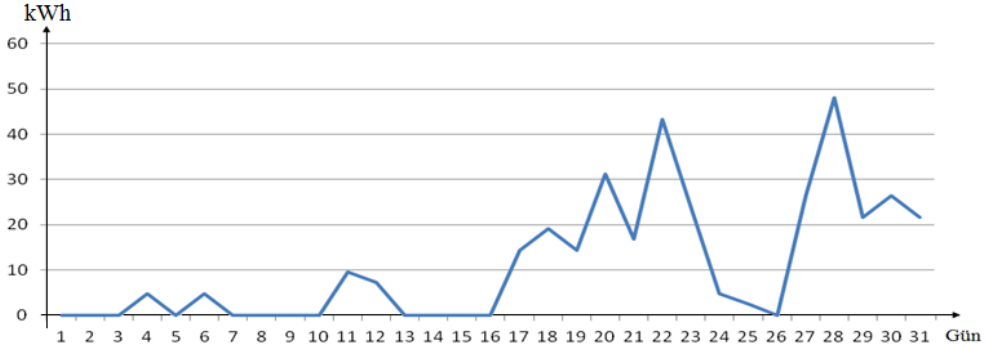
Şekil 4.36'da görüldüğü gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerji miktarı, ay içersinde farklılık göstermektedir. Bu farklılıklar, sistemde bulunan üretim kaynaklarının enerji üretiminin meteorolojik şartlara bağlı olmasından kaynaklanmaktadır. Ay içersinde üretilen maksimum enerji miktarı, 424,8 kWh ile 15. günde olur iken, üretilen minimum enerji miktarı ise 324 kWh ile 28. günde olmuştur. Ay içersinde yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen ortalama enerji miktarı 386,01 kWh olmuştur.

Ay içersinde yükün talep enerjisini karşılamada önemli bir rol üstlenen ve depolama birimi olan bataryanın şarj durumu değişimi Şekil 4.37'de verilmiştir.



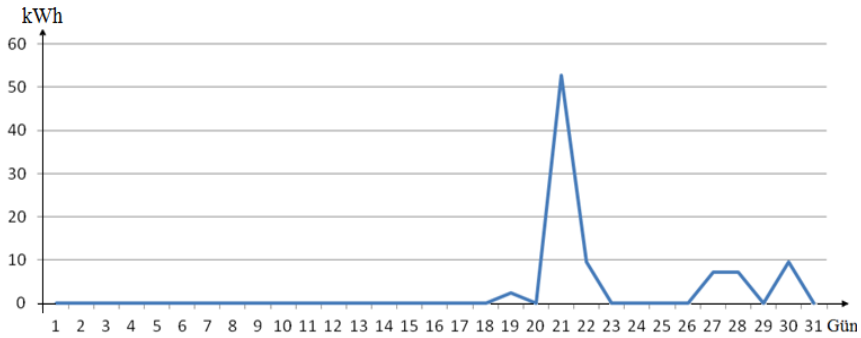
Şekil 4.37. Aylık batarya şarj durumu değişimi

Şekil 4.37'de görüldüğü gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının ürettiği enerjinin yük talebinden fazla olduğu günlerde (3, 5, 7-10, 15 ve 16. günlerde) bataryanın seçilen maksimum şarj değerinde (%80) olduğu görülmektedir. Ancak diğer günlerde yükün ihtiyacına göre deşarj durumu değişiklik göstermektedir. Böylece geliştirilen program ile yükün talebinine göre batarya deşarj veya şarj olmaktadır. Şekil 4.38'de bir aylık yük talebinin batarya tarafından karşılandığı enerji miktarı değişimi verilmiştir.



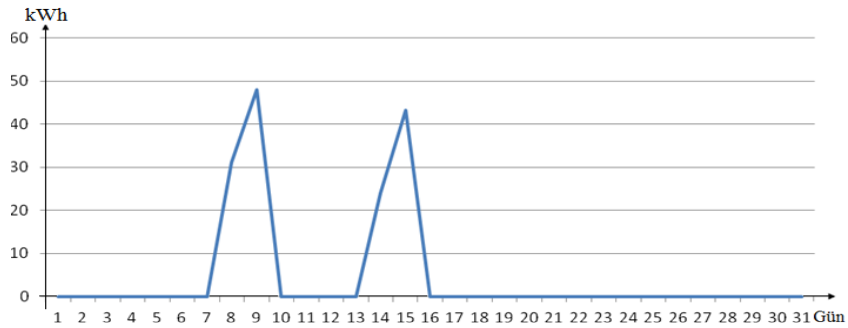
Şekil 4.38. Aylık batarya tarafından karşılanan enerji miktarı değişimi

Şekil 4.38'de görüldüğü gibi yükün talep ettiği enerji ihtiyacının yenilenbilir enerji kaynaklarından karşılanmadığı durumlarda yapılan enerji yönetimi ile bataryanın şarj durumuna göre batarya'dan karşılanmaktadır. Batarya'dan ay içersinde karşılanan maksimum enerji miktarı, 48 kWh ile 28. günde olur iken, minimum enerji miktarı 2,4 kWh ile 25. günde olmuştur. Ay içersinde ortalama karşılanan enerji miktarı ise 10,99 kWh olmuştur. Yük talebinin karşılanmasında kullanılan yakıt hücresinin, aylık yüke aktardığı enerji değişimi Şekil 4.39'da verilmiştir.



Şekil 4.39. Aylık yakıt hücresi'nin yüke aktardığı enerji değişimi

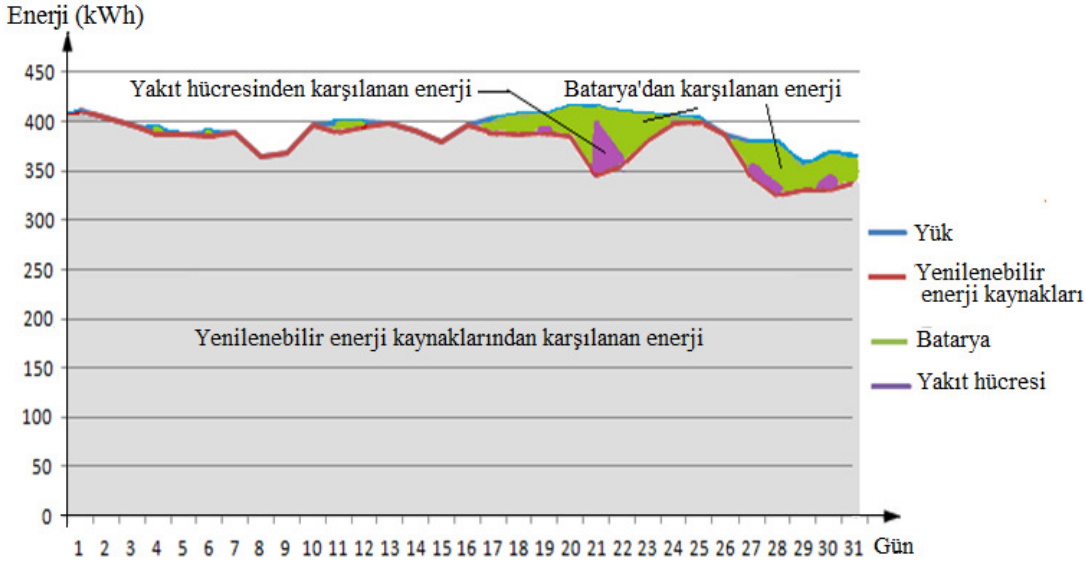
Şekil 4.39'da görüldüğü gibi, yük talebinin karşılanması için sistemde bulunan üretim kaynakları ve bataryanın ürettiği enerjilerin yeterli olduğu günlerde (1-18, 20, 23-26, 29 ve 31. günlerde) yakıt hücresinden enerji karşılanmadığı görülmekdedir. Geriye kalan günlerde yükün talebini karşılayacak miktardaki enerji, yakıt hücresinden karşılanmıştır. Yakıt hücresinden aylık karşılanan maksimum enerji miktarı 52,8 kWh ile 21. günde, minimum enerji miktarı 2,4 kWh ile 19. günde olmuştur. Aylık yakıt hücresinden karşılanan ortalama enerji miktarı ise 2,86 kWh olmuştur. Sistemde bulunan üretim kaynakları enerji üretiminin yük talebinden fazla olduğu günlerde, fazla olan enerji elektrolizör'e yönlendirilmektedir. Elektrolizör'e yönlendirilen enerji değişimi Şekil 4.40'da verilmiştir.



Şekil 4.40. Aylık elektrolizör'e yönlendirilen enerji değişimi

Şekil 4.40'da görüldüğü gibi üretilen enerjinin yük talebinden fazla olduğu günlerde (8,9 ve 14,15. günler) elektrolizör'ün çalıştığı görülmektedir. Yükün enerji ihtiyacı olduğu günlerde (1-7, 10-13 ve 16-31. günler) ise elektrolizör'ün çalışmadığı görülmektedir. Aylık elektrolizör'e uygulanan maksimum enerji miktarı, 48 kWh ile 9. günde, minimum enerji miktarı ise 24 kWh ile 14. günde olmuştur.

Yükün talep ettiği aylık enerjinin, yenilenebilir enerji kaynaklarından, bataryadan ve yakıt hücresinden karşılandığı durumu gösteren grafik Şekil 4.41'de verilmiştir.



Şekil 4.41. Aylık talep edilen enerjinin, üretim birimlerinden karşılanması

Şekil 4.41'de görüldüğü gibi yükün talep ettiği enerjinin büyük miktarı yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretim birimlerinden karşılanmıştır. Ancak bu kaynakların yeterli olmadığı durumlarda batarya ve yakıt hücresi'nden karşılanmıştır. Ay'ın bazı günlerinde (1-3, 5, 7-10, 13-16, ve 26. günler) yükün enerji talebi sadece yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmıştır. Fazla kalan enerji ise elektrolizör'de kullanılmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının yük talebini karşılamada yeterli gelmediği bazı günlerde (4, 6,11,12, 17,18, 20, 23-25, 29 ve 31. günler) ihtiyaç duyulan enerji miktarı bataryadan, bazı günlerde ise hem batarya hem de yakıt hücresinden (19, 21, 22, 27, 28 ve 30. günler) karşılanmıştır. Aylık tüm üretim kaynaklarından üretilen enerji; 12396 kWh'tır. Üretilen enerjinin, mikro şebekede bulunan kaynaklara göre dağılımları ve yüzdeleri Tablo 4.4.'te verilmiştir.

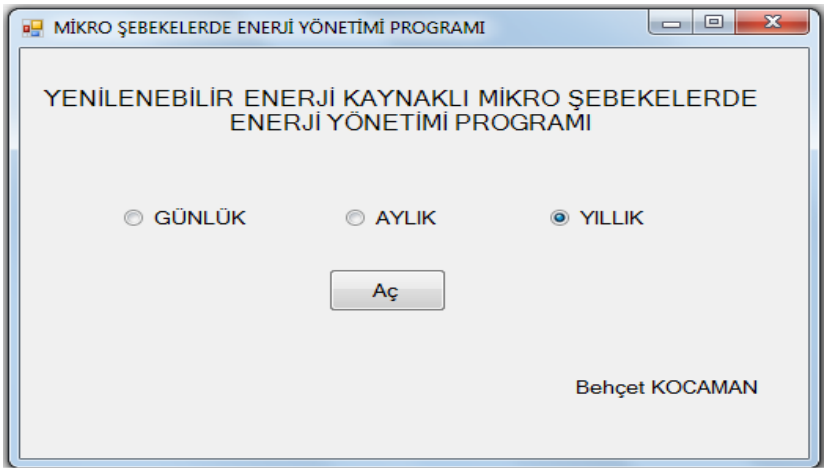
Tablo 4.4. Bir aylık üretilen elektrik enerjisinin kaynakları ve yüzdeleri

Kaynak	Enerji (kWh)	Üretim (%)
FV Panel	1864,8	15,04
Rüzgâr türbini	5409,6	43,64
Mikro hidroelektrik	4692	37,85
Batarya	340,8	2,75
Yakıt hücresi	88,8	0,72

Tablo 4.4'te görüldüğü gibi, aylık üretilen enerjinin %43,64'ü (en büyük pay) rüzgâr türbininden ve % 0,72'si (en küçük pay) yakıt hücresinden karşılanmıştır. Yükün tükettiği aylık enerji miktarı 12146,4 kWh'tır. Fazla olan enerjinin bir kısmı, elektrolizör'de daha sonra yakıt hücresinde kullanılmak üzere hidrojen üretiminde, geriye kalan kısmı ise batarya şarjında kullanılmıştır. Bataryaların maksimum şarj olması durumunda elektrolizörün maksimum gücünden fazla kalan enerji, atık yüke aktarılarak boşaltılmıştır.

4.4. Yıllık Enerji Yönetim Programı

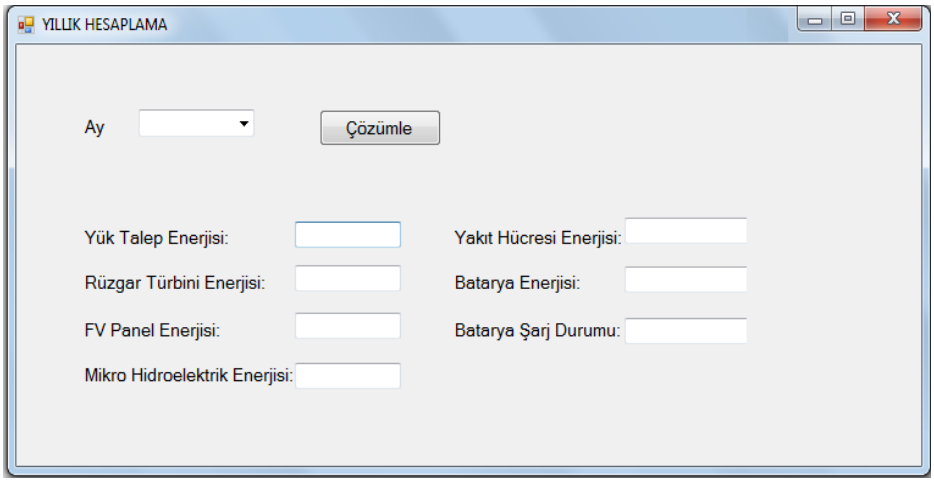
Yenilenebilir enerji kaynaklı mikro şebekede, günlük ve aylık değerler için yapılan değerlendirmeler gibi enerji yönetimi programının yıllık değerlere göre değerlendirmesi için Şekil 4.42'de verilen programın ilk görüntüsünden yıllık seçeneği işaretlenir.



Şekil 4.42. Enerji yönetim programının yıllık çalıştırma ekranı

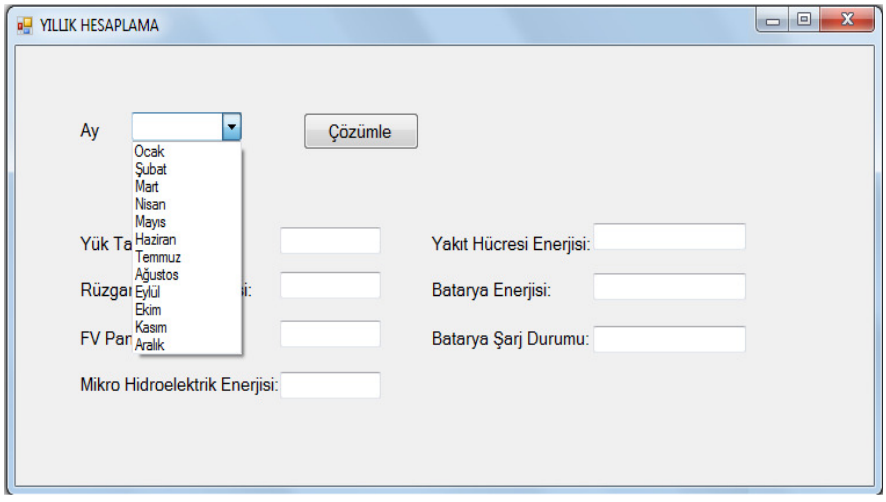
Şekil 4.42'de görüldüğü gibi yıllık seçeneği işaretlenmiştir. Yıllık değerlendirmeler için günlük ve aylık verilerin elde edilmesi gibi yıllık veriler elde edilmiştir.

Elde edilen veriler kullanılarak belirlenen enerji yönetim stratejisine göre yük talebinin hangi üretim kaynağından karşılanması programın çalıştırılmasıyla elde edilecektir. Yıllık değer seçilip "Aç" tıklandığında yenilenebilir enerji kaynaklı mikro şebeke için yıllık enerji yönetimi programı çalışacaktır. Bu durumda Şekil 4.43'teki ekran açılacaktır.



Şekil 4.43. Yıllık seçeneği işaretlendiğinde ekrana çıkan görüntü

Yıl içindeki her bir ay için verilerin değerlendirilmesi yapılması için Şekil 4.43'te "Ay" yazılan kısımdaki işaret tıklanmalıdır. Seçenek tıklandığında Şekil 4.44'te verilen ekran görüntüsünde yılın ayları görülmektedir.



Şekil 4.44. Ay seçim işlemi

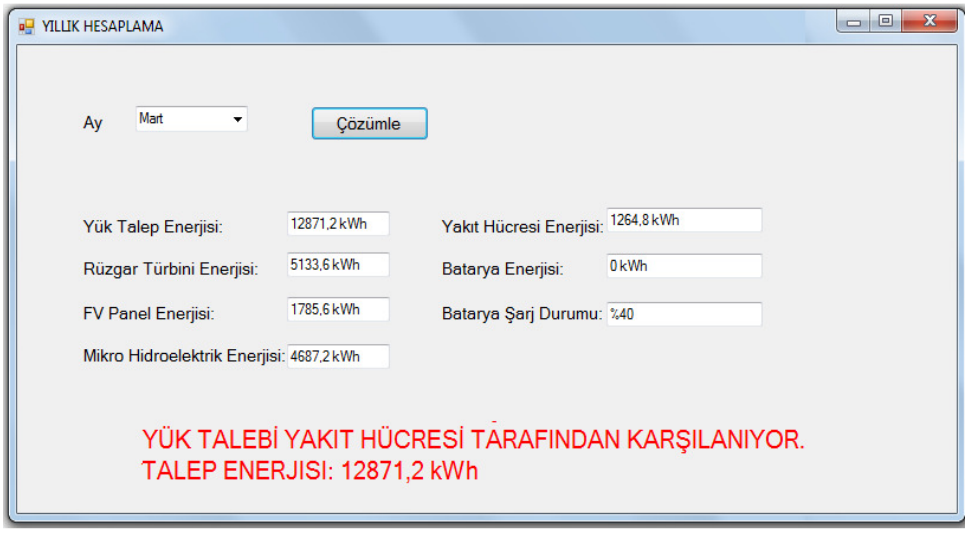
Şekil 4.44'teki ekrandan yılın istenilen ay'ı seçilebilir. İstenilen ay seçildikten sonra, daha önceden benzer çalışmalardan alınan ve veri tabanına aktarılan veriler alınarak programda işlenecek ve çözümle butonuna tıklandığında, o anki enerji durumu

ekrana gelecektir. Program çalıştırıldığında Şekil 4.45'teki gibi Ocak ay'ı için enerji durumu ekrana gelecektir.



Şekil 4.45. Ocak ay'ı için enerji durumu

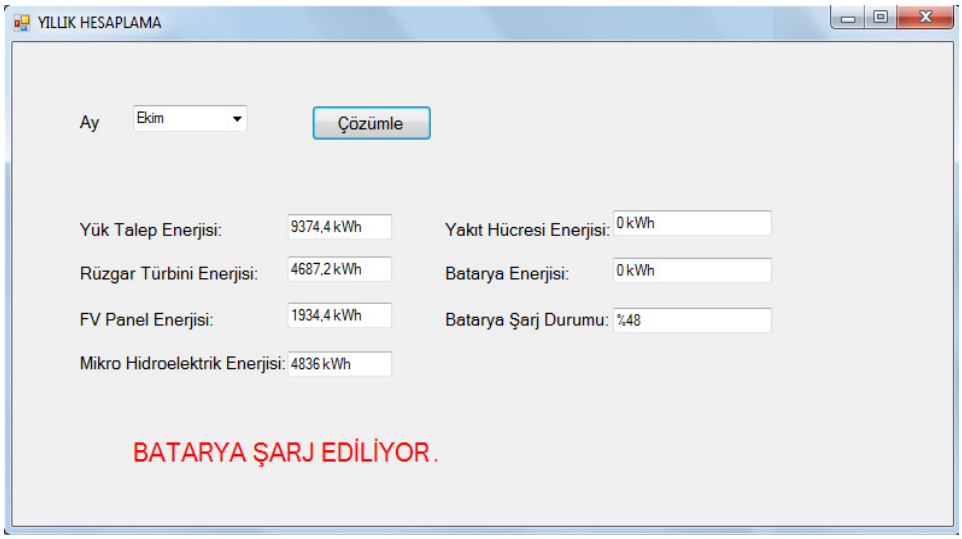
Şekil 4.45'te görüldüğü gibi Ocak ayında yükün talep ettiği enerji miktarı 13243,2 kWh'tır. Söz konusu ayda yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgâr türbininden elde edilen enerji miktarı 5580 kWh, FV panelden elde edilen enerji miktarı 1860 kWh ve mikro hidroelektrik santralden üretilen enerji miktarı 3720 kWh olmak üzere toplam 11160 kWh enerji üretilmiştir. Yükün aylık enerji talebini karşılamak için ihtiyaç duyulan 2083,2 kWh'lık enerjinin 967,2 kWh'ı yakıt hücresi tarafından ve 1116 kWh'lık kısmı ise batarya tarafından karşılanmıştır. Hesaplama yapılan ay'daki batarya şarj durum oranı % 70'tir. Program Mart ay'ı için çalıştırıldığında Şekil 4.46'daki gibi enerji durumu ekrana gelecektir.



Şekil 4.46. Mart ay'ı için enerji durumu

Şekil 4.46'da görüldüğü gibi Mart ayında yükün talep ettiği enerji, 12871,2 kWh'tır. Söz konusu ayda yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgâr türbininden elde edilen enerji miktarı 5133,6 kWh, FV panelden elde edilen enerji miktarı 1785,6 kWh ve mikro hidroelektrik santralden üretilen enerji miktarı 4687,2 kWh olmak üzere toplam 11606,4 kWh enerji üretilmiştir.

Mart ay'ı için yükün enerji talebini karşılamak için ihtiyaç duyulan 1264,8 kWh'lık enerji, yakıt hücresi tarafından karşılanmıştır. Hesaplama yapılan ay'da batarya şarj durum oranı %40'tır. Program Ekim ay'ı için çalıştırıldığında Şekil 4.47'deki gibi enerji durumu ekrana gelecektir.



Şekil 4.47. Ekim ay'ı için enerji durumu

Şekil 4.47'de görüldüğü gibi Ekim ayında yükün talep ettiği enerji miktarı, 9374,4 kWh'tır. Söz konusu ayda yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgâr türbininden elde edilen enerji miktarı 4687,2 kWh, FV panelden elde edilen enerji miktarı 1934,4 kWh ve mikro hidroelektrik santralden üretilen enerji miktarı 4836 kWh olmak üzere toplam 11457,6 kWh enerji üretilmiştir.

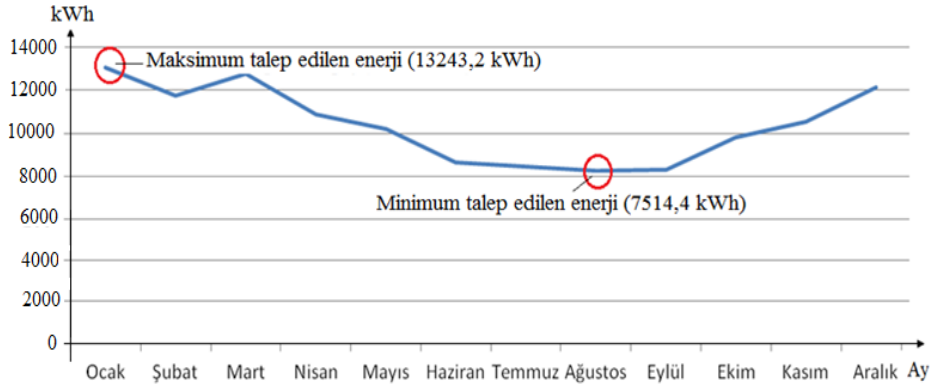
Ekim ay'ında yükün talep ettiği enerjinin tamamı yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmıştır. Fazla kalan 2083,2 kWh'lık enerji hem batarya şarjında hem de hidrojen üretimi için elektrolizörde kullanılmıştır. Hesaplama yapılan ay'da bataryanın şarj durum oranı % 48'dir. Aralık ay'ı için program çalıştırıldığında Şekil 4.48'deki gibi enerji durumu ekrana gelecektir.



Şekil 4.48. Aralık ay'ı için enerji durumu

Şekil 4.48'de görüldüğü gibi Aralık ayında yükün talep ettiği enerji miktarı 12127,2 kWh'tır. Söz konusu ayda yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgâr türbininden elde edilen enerji miktarı 4836 kWh, FV panelden elde edilen enerji miktarı 1711,2 kWh ve mikro hidroelektrik santralden üretilen enerji miktarı 5208 kWh olmak üzere toplam 11755,2 kWh enerji üretilmiştir. Yükün Aralık ay'ı enerji talebi sadece yenilenebilir enerji kaynaklardan karşılanamadığından ihtiyaç duyulan 372 kWh'lık enerji, batarya tarafından karşılanmıştır. Hesaplama yapılan ay'da batarya şarj durum oranı %70'tir.

Hazırlanan enerji yönetimi programında yılın 12 ay'ı için elde edilen verilerle seçilen ay'daki yenilenebilir enerji kaynaklarının ürettiği enerji miktarı ile yükün talep ettiği enerji miktarındaki duruma göre; her bir üretim biriminin ürettiği enerji durumu program ekranından görülür. Yılın her bir ay'ı için alınan değerler, kaydedilip grafiklerle çizilmiştir. Şekil 4.49' da yıllık yük talebi enerji değişimi verilmiştir.

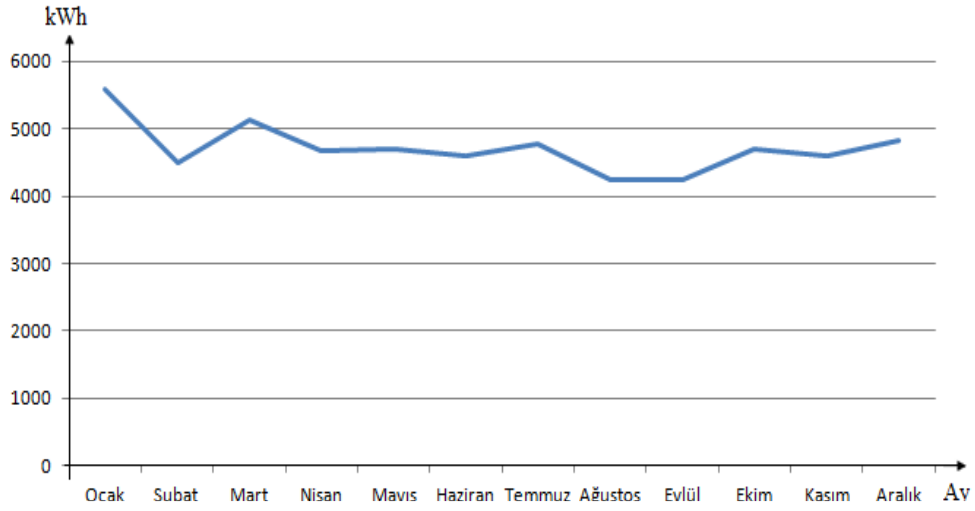


Şekil 4.49. Yıllık yük talep enerjisi değişimi

Şekil 4.49'da görüldüğü gibi yıllık talep edilen enerji miktarı, aylara göre farklılık göstermektedir. Bu farklılıklar, tüketimin mevsimlere göre değişmesinden kaynaklanmaktadır. Özellikle kış aylarında ısınma ihtiyacından dolayı yaz aylarına göre enerji tüketimi artmaktadır.

Yıl içersindeki maksimum talep edilen enerji miktarı 13243,2 kWh ile Ocak ayında, minimum talep edilen enerji miktarı ise 7514,4 kWh ile Ağustos ayında olmuştur. Yıl içinde aylık ortalama talep edilen enerji miktarı 10067,8 kWh olmuştur.

Şekil 4.50'de rüzgârın yıl içindeki esme hızına bağlı olarak, rüzgâr türbininden üretilen bir yıllık elektrik enerjisi değişimi verilmiştir.

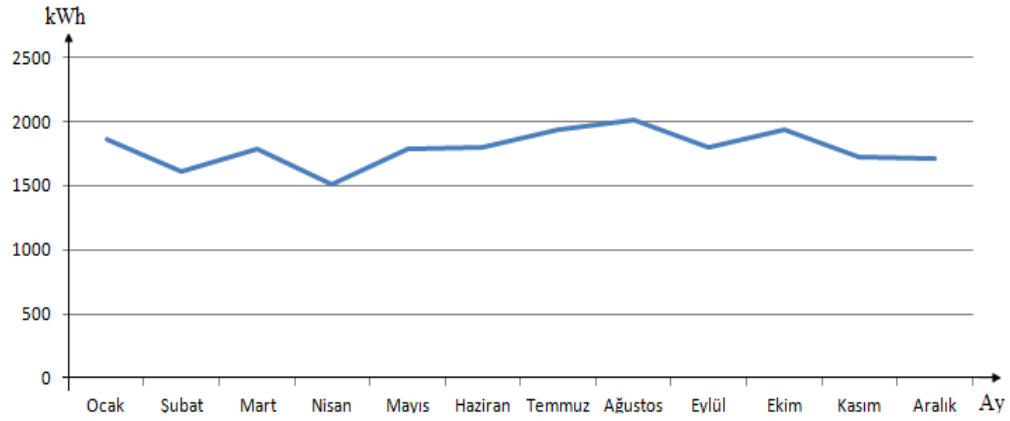


Şekil 4.50. Yıllık rüzgâr türbininden üretilen enerji değişimi

Şekil 4.50'de görüldüğü gibi rüzgâr türbininden enerji üretim miktarı, yıl içersinde farklılık göstermektedir. Bu farklılıklar, rüzgâr türbinlerinden elde edilen enerjinin meteorolojik şartlara bağlı ve kesintili olan rüzgâr hızının aylara göre değişmesinden kaynaklanmaktadır.

Yıl içersinde rüzgâr türbininden üretilen maksimum enerji miktarı 5580 kWh ile Ocak ay'ında, üretilen minimum enerji miktarı ise 4240,8 kWh ile Ağustos ay'ında olmuştur. Yıl içersinde rüzgâr türbininden elde edilen aylık ortalama enerji miktarı 4714,4 kWh olmuştur.

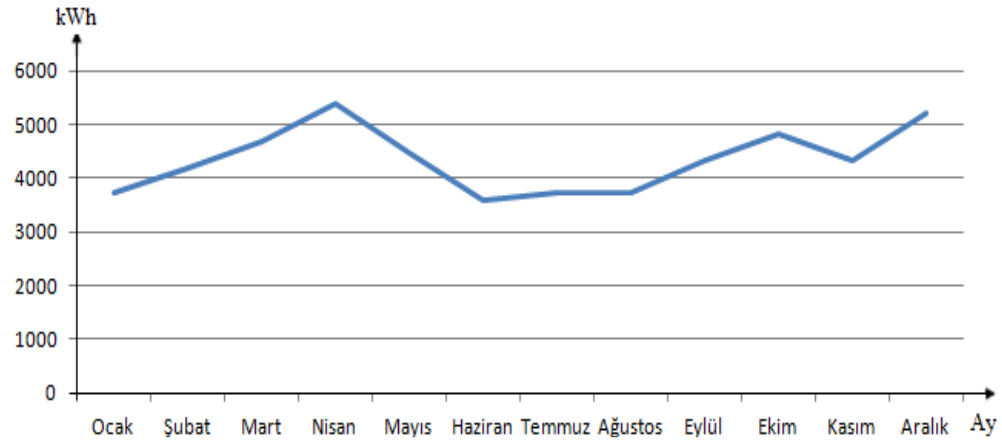
Şekil 4.51'de güneş enerjisi ile FV panelden bir yıllık üretilen enerji miktarı değişimi verilmiştir.



Şekil 4.51. Yıllık FV panelden üretilen enerji değişimi

Şekil 4.51'de görüldüğü gibi, güneş ışınlarına bağlı olarak FV panelden yıl içersinde üretilen maksimum enerji miktarı 2008,8 kWh ile Ağustos ayında, minimum enerji miktarı 1512 kWh ile Nisan ayında olmuştur. Yıl içersinde aylık ortalama üretilen enerji miktarı ise 1789,4 kW olmuştur.

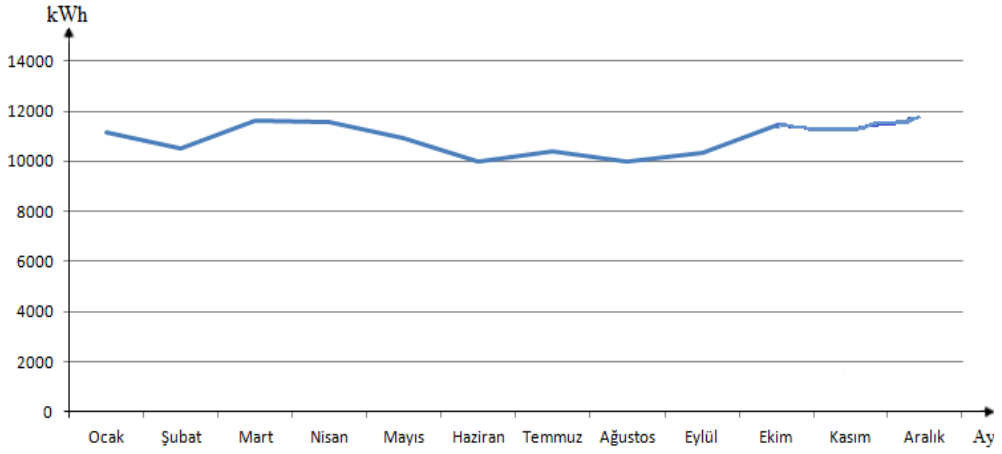
Şekil 4.52'de yıllık mikro hidroelektrik santralden üretilen enerji miktarı değişimi verilmiştir.



Şekil 4.52. Yıllık mikro hidroelektrik enerji üretim değişimi

Şekil 4.52'de görüldüğü gibi, suyun debisine bağlı olarak mikro hidroelektrik santralden bir yıl içersinde üretilen maksimum enerji miktarı 5400 kWh ile Nisan ayında, minimum enerji miktarı 3600 kWh ile Haziran ayında olmuştur. Yıl içersinde aylık ortalama üretilen enerji miktarı ise 4347,6 kWh olmuştur.

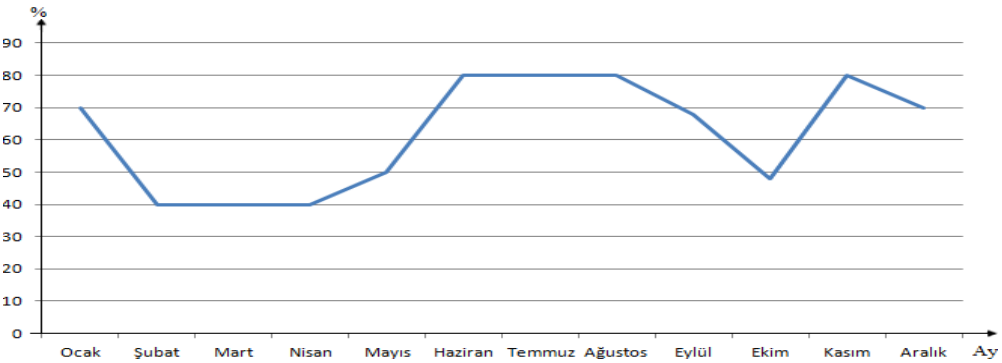
Şekil 4.53'te bir yıllık yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerji miktarı değişimi verilmiştir.



Şekil 4.53. Yıllık yenilenebilir enerji kaynakları enerji üretim değişimi

Şekil 4.53'te görüldüğü gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerji miktarı, yıl içersinde farklılık göstermektedir. Bu farklılıklar, sistemde bulunan üretim kaynaklarından enerji üretiminin meteorolojik şartlara bağlı olmasından kaynaklanmaktadır. Yıl içersinde üretilen maksimum enerji miktarı 11755,2 kWh ile Aralık ayında, üretilen minimum enerji miktarı ise 10008 kWh ile Haziran ayında olmuştur. Yıl içersinde yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen aylık ortalama güç miktarı 10869,6 kWh olmuştur.

Yıl içersinde yükün talep enerjisini karşılamada önemli bir rol üstlenen ve depolama birimi olan bataryanın şarj durumu değişimi Şekil 4.54'te verilmiştir.



Şekil 4.54. Yıllık batarya şarj durumu

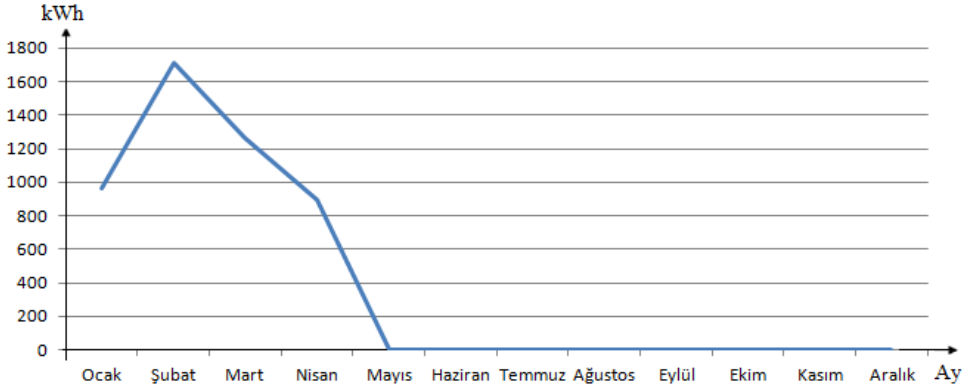
Şekil 4.54'te görüldüğü gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının ürettiği elektrik enerjisinin yük talebinden fazla olduğu aylarda (Haziran-Ağustos, Kasım) bataryanın seçilen maksimum şarj değerinde olduğu görülmektedir. Ancak diğer aylarda yükün ihtiyacına göre deşarj durumu değişiklik göstermektedir.

Şekil 4.55'te yıllık yük talebinin batarya'dan karşılanan enerji miktarı değişimi verilmiştir.



Şekil 4.55. Yıllık batarya'dan karşılanan enerji değişimi

Şekil 4.55'te görüldüğü gibi yükün talep ettiği enerji ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmadığı durumlarda yapılan enerji yönetimi ile bataryanın şarj durumuna göre batarya'dan karşılanmaktadır. Yıl içersinde yük talebi, yenilenebilir enerji kaynakları ile birlikte Ocak ayında 1860 kWh ve Aralık ayında 372 kWh batarya'dan karşılanmıştır. Yük talebinin karşılanmasında kullanılan yakıt hücresinin, yıllık yüke aktardığı enerji değişimi Şekil 4.56'da verilmiştir.

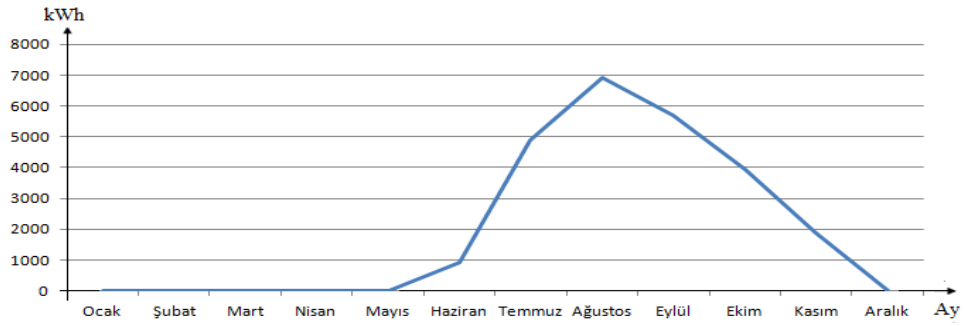


Şekil 4.56. Yıllık yakıt hücresinden karşılanan enerji değişimi

Şekil 4.56'da görüldüğü gibi, yük talebinin karşılanması için sistemde bulunan üretim kaynakları ve bataryanın ürettiği enerjilerin yeterli olduğu aylarda (Mayıs-Aralık arasındaki aylarda) yakıt hücresinden enerji karşılanmadığı görülmekdedir. Geriye kalan aylarda yükün talebini karşılayacak miktardaki enerji, yakıt hücresinden karşılanmıştır. Yakıt hücresinden yıl içinde maksimum karşılanan enerji miktarı 1264,8 kWh ile Mart ayında ve minimum karşılanan enerji miktarı

892,8 kWh ile Nisan ayında olmuştur. Yıllık yakıt hücresinden karşılanan aylık ortalama enerji miktarı ise 403 kWh olmuştur.

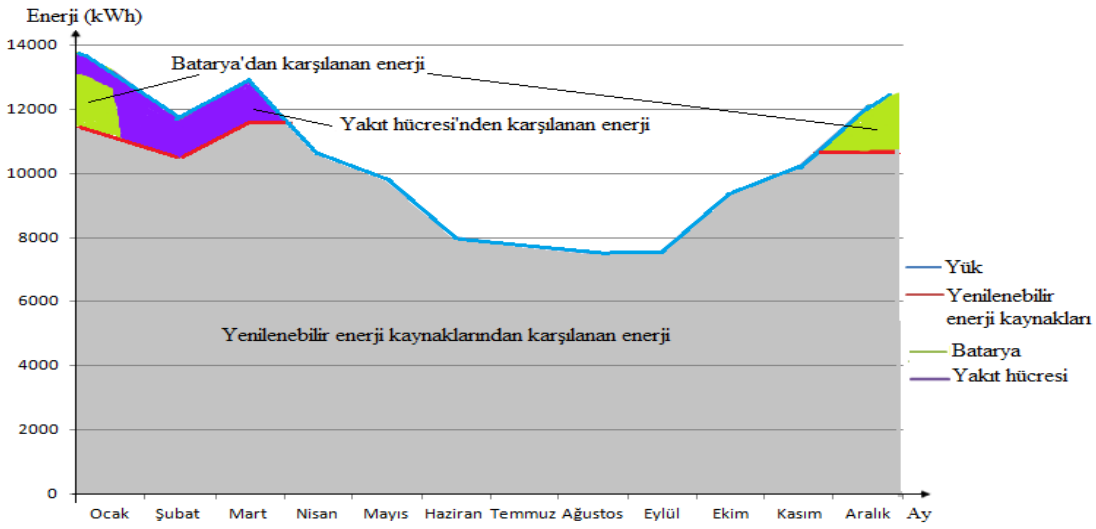
Sistemde bulunan üretim kaynaklarından üretilen enerjinin, yük talebinden fazla olduğu aylarda, elektrolizör'e yönlendirilen enerji değişimi Şekil 4.57'de verilmiştir.



Şekil 4.57. Yıllık elektrolizör'e yönlendirilen enerji değişimi

Şekil 4.57'de görüldüğü gibi elektrolizör, üretilen enerjinin yük talebinden fazla olduğu aylarda (Mayıs-Aralık arasındaki aylar) çalışmaktadır. Yükün enerji ihtiyacının olduğu aylarda (Ocak-Nisan arasındaki aylar) ise çalışmadığı görülmektedir. Yıllık elektrolizör'e uygulanan maksimum enerji miktarı 6919,2 kWh ile Ağustos ayında, minimum enerji miktarı ise 936 kWh ile Haziran ayında olmuştur.

Yükün yıllık talep ettiği enerjinin; yenilenebilir enerji kaynaklarından, bataryadan ve yakıt hücresinden karşılandığı durumu gösteren grafik Şekil 4.58'de verilmiştir.



Şekil 4.58. Yıllık talep edilen enerjinin, üretim birimlerinden karşılanması

Şekil 4.58'de görüldüğü gibi yükün talep ettiği enerjinin büyük miktarı yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretim birimlerinden karşılanmıştır. Ancak bu kaynakların yeterli olmadığı durumlarda batarya ve yakıt hücresi'nden karşılanmıştır. Yılın bazı aylarında (Nisan-Kasım arasındaki aylar) yükün enerji talebi sadece yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmıştır. Söz konusu aylarda fazla kalan enerji, elektrolizör'de ve batarya şarjında kullanılmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının yük talebini karşılamada yeterli gelmediği aylarda (Ocak-Nisan arası aylar ve Aralık ayı) yükün enerji talebi yenilenebilir enerji kaynakları ile birlikte batarya ve yakıt hücresinden karşılanmıştır. Ocak ayında yükün talep ettiği enerji, yenilenebilir enerji kaynakları ile birlikte hem yakıt hücresinden (967,2 kWh) hem de bataryadan (1860 kWh) karşılanmıştır. Bununla birlikte Şubat, Mart ve Nisan aylarında yenilenebilir enerji kaynakları ile birlikte yakıt hücresinden Aralık ayında ise yenilenebilir enerji kaynakları ile birlikte bataryadan karşılanmıştır.

Yıllık tüm üretim kaynaklarından üretilen enerji; 137284,8 kWh'tır. Üretilen enerjinin, mikro şebekede bulunan üretim kaynaklarına göre dağılımları ve yüzdeleri Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.5. Bir yıllık üretilen elektrik enerjisinin kaynakları ve yüzdeleri

Kaynak	Enerji (kWh)	Üretim (%)
FV Panel	21472,8	15,64
Rüzgâr türbini	56572,8	41,21
Mikro hidroelektrik	52171,2	38
Batarya	2232	1,63
Yakıt hücresi	4836	3,52

Tablo 4.5'te görüldüğü gibi, yıllık üretilen enerjinin % 41,21'i (en büyük pay) rüzgâr türbininden ve % 1,63'ü (en küçük pay) bataryadan karşılanmıştır. Yükün tükettiği yıllık enerji miktarı 120813,6 kWh'tır. Fazla olan enerjinin bir miktarı, elektrolizör'de daha sonra yakıt hücresinde kullanılmak üzere hidrojen üretiminde, geriye kalan kısmı ise batarya şarjında kullanılmıştır. Bataryaların maksimum şarj olması durumunda elektrolizörün maksimum enerjisinden fazla kalan enerji, atık yüke aktarılarak boşaltılmıştır.

5. MİKRO ŞEBEKE SİSTEMİNİN EKONOMİK ANALİZİ

Şebekeden bağımsız olarak tasarlanan mikro şebekenin ekonomik analizi yapılarak, böyle bir sistemin kendini kaç yılda amorti edeceği hesaplanmıştır. Ayrıca tüketim merkezinin elektrik enerji ihtiyacının şebekeden karşılanması durumundaki maliyeti hesaplanmıştır. Sistemin uzun yıllar kullanılacağı varsayılmış ve yatırımın ekonomik ömrü 20 yıl olarak alınmıştır.

5.1. Şebekeden Bağımsız Üretim Sistemi Maliyeti

Şebekeden bağımsız kurulacak olan mikro şebekedeki giderler; malzeme, inşaat, makine ekipman, bakım onarım gideri ve beklenmeyen giderlerden oluşmaktadır. Malzeme fiyatları, firmadan firmaya değişiklik göstermektedir. Değer tespiti yapılırken birkaç firma fiyatlarından ortalama bir değer bulunmuştur. Sistemde kullanılan malzemeler ve maliyetleri Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Mikro şebekede kullanılan malzemeler ve maliyetleri

Malzemenin Cinsi	Kurulu Gücü	Miktarı (Adet)	Birim Fiyatı (TL)	İlk Yatırım Maliyeti (TL)	Yenileme Maliyeti (TL)	Kullanım Ömrü	Toplam (TL)
Monokristal FV panel	200 W	50	630	31500	0	20 yıl	31500
Rüzgar türbini	15 kW	1	33000	33000	0	20 yıl	33000
Mikro HES	8 kW	1	4000	4000	0	20 yıl	4000
Yakıt hücresi	4 kWp	1	3000	3000	0	40000 saat	3000
Elektrolizör	4 kWp	1	3520	3520	0	20000 saat	3520
Batarya (kurşun asit)	200 Ah	20	385	7700	30800	4 yıl	38500
Evirici (4/5,5 kW)	4 kW	2	1496	2992	2992	10 yıl	5984
Evirici (7,5/5 kW)	8 ve 10 kW	2	2420	4840	4840	10 yıl	9680
Evirici (11/15 kW)	15 kW	1	2992	2992	2992	10 yıl	5984
Doğrultucu	4,8 ve 15 kW	3	1750	5250	5250	10 yıl	10500
DC/DC dönüştürücü	4,8 ve 10 kW	3	2750	8250	8250	10 yıl	16500
H_2 depolama tankı	137 bar basınçlı	1	4400	4400	0	20 yıl	4400
Şarj kontrol cihazı	12/24 V 40A	1	475	475	1900	4	2375
Ek donanım							20000
İşçilik							19000
Giderler							21000
Mikro şebeke sisteminin toplam maliyeti (TL)							228943

Tablo 5.1'de görüldüğü gibi evirici, doğrultucu ve DC/DC dönüştürücülerin kullanım ömürleri 10 yıl olduğu ve 20 yıllık süre içinde 1 kez yenilenmesi gerektiğinden, ilk yatırım maliyeti kadar yenileme maliyeti eklenmiştir. Batarya ve şarj kontrol cihazının kullanım ömürleri 4 yıl olduğundan 20 yıl içinde 4 kez değiştirileceğinden ilk yatırım maliyetinin 4 katı, yenileme maliyeti eklenmiştir. Sistem içinde kullanılan sigorta, kablo, anahtarlama elemanları gibi ek donanım malzemeleri için toplam bir maliyet (20000 TL) verilmiştir. Tüm elemanların kurulumu aşamasında ekipman bedelinin %10'u işçilik bedeli olarak eklenmiştir. Bakım onarım ve beklenmeyen giderler olarak düşünülen giderler, sistem kurulum maliyetinin %10'u oranında olacağı varsayılmıştır.

Önerilen çalışmada kullanılan yıllık yük verileri dikkate alındığında bir yıl içinde 120.813,6 kWh enerji tüketimi yapıldığı görülmüştür. TEDAŞ'ın 2014 yılı tek terimli tarife fiyatı 35krş/ kWh olduğu dikkate alınarak bir yıllık enerji bedelli; 120.813,6 kWh x 0,35 TL/kWh= 42.284,76 TL çıkmaktadır.

Mikro şebekeli sistemin kurulumu maliyeti, 228.943,00 TL olarak hesaplanmıştır. Bu değer, yıllık tüketilen enerji miktarı için ödenecek değere bölündüğünde (228.943,00 TL /42.284,76 TL = 5,41), sistemin yaklaşık 5,5 yıl içinde kendini amorti edeceği görülmektedir.

5.2. Sistemin Şebekeye Bağlantı ve Enerji Bedeli Maliyeti

Önerilen sistem için şebekeye bağlantı yapılarak enerji ihtiyacının karşılanması durumunda şebekeye ait hat maliyeti ve tüketilecek enerji maliyeti, toplam maliyeti oluşturacaktır.

Enerji dağıtım şebekesinden 5 km uzaklıkta bulunan bir yerleşim yerine enerji nakil hatları yardımıyla elektrik verilmesi için elektrik tesisi yapımı için maliyet hesabı yapılmıştır. Ayrıca tüketilecek enerji bedeli de eklenerek toplam maliyet çıkarılmıştır. 2014 yılı fiyatları dikkate alınarak elektrik tesisi için kullanılacak malzeme ve montaj işleri yaklaşık maliyet hesabı yapılmıştır. Bu hesaplamaya ilişkin yaklaşık maliyet birim fiyat cetveli EK-C'de verilmiştir.

Elektrik tesisi için hattın güzergahına göre seçilecek direklerde (nihayet, taşıyıcı, durdurucu direk gibi) farklılık olmaktadır. Ancak burada yapılan hesaplamalar yaklaşık değerler olacaktır. Arazi yapısına göre 5 km'lik tesis için 1 adet trafo direği (T-25), 51 adet taşıyıcı direk (T-12), 12 adet durdurucu direk (D-12), 1 adet nihayet(son) direği (N-12) ve 9 adet köşede durdurucu direk (Z-12) olmak üzere 74 adet boyalı kaynaklı demir direk düşünülmüştür. Arazi yapısından dolayı iki direk arası mesafe ortalama 70 metre varsayılmıştır. Tesiste direklere uygun olarak boyalı demir travers ve konsollar, K1 tipi izolatörler, izolatör demirleri, swallow iletkenler, ek donanım malzemeleri ve bir adet dağıtım transformatörü (trafo) kullanılmıştır. Tesiste kullanılacak transformatörün güç hesabı, tüketim merkezindeki kurulu güç, talep faktörü ve güç faktörü değerleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Tablo 5.2'de bu değerlere ilişkin bilgiler verilmiştir.

Tablo 5.2. Transformatör güç hesabı tablosu

Yer	Cihaz	Birim güç (W)	Adet	Güç (W)
Oda (70 adet)	Buzdolabı	850	1	850
	Televizyon (37 ekran)	50	1	50
	Tasarruflu Lamba	15	3	45
	Priz (Tek fazlı)	300	2	600
	Toplam (1 oda için)			1545
	Toplam (70 oda)			108150
Lokanta	Buzdolabı	850	2	1700
	Televizyon (84 ekran)	120	1	120
	Tasarruflu Lamba	15	30	450
	Priz (Tek fazlı)	300	5	1500
Toplantı Odası	Televizyon (84 ekran)	120	1	120
	Tasarruflu Lamba	15	20	300
	Priz (Tek fazlı)	300	5	1500
Lobiler	Televizyon (84 ekran)	120	1	120
	Tasarruflu Lamba	15	20	300
	Priz (Tek fazlı)	300	4	1200
Çamaşırhane	Tasarruflu Lamba	15	10	150
	Priz (Tek fazlı)	300	4	1200
	Çamaşır makinesi	4000	2	8000
Hesaplama yapılmayan kısımlar (antre, lavabo, vb.)				5000
Toplam kurulu güç				129810
Talep Faktörü				0,60
Talep gücü				77886
Güç faktörü (Cos φ)				0,85
Trafo gücü =Talep gücü/ Güç faktörü= 77886 W/0,85				91630,59
Seçilmesi gereken standart trafo gücü : 100 kVA				

Tablo 5.2'de görüldüğü gibi yapılan hesaplamaya göre sistem için 100 kVA gücünde harici tip 33/0,4-0,231 kV (28,5-34,5 kV) dağıtım transformatörü seçilmesi gerekmektedir.

Elektrik şebekesinden karşılanması durumunda elektrik tesisinin tümü için malzeme tutarı 73.856,00 TL ve montaj tutarı 142.076,06 TL olmak üzere toplam tutar, 215.932,06 TL olmuştur (EK-C). Bu değer, elektrik enerjisinin tüketim yerine getirilmesi için yapılan yatırımdır. Bununla birlikte tüketilen elektrik enerjisi için ayrıca bedel ödenecektir.

Yenilenebilir enerji kaynaklı olarak tesis edilen mikro şebekenin ekonomik ömrü olarak düşünülen 20 yıl için enerji bedeli hesaplanmalıdır. Her yıl tüketilen enerji miktarı farklı olabilir. Ancak bu çalışmada kullanılan bir yıllık tüketim verilerini tüm yıllar için dikkate alarak 20 yılda tüketilen enerjinin bedeli hesaplanabilir. Buna göre bir yıl içinde 120.813,6 kWh enerji tüketimi yapıldığı ve 42.284,76 TL enerji bedeli ödendiği dikkate alınarak, 20 yılda 20x 42.284,76 TL = 845.695,20 TL enerji bedeli ödenmesi gerekmektedir.

Mikro şebekeli sistem ile elektrik şebeke tesisli sistemin maliyetleri ve mikro şebeke sisteminin kurulmasıyla elde edilecek kazanç değerleri karşılaştırmaları Tablo 5.3'te verilmiştir.

Tablo 5.3. Mikro şebeke ve elektrik şebeke tesisli sistem karşılaştırılması

<table>
<tr><td>Mikro şebekeli sistem</td><td>Mikro şebeke sisteminin kurulum maliyeti ve giderler toplamı</td><td>228.943,00 TL</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Elektrik şebeke tesisli sistem</td><td>Elektrik tesisi kurulum maliyeti</td><td>215.932,06 TL</td></tr>
<tr><td>20 yıl için ödenmesi gereken enerji bedeli</td><td>845.695,20 TL</td></tr>
<tr><td>Elektrik tesisi + enerji bedeli maliyeti</td><td>1.061.627,26 TL</td></tr>
<tr><td colspan="2">Mikro şebeke sisteminin kurulmasıyla elde edilecek kazanç (1.061.627,26 TL - 228.943,00 TL)</td><td>832.684,26 TL</td></tr>
</table>

Tablo 5.3'te görüldüğü gibi mikro şebekeli sistemin kurulum maliyeti ve giderler toplamı 228.943,00 TL olarak hesaplanmaktadır. Bu çalışmada önerilen tüketim merkezinin de elektrik enerjisi ihtiyacının elektrik şebeke tesisli olarak yani şebeke

bağlantılı olacak şekilde bir yatırım yapılması durumunda, aynı sürede sistemin yatırım ve enerji tüketim bedeli toplamı 1.061.627,26 TL olmaktadır.

Yatırımın ekonomik ömrü içinde, yenilenebilir enerji kaynaklı olarak şebekeden bağımsız kurulan mikro şebeke sisteminin işletme ve bakım giderleri ile sistemin şebeke bağlantılı olarak tesis edilmesi durumundaki işletme ve bakım giderleri eşit olarak kabul edilip hesaplamalar buna göre yapılmıştır.

Önerilen tüketim merkezinin elektrik enerji ihtiyacı, elektrik şebekesinden karşılanması yerine şebekeden bağımsız yenilenebilir enerji kaynaklı mikro şebeke sisteminden karşılanması durumunda 20 yılın sonunda 832.684,26 TL kazanç elde edileceği görülmektedir. Bu kazancın yıllık değeri 41634,213 TL ve aylık değeri ise 3469,52 TL olmaktadır.

Mikro şebeke sisteminin kurulmasıyla elde edilen kazancın yanında çevreye hiçbir olumsuz etkisi olmayan temiz enerji kaynaklarının kullanılması sağlanmıştır. Böylece yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretmenin değerlendirilmesi büyük önem taşıdığı ortaya çıkmaktadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Enerji talebinin giderek artması, sürdürülebilir bir kalkınma için enerji kaynaklarının planlı şekilde kullanımının sağlanması ve yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla yararlanılması gerektiğinden, son yıllarda fosil yakıtlar, uranyum, toryum gibi birincil kaynaklarla enerji üretimi yapan termik, dizel, doğal gaz çevrim santralleri gibi sistemlere alternatif olarak yenilebilir enerji kaynaklarından faydalanılarak yeni güç üretim sistemleri kurulmaktadır.

Rüzgâr, güneş ve mikro hidroelektrik gibi yenilebilir enerji kaynaklarından yararlanılarak üretilen elektriksel gücün kapasitesi, klasik enerji üretim sistemlerinin gücüne göre düşük olduğundan sadece bir yenilebilir enerji kaynağından elde edilen elektrik enerjisi ile küçük yerleşim birimlerinin elektrik enerji ihtiyacının karşılanması her zaman yeterli gelmeyebilir. Bu nedenle akıllı ev ve siteler ile özellikle yerleşim yerlerinden uzak bulunan tüketiciler için gerekli olan enerji talebini karşılamada, hibrit güç üretim sistemleri olarak ifade edilen birden fazla yenilebilir enerji kaynaklarının birlikte kullanılmasıyla oluşturulan üretim sisteminden faydalanılır.

Yapılan tez çalışmasında, yerleşim yerlerinden uzak tatil köyü gibi küçük yerleşim birimlerinin enerji ihtiyacını karşılamak için yakıt hücresi destekli rüzgâr, güneş ve mikro hidroelektrik gibi yenilenebilir enerji kaynaklı bir mikro şebekede enerji yönetim stratejisi belirlenmiştir.

Küçük ve çeşitli enerji kaynaklarının optimal kullanımı ile oluşturulan mikro şebekeler, dağıtılmış üretim için önemli bir katkı yapmak mümkün olabilmektedir. Örneğin eğer güneş ışığı varsa FV panel güç üretir, eğer rüzgâr esiyorsa rüzgâr türbini güç üretecektir, akarsunun belli bir debi ile akmasıyla mikro hidroelektrik santral güç üretecektir. Mikro hidroelektrik santral; güneş ve rüzgâr enerjilerine göre daha yoğun bir enerji kaynağıdır. Mevcut enerji kolayca tahmin edilebilir. Güç, genellikle talep üzerine sürekli olarak kullanılabilir. Yakıt maliyetlerinin olmaması,

sınırlı bakım gerektirmesi, hiçbir çevresel etkiye sahip olmaması ve uzun süreli bir teknoloji olması avantajlarıdır.

Eğer yenilenebilir enerji kaynaklarından yükün talep ettiği yeterli güç üretilemiyorsa bunlara ek olarak yakıt hücresi veya batarya kullanılabilir. Önerilen enerji yönetim stratejisi ile değişik hava şartları altında yükün talebinin karşılanmasını sağlamak için en uygun durumdaki güç kaynaklarının nasıl kullanılacağı belirlenmiştir.

Hibrit güç üretim sistemini oluşturan FV, rüzgâr türbini ve mikro hidroelektrik santral üretim birimlerinin gerilim ve frekans değerleri birbirinden farklı değerlerde ise paralel bağlanıp çalıştırılamazlar. Farklı gerilim ve frekans değerine sahip güç üretim sistemlerini aynı hatta bağlayabilmek için gerilim ve frekans değerlerinin eşit olması gerekmektedir. Bu amaçla güç elektroniği devre elemanlarından oluşan AC-DC-AC güç dönüştürücüler kullanılarak iki veya daha fazla güç üretim ünitesinin birbirine bağlantısı gerçekleştirilir. Aynı şekilde yerleşim yerinde bulunan yüklerin beslenmesinde gerekli olan gerilim ve frekans değerlerini elde etmek için AC-DC-AC güç dönüştürücüleri kullanılmıştır. Gerilimin etkin değerinin 400 V ve frekansın 50 Hz'de olması istenilen değerindeki üretim gücü, AC-DC-AC güç dönüştürücüsü ve LCL filtre devresi üzerinden tüketiciye iletilmiştir. LCL filtre devresi kullanılmasının nedeni, dönüştürücülerde yüksek anahtarlama frekansıyla güç dönüşümünün gerçekleştirilmesi sırasında oluşan gerilim harmoniklerinin etkisini azaltmaktır.

Dağıtılmış enerji sistemlerinin çeşitliliği ve ölçeğinin artmasıyla elektrik hizmetlerinin serbestleşmesi ve yeniden yapılanması sırasında önemli rol oynayan mikro şebekelerin yük talebinin karşılamadaki rolü tanıtılmıştır. Mikro şebekeler, son zamanlarda, dağıtılmış enerji sistemlerinde ve yenilenebilir enerji uygulamalarında bir çok araştırmalara yol açmıştır. Dağıtılmış sistemlerin özelliklerinden dolayı, enerji yönetim sisteminin sevk kararı, işletme kontrol, veri tabanı tasarımı ve sistem modelleme üzerinde tekrar düşünülmesi gerekmektedir. Mikro şebekeler için dağıtılmış üretim sistemleri ile geleneksel enerji sistemleri arasındaki farklar, onların güç sistemleri üzerindeki etkileri, kontrol yöntemleri ilişkileri, optimal kontrol yöntemleri ve dağıtım stratejileri incelenmelidir.

Mikro şebeke sisteminde kullanılan bataryalar, fazla üretilen gücü depolamaya olanak sağlar veya ihtiyaç olduğunda yüke aktarmayı sağlar. Elektrolizör ise bataryaların dolu olması durumunda fazla üretilen gücün daha sonra yakıt hücrelerinde elektrik üretiminde kullanılmak üzere hidrojen üretimini gerçekleştirmektedir. Böylece mikro şebekeler, çeşitli durumlarda enerji güvenliğini sağlar ve çevre kirliliğini azaltabilir. Mikro şebekenin her bir güç kaynaklarının kararlı durum davranışlarını anlamak için çalışma ilkeleri açıklanmış ve uygun modelleri kullanılmıştır. Bu çalışmanın, yük talebini karşılarken çalışma maliyetini minimize etmek ve emisyon seviyesini düşürerek rüzgâr türbini, FV panel, mikro hidroelektrik, yakıt hücresi ve batarya için kararlı durum ve optimizasyon modelleri geliştirilerek mikro şebekenin etkin yönetimini sağlayacak bir zemin oluşturmak olan hedefi yerine getirilmiş ve artan enerji ihtiyaçlarını karşılamada yenilenebilir enerji kaynaklı mikro şebekenin katkıları görülmüştür.

Tez çalışmasında geliştirilen enerji yönetim stratejisi çerçevesinde görsel olarak hazırlanan bilgisayar programıyla yenilenebilir enerji kaynaklı mikro şebekeyi oluşturan rüzgâr, FV ve mikro hidroelektrik güç üretim birimlerinden elde edilen güç değerleri, bataryanın şarj ve deşarj durumları, yakıt hücresinin gücü, elektroliz gücü için günlük, aylık ve yıllık değerleri ayrı ayrı değerlendirilmiş ve elde edilen veriler grafiklerle analiz edilmiştir. Grafikler incelendiğinde enerji yönetim programı ile yük talebinin karşılanmasında yenilenebilir enerji kaynaklı üretim birimleri, batarya ve yakıt hücresinin en uygun şekilde yük talebini karşıladığı görülmüştür. Ayrıca enerji talebi karşılanmasında hibrit şebeke önemli bir yer almaktadır. Örneğin güneşin olmadığı veya rüzgârın esmediği saatlerde mikro hidroelektrik santral, batarya ve yakıt hücresi gibi üretim kaynakları yük talebini karşılamıştır.

Yıllık enerji yönetim pogramının grafiklerinden de görüldüğü gibi özellikle kış aylarında yük talebinin diğer aylara göre daha fazla olmasından dolayı yenilenebilir kaynaklardan üretilen enerjinin yük talebini karşılamada yeterli olmadığı görülmüştür. Bu durumlarda yük talebi, yenilenebilir enerji kaynaklı üretim birimleri ile birlikte batarya ve yakıt hücresinden karşılanmıştır.

Yerleşim yerinden 5 km uzak mesafede bulunan tüketim merkezinin elektrik enerji ihtiyacı, şebekeden veya şebekeden bağımsız karşılanması durumu analiz edilmiştir.

Yapılan ekonomik analiz ile şebeke yerine, şebekeden bağımsız olarak oluşturulan mikro şebekeden karşılanması durumunda 20 yılın sonunda 832.684,26 TL kazanç elde edileceği hesaplanmıştır. Mikro şebekeli sistemin kurulum maliyeti 228.943,00 TL olarak hesaplanmıştır. Enerji yönetim programında kullanılan veriler için yıllık enerji tüketim bedeli 42.284,76 TL olarak hesaplandığı dikkate alındığında böyle bir sistemin kendini yaklaşık 5,5 yıl içinde amorti edeceği tespit edilmiştir.

Şebekeden bağımsız kurulan mikro şebekeden elde edilen maddi kazancın yanında çevreye hiçbir olumsuz etkisi olmayan temiz enerji kaynakların kullanılması sağlanmaktadır. Güneş ve rüzgâr enerjisinin uzun dönemde ekonomik olarak elektrik enerjisi üretiminde kullanılabileceği ve ülkemizin zengin küçük su kaynakları potansiyelinin doğru bir şekilde tespit edilerek, mikro hidroelektrik santrallerin değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bundan dolayı düşük debili akarsularda mikro hidroelektrik santrallerinin yapımı, rüzgâr ve güneş enerjisi yatırımları teşviklerle özendirmelidir.

Bu tez çalışmasıyla, ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı konusunda daha sonra yapılacak çalışmalara teknik bilgi ve uygulama konusunda yol gösterici olması ve yenilenebilir enerji kaynaklı mikro şebekelerde enerji yönetim konusu ile ilgilenen araştırmacılara yapıcı öneriler sunmak amaçlanmıştır.

Önerilen bu çalışma sonuçlarını kullananlar, daha ileri çalışmalarda mikro şebeke sistemini, kurulacak bölgedeki yenilenebilir kaynağın durumuna göre farklı üretim birimleri (jeotermal enerji gibi) eklenerek oluşturulabilir. Böyle bir sistemin uygulanması ile yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının özendirilmesi, çevreye ve ülke ekonomisine katkısı ile elektrik enerjisi üretiminde dışarıya bağımlılığı azaltması gibi katkılar sağlanacaktır.

KAYNAKLAR

[1] Wang C., Modeling and control of hybrid wind/photovoltaic/fuel cell distributed generation systems, PhD Dissertation, Montana State University, Montana, 2006.

[2] Bull S. R., Renewable energy today and tomorrow, *Proceedings of IEEE*, 2001, **89**, 1216-1221.

[3] Farret F. A. , Simões M.G., Integration of alternative sources of energy, 1st ed., IEEE press, Wiley, 2006.

[4] http://books.google.com.tr/books?id=Pigi-qVoGa8C&printsec=frontcover&hl =tr &source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false,(Ziyaret tarihi: 15 Nisan 2015).

[5] Yamamoto O., Solid oxide fuel cells: fundamental aspects and prospects, *Electrochimica Acta*, 2000, **45**, 2423-2435.

[6] Abur A., Akıllı şebekeler: Yeni uygulamalar ve ileriye dönük düşünceler, *Akıllı Şebekeler ve Türkiye Elektrik Şebekesinin Geleceği Sempozyumu*, Ankara, Türkiye, 26-27 Nisan 2013.

[7] Değirmenci, F., Avrupa birliği enerji politikalarındaki gelişmeler ve Türkiye açılımları, *11.Enerji Kongresi*, 21-23 Ekim 2009.

[8] Ipsakis D., Voutetakis S., Seferlis P., Stergiopoulos F., Elmasides C., Power management strategies for a stand-alone power system using renewable energy sources and hydrogen storage, International journal of hydrogen energy, 2009, 34,7081-7095.

[9] Engin M., Fotovoltaik - rüzgâr hibrit enerji sistemlerinin İzmir koşullarında tasarımı ve denenmesi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2002, 120381.

[10] http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/statistical-review/EnergyOutlook2030/ /BP_Energy_Outlook_2030_Booklet_2013.pdf, (Ziyaret tarihi : 20 Mart 2014).

[11] http://www.eia.doe.gov/iea, (Ziyaret tarihi: 16 Mart 2014).

[12] http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2014.pdf (Ziyaret tarihi:06 Kasım 2014).

[13] http://www.emo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=88369, (Ziyaret tarihi: 16 Mart 2014).

[14] http://enerjienstitusu.com / turkiye – kurulu – elektrik -enerji-gucu-mw/ (Ziyaret tarihi: 09 Şubat 2014).

[15] http://www.emo.org.tr/ekler/fe9a35b14808387_ek.pdf, (Ziyaret tarihi: 15 Şubat 2014).

[16] http://www.emo.org.tr/ekler/0ee919623734e42_ek.pdf?dergi=577, (Ziyaret tarihi: 10 Nisan 2013).

[17] Cai-hao L., Xian-zhong D., Distributed generation and its impact on power system, *Automation of Electric Power Systems*, 2001, **25**, 53- 56.

[18] http://tr.swewe.net/word_show.htm/?332806_3&Da%C4%9F%C4%B1t%C4%B1lm%C4%B1%C5%9F_Enerji, (Ziyaret tarihi: 11 Eylül 2014).

[19] Saygın H., Türkiye ve dünyada değişen enerji yaklaşımı, *Ekovitrin Dergisi*, 2012, **115**, 110-118.

[20] Hajizadeh A., Aliakbar G. M., Intelligent power management strategy of hybrid distributed generation system, *Electrical Ower and Energy Systems*, 2007, **29**, 783–795.

[21] Lombardi P., Powalko M., Rudion K., Optimal operation of a virtual power plant, *IEEE Power & Energy Society General Meeting*, 2009, **9**, 1-6.

[22] Lu D ., Francois B ., Strategic framework of an energy management of a microgrid with a photovoltaic - based active generator, *Electromotion 2009-EPE Chapter 'Electric Drives' Joint Symposium*, Lille, France, 1-3 July 2009.

[23] Gupta A . , Saini R., Sharma M ., Steady - state modelling of hybrid energy system, *Third International Conference on Electrical Engineering (ICEE)*, Lahore, Pakistan, 9-11 April, 2009.

[24] Westermann D., John A., Demand matching wind power generation with wide - area measurement and demand-side management, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 2007, **22**,145-149.

[25] Hamidi V., Robinson F., Responsive demand in networks with high penetration of wind power, Transmission and Distribution Conference and Exposition, Chicago, 21-24 April, 2008.

[26] Lagorse J., Somoes M., A multiagent fuzzy-logic- based energy managment of hybrid systems, *IEEE Industry Applications Society Annual Meeting (IAS)*, 2009, 45, 2123-2129.

[27] Logenthiran T., Srinivasan D., Short term generation scheduling of a microgrid, *IEEE Region 10 Conference*, Singapure, 23-26 January 2009.

[28] Tsikalakis A., Haatziargyriou N., Centralized control for optimizing microgrids operation, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 2008, **23**, 241-248.

[29] Rajesh S., Hybrid power system modelling - simulation and energy management unit development, Elektrische Energieversorgungs systeme Elektrotechnik / Informatik, PhD Dissertation, Nepal, 2008.

[30] Yumurtacı R., Role of energy management in hybrid renewable energy systems: case study-based analysis considering varying seasonal conditions, *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 2013, **21**, 1077-1091.

[31] Oğuz Y., Hibrit güç üretim sisteminin modellemesi, analizi ve neuro-fuzzy kontrolör kullanılarak sistem performansının iyileştirilmesi, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007, 199513.

[32] Demirtaş M., Güneş ve rüzgâr enerjisi kullanılarak şebeke ile paralel çalışabilen hibrit enerji santralı tasarımı ve uygulaması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2008, 212792.

[33] Keyhani A. (Çeviren: Gerçek, K., Bodur, A.), *Yenilenebilir enerji sistemlerinde akıllı şebeke tasarımı*, 1.baskı, EMO Yayın No: GY/2013/534, Ankara, 2013.

[34] Özdemir, E., Dağılmış enerji üretim sistemleri ve yardımcı hizmetler, *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 12. Ulusal Kongresi ve Fuarı*, Eskişehir, Türkiye, 14-18 Kasım 2007.

[35] Basa Arsoy A., Perdahçı C., Elektrik dağıtım sistemlerinde dağıtılmış üretim, *Uluslararası Enerji ve Çevre Konferansı*, İstanbul, Türkiye, 12-14 Mayıs 2010.

[36] Zhang Y., Mao M., Ding M., Chang L., Study of energy management system for distributed generation systems, *Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies*, Nanjuing, 6-9 April 2008.

[37] J., Kueck, B. J. Kirby, The distribution system of the future, *The Electricity Journal*, 2003, **16(5)**, 78-87.

[38]http://www.eud.org.tr/TR/Genel/BelgeGoster.aspx?F6E10F8892433CFFA79D6F5E6C1B43FFF63E980C93B76373

[39] Shah J.K. , Dynamic power flow control for a smart micro - grid by a power electronic transformer, PhD Dissertation, University of Minnesota, 2011.

[40] Hadjsaid N., Canard J.F., Dumas F., Dispersed generation impacts on distribution networks, *Computer Applications in Power*, *IEEE*, 1999, **12**, 22-28.

[41] Ersavaş C., Ugranlı F., Umut U. H., Karatepe E., Esnek alternatif akım iletim sistemleri (FACTS) ve dağıtılmış enerji üretim sistemleri ile donatılmış elektrik şebekelerinin analizi, *EMO IV. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu,* Kocaeli, Türkiye, 12-13 Mayıs 2011.

[42] Erol Kantarcı M., Kantarcı B., T Mouftah H., Cost aware network design for a sustainable smart grid, *IEEE*, Houston, Texas, 5-9 December 2011.

[43] Su W., Wang J., Energy management systems in microgrid operations, *The Electricity Journal*, 2012, **25**, 45-60.

[44] Muselli M., Notton G., Louche A., Design of hybrid - photovoltaic power generator, with optimization of energy management. *Sol Energy*, 1999, **65**(3), 143-57.

[45] Juan Carlos V´asquez Quintero, Decentralized control techniques applied to electric power distributed generation in microgrids, PhD Dissertation, Universitat Politecnica De Catalunya, 2009.

[46] Ismail Abdel-Qader M.S., Simulation of hybrid power system consisting of wind turbine, FV, storage battery and diesel generation network: design, optimization and economical evulation, Yüksek Lisans Tezi, An - Najah National University, Nablus, Palestine, 2008.

[47] Abou El-Maaty Metwally Metwally Aly Abd El-Aal., Modelling and simulation of a photovoltaic fuel cell hybrid system, PhD Dissertation, Ain Shams University, Egypt, 2005.

[48] Ibrahim M., Decentralized hybrid renewable energy systems control optimization and battery ageing estimation based on fuzzy logic, PhD Dissertation, Kassel University, Germany, 2002.

[49] http://www.mmg.org.tr/dergi-indir/e364b28409.pdf, (Ziyaret tarihi: 15 Ağustos 2014).

[50] Mukund R. P., Wind and solar power systems: design, analysis and operation, 2nd ed., CRS Press, New York, 2005.

[51] Manwell J. F., Mcgowan J. G., Rogers A.L., Wind energy explained: theory, design and application, 2nd ed., Wiley Press, USA, 2009.

[52] http://www.amazon.com/Grid-Integration-Energy-Conversion-Systems/dp/0470 868996, (Ziyaret tarihi: 14 Nisan 2013).

[53] Şimşek V., Rüzgâr enerjisi ve Sivas şartlarında bir rüzgâr santralı tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, 2008, 201557.

[54] http://www.wwindea.org/?task=view&id, (Ziyaret tarihi: 22 Mayıs 2014).

[55] www.ewea.org/.../ EWEA-TUREB-Workshop-27-3-2013-Halil-Alis-EUAS. pdf (Ziyaret tarihi: 21.03.2014).

[56] http://www.amazon.com/Control-Power-Electronics-Selected-Engineering/dp/ 0124027725, (Ziyaret tarihi: 25 Ocak 2012).

[57] Blaabjerg F., Chiarantoni E., Dell'Aquila A., Liserre M., Vergura S., Analysis of the grid side behavior of a LCL – fitler based three - phase active rectifier, *IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE '03),* 2003, **2**, 775 – 780.

[58] http://repa.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx (Ziyaret tarihi: 21.03.2014).

[59] http://www.universalgreenergy.com/Fotovoltaik_tarihce.html (Ziyaret tarihi : 28.03.2014).

[60] Öztürk A., Alkan S., Parçacık sürü optimizasyonu ile fotovoltaik sistemlerde kullanılan DC –DC dönüştürücünün kontrolü, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 2013, **3**, 110-120.

[61] Aktaş A., 3 fazlı 4 telli şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemler için maksimum güç izleyen 4 kollu evirici tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2013, 342556.

[62] Kulaksız A.A., Maksimum güç noktası izleyicili ve UVM inverterli fotovoltaik sistemin yapay sinir ağları tabanlı kontrolü, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2007, 212386.

[63] http://www.epia.org/fileadmin/user_upload/Publications/GMO_2013_-_Final_ PDF.pdf, (Ziyaret tarihi: 10 Ekim 2014).

[64] http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Technology RoadmapSolarPhotovoltaicEnergy_2014edition.pdf, (Ziyaret tarihi: 10 Ekim 2014).

[65] Roberto F., Sonia L., Energy comparasion of MPPT tecniques for PV systems, *WSEAS Transactions on power systems*, 2008, **3**, 446-455.

[66] Moraes-Duzat R., Analytical and experimental investigation of photovoltaic pumping systems, PhD Dissertation, University Oldenbury, Germany, 2000.

[67] http://www.investsanliurfa.com/SayfaDownload/Karacadag_Rapor_PROVA 07032011.pdf, (Ziyaret tarihi: 10 Ekim 2013).

[68] http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/h_y_iti_hid_kurulu_guc.aspx (Ziyaret tarihi: 08 Şubat 2014).

[69] http://enerji.comu.edu.tr/belgeler/turkiyenin_enerji_gorunum_raporu.pdf, (Ziyaret tarihi: 23 Ağustos 2013).

[70] http://recap.apctt.org/Docs/MicroHydro.pdf, (Ziyaret tarihi: 5 Mayıs 2013).

[71] Kocaman B., *Elektrik enerjisi üretim santralleri*, 1.baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2003.

[72] http://srren.ipcc-wg3.de/report/IPCC_SRREN_Ch05.pdf, (Ziyaret Tarihi: 13 Nisan 2013).

[73] Ma´rquez J. L. , Molina M. G., Pacas J. M., Dynamic modeling, simulation and control design of an advanced micro – hydro power plant for distributed generation applications, *International journal of hydrogen energy*, 2010, **35**, 5772-5777.

[74] Kocaman B., Akıllı şebekeler ve mikro şebekelerde enerji depolama teknolojileri, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2013, **2**(1), 119-127.

[75] http://www.etf.unssa.rs.ba/~slubura/diplomski_radovi/Zavrsni_rad_MarkoSilj/Literatura/Handbook%20Of%20Batteries%203rd%20Edition.pdf,(Ziyaret tarihi: 26 Eylül 2013).

[76] Rahman, S.2012. Advanced Energy Technologies, http://www.crcnetbase.com/doi/abs/10.1201/b12056-5 (Ziyaret tarihi: 27 Şubat 2013).

[77] Kuşdoğan Ş., Demirel B., Enerji depolama sistemlerine bir uygulama olarak kurşun asitli bataryaların çift katlı olarak yeniden tasarlanması ve verimlerinin değerlendirilmesi, *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 12. Ulusal Kongresi ve Fuarı*, Eskişehir, Türkiye, 14-18 Kasım 2007.

[78] http://certs.lbl.gov/pdf/microgrid-battery-storage.pdf, (Ziyaret tarihi: 10 Mart 2013).

[79] Glavin M., Optimisation of a hybrid energy storage system for autonomous Photovoltaic Applications, PhD Dissertation, National University of Ireland, 2012.

[80] Momirlan M., Veziroğlu T.N., The properties of hydrogen as fuel tomorrow in suitable energy system for cleanar planet, *International Journal of Hydrogen Energy*, 2005, **30**, 795-802.

[81] http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/hydrogen.pdf, (Ziyaret tarihi: 12 Mayıs 2014).

[82] Ulleberg Ø., Stand -alone power systems for the future: optimal deign, operation & control of solar - hydrogen energy systems, PhD Dissertation, Department of Thermal Energy and Hydropower Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, 1998.

[83] Hidrojen nasıl elde edilir? http://www.bilgiustam.com/hidrojen-nasil-elde-edilir/ (Ziyaret tarihi: 24 Şubat 2014).

[84] Yilanci A. , Dincer I., Ozturk H.K., A review on solar-hydrogen/fuel cell hybrid energy systems for stationary applications, *Progress in Energy and Combustion Science*, 2009, **35**, 231–244.

[85] Solmaz R., Hidrojen gazı eldesi ve metanol elektrooksidasyonu için katalitik elektrot geliştirilmesi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2009, 244198.

[86] Smith J. A., Nehrir M. H., Gerez V., Shaw S. R., A broad look at the workings, types and applications of fuel cells. *In Power Engineering Society Summer Meeting*, 2002, **1**, 70 – 75.

[87] Mohamed F. A., Microgrid modelling and online management, PhD Dissertation, Helsinki University of Technology Control Engineering, 2008.

[88] http://www.eie.gov.tr, (Ziyaret tarihi: 16 Mart 2014).

[89] Che Wanik M . Z ., Dynamic simulation and intelligent Management of distributed generation, PhD Dissertation, Universität Duisburg - Essen, Malaysia, 2011.

[90] Wang C., Nehrir M.H., Shaw S.R., Dynamic models and model validation for PEM fuel cells using electrical circuits, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 2005, **20**, 442-451.

EKLER

EK – A

FV Monokristal modül özellikleri

Elektriksel Veriler	
FV modül modeli	TAK-200
Nominal güç (Pmax)	200 W
Nominal gerilim (Vmpp)	36,30 V
Nominal akım (Impp)	5,52 A
Açık devre gerilimi (Voc)	45 ,30 V
Kısa devre akımı (Isc)	5,91 A
Hücre verimliliği	% 18
Güç toleransı (∆Pmax)	0 ~ +%3
Ebat	1580x808x40 mm
Ağırlık	15 kg
Teknik Özellikler	
Işınlanma	1000W/m²
PV modül sıcaklığı	25℃
Nominal hücre kullanım Sıcaklığı	(-45℃) - (+ 85℃)
Nominal taşıma kapasitesi	5400 Pa
Nominal sistem gerilimi	1000V
Enerji camları kalınlığı	3,2 mm

Mikro hidroelektrik santralde kullanılan türbin tipi ve özellikleri

Tipi	Gücü (kW)	Debi (L/s)	Düşü (m)
Cross-Flow	8	300	5

Proven Energy WT15000 Teknik Özellikleri

Parametre	Değer
Nominal güç	15 kW
Nominal rüzgâr hızı	11 m/s
Tipi (yukarı rüzgâr/aşağı rüzgâr)	Aşağı rüzgâr
Rotor hızı	90 r/dk – 150 r/dk
Rotor çapı (D)	9,4 m
Rotor merkez yüksekliği (H)	15 m
Rotor ofset (y)	2 m
Çalıştırma rüzgâr hızı	2,5 m/s
İç kesme rüzgâr hızı	3,0 m/s
Dış kesme rüzgâr hızı	Belirsiz
Kapanma rüzgâr hızı	Belirsiz
Aşırı hız kontrolü çalıştırmadaki rüzgâr hızı	13 m/s

EK-B

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLI MİKRO ŞEBEKELERDE ENERJİ YÖNETİM PROGRAMI KODLARI

GÜNLÜK HESAPLAMALAR

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;

namespace WindowsFormsApplication1
{
   public partial class Form1 : Form
   {
      public Form1()
      {
         InitializeComponent();
      }

      private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
      {
         int st;
      double[,] saat = { { 9.7, 2.5, 0, 5, 0.7, 1.5, 0, 3.5 }, {8.3,2,0,5,1.3,0,0,2 },
{7.7,2,0,5,0,0.7,0,4 }, {7.4,0.5,0,5,0.6,1.3,0,3.3 }, {7.4,1,0,5,0.6,1.3,0,4 },
{7.6,1.6,0,5,0.4,0.6,0,2.6 }, {11.3,2.4,0.5,5,2,1.4,0,4 }, {11.8,3,1,5,0.8,2,0,4 },
{13,5,2,5,0,1,0,4 }, {14.2,13,3,5,0,0,0,3 }, { 14.4,10,6,5,0,0,0,4},
 {14.5,8,8,5,0,0,0,4 }, {13.2,11,6,5,0,0,0,4 }, {12.7,12,8,5,0,0,0,4 },
{12.3,9,9,5,0,0,0,4 }, {12.6,12,8,5,0,0,0,4 }, {15.2,5,2,5,1.2,2,0,4 },
{15.3,13,0,5,0,0,0,2 }, {17.3,7.5,0,5,2.8,2,0,4 }, {16.5,7.6,0,5,2.7,1.2,0,3.2 },
 {16.2,7.5,0,5,2.4,1.3,0,3.3 }, {15,8,0,5,0.4,1.6,0,3.6 }, {13.7,11,0,5,0,0,0,4 },
{11.7,2,0,5,0.7,2,0,4 },
                  };
         double Ppv, Pruzgar, Pmhes, Pyek, Pt, Py, Pminelek=1, Pmaxelek=4, Pelek,
Paku,Pyh;
         double ASDmax=4, ASDmin = 2,ASD;
         st = Convert.ToInt16(comboBox1.Text);
         Py = saat[(st-1),0];
         Pruzgar = saat[(st - 1), 1];
         Ppv = saat[(st - 1), 2];
         Pmhes = saat[(st - 1), 3];
         Pyh = saat[(st - 1), 4];
         Paku = saat[(st - 1), 5];
         Pelek = saat[(st - 1), 6];
```

```
            ASD = saat[(st - 1), 7];
            textBox1.Text = Py.ToString()+" kW";
            textBox2.Text = Pruzgar.ToString() + " kW";
            textBox3.Text = Ppv.ToString() + " kW";
            textBox4.Text = Pmhes.ToString() + " kW";
            textBox5.Text = Pyh.ToString() + " kW";
            textBox6.Text = Paku.ToString() + " kW";
            textBox7.Text = Pelek.ToString() + " kW";
            textBox8.Text = ASD.ToString()+ " kW";
            label11.Text ="%"+ Convert.ToString(ASD * 80 / 4);
            Pyek = Ppv + Pruzgar + Pmhes;
            Pt = Pyek - Py;
            if (Pt > 0)
            {
               if (ASD >= ASDmax)
               {
                  if (Pminelek <= Pt && Pt<= Pmaxelek)
                  {
                     label9.Text = "ELEKTROLİZÖR ÇALIŞIYOR VE GÜCÜ:" +
Convert.ToString(Pt) + " kW";
                  }
                  else {
                     if (Pt > Pmaxelek)
                     {
                        Pelek = Pmaxelek;
                        Paku = Pt - Pmaxelek;
                        label9.Text = "ELEKTROLİZÖR GÜCÜ: " +
Convert.ToString(Pelek) + " kW BATARYAYI " + Convert.ToString(Paku)+" kW
GÜCÜYLE ŞARJ YAP\n VEYA YÜKÜ BOŞALT";
                     }
                     else
                     {
                        if (0 < Pt && Pt < Pminelek)
                        {
                           Paku = Pt;
                           label9.Text = "BATARYAYI " + Convert.ToString(Paku)+" kW
GÜCÜYLE ŞARJ YAP\n VEYA YÜKÜ BOŞALT";
                        }
                     }
                  }

               } else
               {
                  if (ASDmin < ASD && ASD < ASDmax)
                  {
                     Paku = Pt; label9.Text = "BATARYA ŞARJ EDİLİYOR VE GÜCÜ:"
+ Convert.ToString(Paku) + " kW";

                  }
```

```
                else
                {
                    Paku = Pt; label9.Text = "BATARYA ŞARJ EDİLİYOR VE GÜCÜ:"
+ Convert.ToString(Paku) + " kW" ;

                }
            }

        }else{if(ASD>=ASDmax ||(ASDmin<ASD&& ASD<ASDmax)){
            Paku=(Pt);
            label9.Text = "BATARYA DEŞARJ EDİLİYOR VE KARŞILANAN GÜÇ:"
+ Convert.ToString(-Paku) + " kW";

        }
        else{Paku=Pyh-(Pt);
        label9.Text = " BATARYA YAKIT HÜCRESİ İLE ŞARJ EDİLİYOR VE
GÜCÜ:" + Convert.ToString(Paku) + " kW" +
            "\n YÜK TALEBİ YAKIT HÜCRESİ TARAFINDAN KARŞILANIYOR.
TALEP GÜCÜ: " + Convert.ToString((Py)) + " kW";

        }
        }
    }
    }
}
```

AYLIK HESAPLAMALAR

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;

namespace WindowsFormsApplication1
{
    public partial class Form3 : Form
    {
        public Form3()
        {
            InitializeComponent();
        }

        private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            int st;
```

```
        double[,] gun = { { 410.4,180,64.8,168,0,0,0,84 },
{403.2,199.2,64.8,168,0,0,0,86.4 }, {396,199.2,64.8,144,0,0,0,91.2 },
{391.2,180,62.4,144,0,4.8,0,96 }, {386.4,199.2,64.8,144,0,0,0,91.2 },
{388.8,180,60,144,0,4.8,0,96 }, {388.8,187.2,62.4,144,0,0,0,91.2 },
{364.8,187.2,64.8,144,0,0,0,96 }, {367.2,184.8,62.4,415.2,0,0,0,96 },
{396,180,60,168,0,0,0,96}, { 398.4,187.2,57.6,144,0,9.6,0,96},
{400.8,187.2,62.4,144,0,7.2,0,86.4 }, {398.4,192,64.8,144,0,0,0,79.2 },
{391.2,196.8,67.2,156,0,0,0,88.8 }, {379.2,204,64.8,156,0,0,0,93.6 },
{396,180,62.4,156,0,0,0,96 }, {403.2,180,64.8,144,0,14.4,0,96 },
{405.6,182.4,60,144,0,19.2,0,81.6 }, {405.6,163.2,57.6,168,2.4,14.4,0,62.4},
{415.2,160.8,55.2,168,0,31.2,0,96}, {415.2,151.2,50.4,144,52.8,16.8,0,64.8 },
{408,156,55.2,144,9.6,43.2,0,91.2 }, {405.6,165.6,60,156,0,24,0,96 },
{403.2,180,62.4,156,0,4.8,0,72 }, {403.2,182.4,62.4,156,0,2.4,0,67.2},
{386.4,180,60,156,0,0,0,64.8},{379.2,151.2,50.4,144,7.2,26.4,0,74.4},
{379.2,132,48,144,7.2,48,0,96}, {352.8,132,55.2,144,0,21.6,0,96},
{367.2,134.4,52.8,144,9.6,26.4,0,74.4}, {360,134.4,60,144,0,21.6,0,96}
                };
        double Ppv, Pruzgar, Pmhes, Pyek, Pt, Py, Pminelek = 1, Pmaxelek = 4,
Pelek, Paku, Pyh;
        double ASDmax = 4*24, ASDmin = 2*24, ASD;
        st = Convert.ToInt16(comboBox1.Text);
        Py = gun[(st - 1), 0];
        Pruzgar = gun[(st - 1), 1];
        Ppv = gun[(st - 1), 2];
        Pmhes = gun[(st - 1), 3];
        Pyh = gun[(st - 1), 4];
        Paku = gun[(st - 1), 5];
        Pelek = gun[(st - 1), 6];
        ASD = gun[(st - 1), 7];
        textBox1.Text = Py.ToString() + " kWh";
        textBox2.Text = Pruzgar.ToString() + " kWh";
        textBox3.Text = Ppv.ToString() + " kWh";
        textBox4.Text = Pmhes.ToString() + " kWh";
        textBox5.Text = Pyh.ToString() + " kWh";
        textBox6.Text = Paku.ToString() + " kWh";
        textBox7.Text = Pelek.ToString() + " kWh";
        textBox8.Text = "%" + Convert.ToString((ASD * 80 / 4)/24);
        Pyek = Ppv + Pruzgar + Pmhes;
        Pt = Pyek - Py;
        if (Pt > 0)
        {

          if (ASD >= ASDmax)
          {
            if (Pminelek <= Pt && Pt <= Pmaxelek)
            {
           label9.Text = "ELEKTROLİZÖR ÇALIŞIYOR VE ENERJİSİ:" +
Convert.ToString(Pt) + " kWH";
            }
```

```
                else
                {
                    if (Pt > Pmaxelek)
                    {
                        Pelek = Pmaxelek;
                        Paku = Pt - Pmaxelek;
                        label9.Text = "ELEKTRİZÖR ENERJİSİ: " +
Convert.ToString(Pelek) + " kW BATARYAYI " + Convert.ToString(Paku) + "
kWh ENERJİSİYLE ŞARJ YAP\n VEYA YÜKÜ BOŞALT";
                    }
                    else
                    {
                        if (0 < Pt && Pt < Pminelek)
                        {
                            Paku = Pt;
                            label9.Text = "BATARYAYI " + Convert.ToString(Paku) + "
kWh ENERJİSİYLE ŞARJ YAP\n VEYA YÜKÜ BOŞALT";
                        }
                    }

                }
            }
            else
            {
                if (ASDmin < ASD && ASD < ASDmax)
                {
                    Paku = Pt; label9.Text = "BATARYA ŞARJ EDİLİYOR VE
ENERJİSİ :" + Convert.ToString(Paku) + " kWh";

                }
                else
                {
                    Paku = Pt; label9.Text = "BATARYA ŞARJ EDİLİYOR VE
ENERJİSİ:" + Convert.ToString(Paku) + " kWh";

                }
            }
        }
        else
        {
            if (ASD >= ASDmax || (ASDmin < ASD && ASD < ASDmax))
            {
                Paku = (Pt);
                label9.Text = "BATARYA DEŞARJ EDİLİYOR VE KARŞILANAN
ENERJİ:" + Convert.ToString(-Paku) + " kWh";

            }
            else
            {
```

```
                Paku = Pyh - (Pt);
                label9.Text = " BATARYA YAKIT HÜCRESİ İLE ŞARJ EDİLİYOR
VE ENERJİSİ:" + Convert.ToString(Paku) + " kWh" +
                    "\n YÜK TALEBİ YAKIT HÜCRESİ TARAFINDAN
KARŞILANIYOR. TALEP ENERJİSİ: " + Convert.ToString((Py)) + " kWh";

            }
        }
    }
  }
}
```

YILLIK HESAPLAMALAR

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;
namespace WindowsFormsApplication1
{
  public partial class Form4 : Form
  {
    public Form4()
    {
      InitializeComponent();
    }
    private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
    {
      double[,] ay = { { 13243.2,5580,1860,3720,967.2,1860,0,1488},
{11692.8,4502.4,1612.8,4176,1711.2,0,0,1344 },
{12871.2,5133.6,1785.6,4687.2,1264.8,0,0,1488 },
{10656,4680,1512,5400,0,0,0,1440 },
{9820.8,4687.2,1785.6,4464,0,0,0,1860 },
{7992,4608,1800,3600,0,0,0,2880 },
{7737.6,4761.6,1934.4,3720,0,0,0,2976 },
{7514.4,4240.8,2008.8,3720,0,0,0,2976 },
{7560,4248,1800,4320,0,0,0,2448 },
 {9374.4,4687.2,1934.4,4836,0,0,0,1785.6},
 {10224,4608,1728,4320,0,0,0,2880 },
{12127.2,4836,1711.2,4092,0,372,0,2604 }
                };
      double Ppv, Pruzgar, Pmhes, Pyek, Pt, Py, Pminelek = 1, Pmaxelek = 4,
Pelek, Paku, Pyh;
      double ASDmax = 4 * 24 * 31, ASDmin = 2 * 24 * 31, ASD;
```

```
        byte st=0;
          string t = comboBox1.Text;
          switch (t)
          {
             case "Ocak": st = 1; ASD = ay[(1 - 1), 7]; textBox8.Text = "%" +
Convert.ToString(((ASD * 80 / 4) / 24) / 31); break;
             case "Şubat": st = 2; ASD = ay[(2 - 1), 7]; textBox8.Text = "%" +
Convert.ToString(((ASD * 80 / 4) / 24) / 28); break;
             case "Mart": st = 3; ASD = ay[(3 - 1), 7]; textBox8.Text = "%" +
Convert.ToString(((ASD * 80 / 4) / 24) / 31); break;
             case "Nisan": st = 4; ASD = ay[(4 - 1), 7]; textBox8.Text = "%" +
Convert.ToString(((ASD * 80 / 4) / 24) / 30); break;
             case "Mayıs": st = 5; ASD = ay[(5 - 1), 7]; textBox8.Text = "%" +
Convert.ToString(((ASD * 80 / 4) / 24) / 31); break;
             case "Haziran": st = 6; ASD = ay[(6 - 1), 7]; textBox8.Text = "%" +
Convert.ToString(((ASD * 80 / 4) / 24) / 30); break;
             case "Temmuz": st = 7; ASD = ay[(7 - 1), 7]; textBox8.Text = "%" +
Convert.ToString(((ASD * 80 / 4) / 24) / 31); break;
             case "Ağustos": st = 8; ASD = ay[(8 - 1), 7]; textBox8.Text = "%" +
Convert.ToString(((ASD * 80 / 4) / 24) / 31); break;
             case "Eylül": st = 9; ASD = ay[(9 - 1), 7]; textBox8.Text = "%" +
Convert.ToString(((ASD * 80 / 4) / 24) / 30); break;
             case "Ekim": st = 10; ASD = ay[(10 - 1), 7]; textBox8.Text = "%" +
Convert.ToString(((ASD * 80 / 4) / 24) / 31); break;
             case "Kasım": st = 11; ASD = ay[(11 - 1), 7]; textBox8.Text = "%" +
Convert.ToString(((ASD * 80 / 4) / 24) / 30); break;
             case "Aralık": st = 12; ASD = ay[(12 - 1), 7]; textBox8.Text = "%" +
Convert.ToString(((ASD * 80 / 4) / 24) / 31); break;
             default: MessageBox.Show("Ay seçiniz"); break;
          }
                Py = ay[(st - 1), 0];
                Pruzgar = ay[(st - 1), 1];
                Ppv = ay[(st - 1), 2];
                Pmhes = ay[(st - 1), 3];
                Pyh = ay[(st - 1), 4];
                Paku = ay[(st - 1), 5];
                Pelek = ay[(st - 1), 6];
                ASD = ay[(st - 1), 7];
                textBox1.Text = Py.ToString() + " kWh";
                textBox2.Text = Pruzgar.ToString() + " kWh";
                textBox3.Text = Ppv.ToString() + " kWh";
                textBox4.Text = Pmhes.ToString() + " kWh";
                textBox5.Text = Pyh.ToString() + " kWh";
                textBox6.Text = Paku.ToString() + " kWh";
                textBox7.Text = Pelek.ToString() + " kWh";
                textBox8.Text = ASD.ToString() + " kWh";
                Pyek = Ppv + Pruzgar + Pmhes;
                Pt = Pyek - Py;
                if (Pt > 0)
```

```
            {
            if (ASD >= ASDmax)
                {
                    if (Pminelek <= Pt && Pt <= Pmaxelek)
                    {
                label9.Text = "ELEKTRİZÖR ÇALIŞIYOR VE ENERJİSİ:" +
Convert.ToString(Pt) + " kWh";
                    }
                    else
                    {
                        if (Pt > Pmaxelek)
                        {
                            Pelek = Pmaxelek;
                            Paku = Pt - Pmaxelek;
                            label9.Text = "ELEKTRİZÖR ENERJİSİ: " +
Convert.ToString(Pelek) + " kWh BATARYAYI " + Convert.ToString(Paku) + "
kWh ENERJİSİYLE ŞARJ YAP\n VEYA YÜKÜ BOŞALT";
                        }
                        else
                        {
                            if (0 < Pt && Pt < Pminelek)
                            {
                                Paku = Pt;
                                label9.Text = "BATARYAYI " + Convert.ToString(Paku) +
" kWh ENERJİSİYLE ŞARJ YAP\n VEYA YÜKÜ BOŞALT";
                            }
                        }
                    }
                }
                else
                {
                    if (ASDmin < ASD && ASD < ASDmax)
                    {
                        Paku = Pt; label9.Text = "BATARYA ŞARJ EDİLİYOR VE
ENERJİSİ:" + Convert.ToString(Paku) + " kWh";
                    }
                    else
                    {
                        Paku = Pt; label9.Text = "BATARYA ŞARJ EDİLİYOR VE
ENERJİSİ:" + Convert.ToString(Paku) + " kWh";
                    }
                }
            }
            else
            {
                if (ASD >= ASDmax || (ASDmin < ASD && ASD < ASDmax))
                {
                    Paku = (Pt);
```

```
                    label9.Text = "BATARYA DEŞARJ EDİLİYOR VE
KARŞILANAN ENERJİ:" + Convert.ToString(-Paku) + " kWh";
                }
                else
                {
                    Paku = Pyh - (Pt);
                    label9.Text = " BATARYA YAKIT HÜCRESİ İLE ŞARJ
EDİLİYOR VE ENERJİSİ:" + Convert.ToString(Paku) + " kWh" +
                        "\n YÜK TALEBİ YAKIT HÜCRESİ TARAFINDAN
KARŞILANIYOR. TALEP ENERJİSİ: " + Convert.ToString((Py)) + " kWh";
                }
            }
        }
    }
    }
```

EK- C

ENH Ve TRP Elektrik Tesisi Yapım İşi

(TL)

MALZEME VE MONTAJ İŞLERİ YAKLAŞIK MALİYET BİRİM FİYAT CETVELİ

MALZEME VEYA İŞİN CİNSİ	BİRİM	TÜR	TOPLAM MİKTAR	MALZEME BİRİM FİYATI	MALZEME TUTARI (I)	MONTAJ BİRİM FİYATI	MONTAJ TUTARI (II)	TOPLAM TUTAR (I + II)
Dairo Kesit Ç Borcı Bara 6mm Çap 0,45 Kg/m (İyi Dat	Kg	Y	12	20,85	250,20	20,67	248,04	498,24
BOYALI KAYNAKLI DEMİR DİREK (Şehirç.AG+OG)	Kg	Y	887	1,40	1.241,80	3,78	3.352,85	4.594,68
Tİ Dİ T-25 887 Kg x 1 = 887	Kg	Y	1					
TOPLAM - 1 887	Kg	Y						
BOYALI KAYNAKLI DEMİR DİREKLER (B.A.H.H)	Kg	Y	23.889	1,40	33.444,60	3,81	91.017,09	124.461,69
T-12 306 Kg x 51 = 15606	Kg	Y	10					
D-12 344 Kg x 12 = 4128	Kg	Y	2					
N-12 366 Kg x 1 = 366	Kg	Y	1					
Z-12 421 Kg x 9 = 3789	Kg	Y	1					
TOPLAM = 73 23889	Kg	Y						
BOYALI DEMİR TRAVERS VE KONSOLLAR (B.A.H.H.)	Kg	Y	3.228	1,40	4.519,20	4,43	14.300,04	18.819,24
KABLO MUHAFAZA BORUSU (2,15 mt. boyunda Galv.3/4" Gaz Borusu)	Ad	Y	2	7,58	15,16	23,57	47,14	62,30
KABLO MUHAFAZA BORUSU (2,15 mt. boyunda Galv.1" Gaz Borusu)	Ad	Y	1	10,10	10,10	23,57	23,57	33,67
ÇELİK-ALUMİNYUM İLETKENLER (Müşterek ve RAHH'de)		Y						
SWALLOW 3 AWG (109,96Kg/Km)	Kg	Y	1.649	5,66	9.696,12	6,78	11.180,22	20.876,34
HAVA HATTI MESNET İZOLATÖRLERİ		Y						
36 kV VHD 35 Normal Tip	Ad	Y	209	32,66	6.805,04	17,03	3.559,27	10.364,31
İZOLATÖR DEMİRLERİ(izolatörün montaj bedeline dahil olduğu için ayrıca bedel ödenmez)		Y						
B 35 Demir Travers için(Dur.)	Ad	Y	57	6,86	391,02			391,02
C 35 Demir Travers için (Taş.)	Ad	Y	153	6,04	924,12			924,12
HAVA HATTI ZİNCİR İZOLATÖRLERİ(Normal)		Y						
K1 Tipi izolatör	Ad	Y	141	14,52	2.047,32	5,92	834,72	2.882,04
TEK GERGİ TERTİBATI HİRDAVAT MLZ.(Swallow-3/0 sadece malzeme bedeli ödenir) Al.Klempli	Tk	Y	47	13,92	654,24	19,12	898,64	1.552,88
PARAFUDRLAR METAL OKSİT (ZNO Polimer Muhafazalı)		Y						
36 kV 10kA	Ad	Y	3	67,74	203,22	178,01	534,03	737,25
HARİCİ TİP SİGORTALI AYIRICILAR (PORSELEN İZOLATÖRLÜ)		Y						
36kV 630A 12,5kA	Ad	Y	1	940,00	940,00	805,60	805,60	1.745,60
HARİCİ TİP SİGORTALI TOPRAKLI AYIRICILAR (PORSELEN İZOLATÖRLÜ)		Y						
36kV 630A 12,5kA	Ad	Y	1	975,30	975,30	820,30	820,30	1.795,60
DAHİLİ VE HAR.TİP OG SİGORTA PATRONLARI (36kV 2-20 A)	Ad	Y	6	40,96	245,76			245,76
HARİCİ TİP AG DAĞITIM PANOSU (Dİ Ana Şalteli AG Sğ Y Ayrıcalı)		Y						
100 kVA	Ad	Y	1	1.700,00	1.700,00	959,00	959,00	2.659,00
TEHLİKE LEVHASI (ALÜMİNYUM)	Ad	Y	72	1,31	94,32	4,69	337,68	432,00
50mm² NYY Kablo ve Montajı (İşletme Topraklaması için)	Mt	Y	50	8,95	447,50	3,33	416,50	864,00
Galvaniz Topraklama Şeridi ve Montajı (0 Bağımlık şeri)	Mt	Y	384	2,52	967,68	15,77	6.055,68	7.023,36
2mt Uzun Glv.li 65x65x7lik Köşebent Topraklama Elektrodu	Ad	Y	74	31,51	2.331,74	58,03	4.294,22	6.625,96
HERMETİK DAH. VE HARİCİ TİP TRAFO 33/0,4-0,231kV (28,5-34,5kV)		Y						
100 kVA	Ad	Y	1	5.532,00	5.532,00	2.240,00	2.240,00	7.772,00
0,6/1kV NYY KABLOLAR (PVC Yalıtkanlı,PVC Dış Kılıflı		Y						
3x50+25g mm²	Mt	Y	13	31,76	412,88	7,89	102,57	515,45
0,6/1kV NYY DAHİLİ VE HARİCİ TİP YVV(NYY) KABLO BAŞLIĞI		Y						
3x50+25g mm²	Ad	Y	1	5,68	5,68	43,89	48,89	55,57
					73.856,00		142.076,06	215.932,06

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

[1] **Kocaman B**., *Elektrik enerjisi üretim santralleri*, 1. Baskı, Birsen yayınevi, İstanbul, 2003.

[2] **Kocaman B**., Elektronik sayaç kullanımında tarife seçiminin önemi*, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi,* 2012*,* **1**(1), 59-65.

[3] **Kocaman B.**, Akıllı şebekeler ve mikro şebekelerde enerji depolama teknolojileri, Akıllı Şebekeler ve Türkiye Elektrik Şebekesinin Geleceği Sempozyumu, Ankara, Türkiye, 26-27 Nisan 2013.

[4] **Kocaman B**., Akıllı şebekeler ve mikro şebekelerde enerji depolama teknolojileri, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2013, **2**(1), 119-127.

[5] **Kocaman B** ., Mikro şebekeler için örnek bir enerji yönetimi uygulaması, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2014, **3**(1), 35-52.

ÖZGEÇMİŞ

1972 yılında Bitlis'te doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Bitlis'te tamamladı. 1989 yılında girdiği Yıldız Üniversitesi Kocaeli Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü'nden 1993 yılında Elektrik Mühendisi olarak mezun oldu. 1993-2007 yılları arasında, Yüzüncü Yıl Üniveristesi Tatvan Meslek Yüksekokulunda Öğretim Görevlisi olarak çalıştı. 1995-1997 yılları arasında, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı. 2007 yılından beri Bitlis Eren Üniversitesi Tatvan Meslek Yüksekokulunda Öğretim Görevlisi olarak görev yapmaktadır.