

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR HİBRİD ENERJİ SİSTEMİNİN MODELLENMESİ VE ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Hüseyin ÖZCAN

Anabilim Dalı : Elektrik Mühendisliği

Programı : Elektrik Mühendisliği

OCAK 2009

BİR HİBRİD ENERJİ SİSTEMİNİN MODELLENMESİ VE ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hüseyin ÖZCAN

(504051025)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29 Aralık 2008

Tezin Savunulduğu Tarih : 21 Ocak 2009

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Deniz YILDIRIM (İTÜ)

Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Belgin TÜRKEY (İTÜ)

Yrd. Doç. Dr. Burak BARUTÇU (İTÜ)

OCAK 2009

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam sırasında maddi ve manevi hiçbir desteğini esirgemeyen çok değerli aileme, bu tez çalışmam ile birlikte yüksek lisans eğitimimi tamamladığım İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü'ne ve yine bu tez çalışmam sırasında bilgisi ve desteği ile yolumu aydınlatan sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Deniz YILDIRIM'a teşekkürü bir borç bilirim.

Aralık 2008

Hüseyin ÖZCAN
Elektronik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
SEMBOL LİSTESİ	xix
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyeli.....	3
1.2 Türkiye'nin Rüzgar Enerjisi Potansiyeli	5
1.3 Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli.....	7
1.4 Literatür Araştırması	10
2. RÜZGAR ENERJİSİ.....	13
2.1 Rüzgar Enerjisinin Kısa Tarihçesi	13
2.2 Rüzgar Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları.....	14
2.3 Rüzgar Türbinleri	15
2.3.1 Rüzgar türbinlerinin tanımı	15
2.3.2 Rüzgar türbinlerinin sınıflandırılması	16
2.3.2.1 Rüzgar kuvvetinden yararlanma biçimine göre sınıflandırma	16
Rüzgarın direnç kuvvetinden yararlanan türbinler.....	17
Rüzgarın kaldırma kuvvetinden yararlanan türbinler	17
Yükselen hava akımlı rüzgar türbinleri.....	18
2.3.2.2 Kanat ekseninin konumuna göre sınıflandırma	19
Yatay eksenli rüzgar türbinleri.....	19
Düşey eksenli rüzgar türbinleri	19
2.3.3 Modern yatay eksenli rüzgar türbinlerini oluşturan elemanlar	20
2.3.3.1 Kule	21
2.3.3.2 Gövde	21
2.3.3.3 Türbin kanadı	21
2.3.3.4 Dişli kutusu	22
2.3.3.5 Jeneratör	22
2.3.3.6 Düşük ve yüksek hız milleri.....	22
Düşük hız mili	23
Mekanik frenli yüksek hız mili	23

2.3.3.7 Hız kontrolörü	23
2.3.3.8 Yönelme sürücüsü ve yönelme motoru	23
2.3.3.9 Elektronik kontrol ünitesi	23
2.3.3.10 Hidrolik sistem	23
2.3.3.11 Soğutma ünitesi	23
2.3.3.12 Anemometre ve yelkovan	24
2.3.3.13 Eğim mekanizması	24
3. GÜNEŞ ENERJİSİ.....	25
3.1 Güneş Enerjisinin Kısa Tarihçesi	25
3.2 Güneş Panelinin Yapısı ve Çalışması.....	26
3.3 Güneş Panelinin Elektriksel Eşdeğer Devre Modelleri	29
3.3.1 Basitleştirilmiş elektriksel eşdeğer devre modeli.....	29
3.3.2 Tek diyotlu elektriksel eşdeğer devre modeli	30
3.3.3 İki diyotlu elektriksel eşdeğer devre modeli	30
3.4 Güneş Panelinin Karakteristik Özellikleri.....	31
4. HİBRİD ENERJİ SİSTEMLERİ.....	37
4.1 Hibrid Enerji Sistemlerinin Temel Konfigürasyonları.....	38
4.1.1 Üretilen elektriğin da bir iletim hattında birleştirildiği hibrid enerji sistemi konfigürasyonu	38
4.1.2 Üretilen elektriğin aa bir iletim hattında birleştirildiği hibrid enerji sistemi konfigürasyonu	39
4.1.3 Üretilen elektriğin hem da hem de aa bir iletim hattında birleştirildiği hibrid enerji sistemi konfigürasyonu	39
5. HOMER İLE MİKRO ENERJİ SİSTEMİ MODELLENMESİ.....	41
5.1 Giriş.....	41
5.2 Simülasyon	43
5.3 Optimizasyon	47
5.4 Hassaslık Analizi.....	52
5.4.1 Belirsizlik ile baş etme	53
5.4.2 Saatlik veri kümeleri üzerinde hassaslık analizi	56
5.5 Fiziksel Modelleme	58
5.5.1 Yükler.....	58
5.5.1.1 Birincil yük.....	59
5.5.2 Kaynaklar	60
5.5.2.1 Güneş kaynağı.....	60
5.5.2.2 Rüzgar kaynağı.....	61
5.5.3 Elemanlar	62
5.5.3.1 Fotovoltaik dizi	62

5.5.3.2 Rüzgar türbini	64
5.5.3.3 Batarya grubu	65
5.5.3.4 Şebeke	70
5.5.3.5 Dönüştürücü	72
5.5.4 Sistem dispatch	73
5.5.4.1 Çalışma rezervi	73
5.5.4.2 İstenildiğinde kullanılabilen (dispatchable) sistem elemanlarının kontrolü	75
5.5.4.3 Dispatch strateji	78
5.5.4.4 Yük önceliği	79
5.6 Ekonomik Modelleme	80
6. ÖRNEK BİR HİBRİD ENERJİ SİSTEMİNİN HOMER İLE MODELLENMESİ	85
6.1 Örnek Hibrid Enerji Sisteminin Tanımlanması	85
6.2 Örnek Hibrid Enerji Sisteminin İncelenen Bölgesi	86
6.3 HOMER'in Açılış Penceresi	87
6.4 Örnek Hibrid Enerji Sisteminin Modellenmesinde İzlenilecek Yol Haritası	88
6.4.1 Örnek hibrid enerji sistemini oluşturan elemanların modellenmesi	88
6.4.1.1 Rüzgar türbinlerinin modellenmesi	88
Birinci rüzgar türbininin modellenmesi	88
İkinci rüzgar türbininin modellenmesi	93
6.4.1.2 Yükün modellenmesi	97
6.4.1.3 Dönüştürücünün modellenmesi	104
6.4.1.4 Fotovoltaik dizinin modellenmesi	108
6.4.1.5 Bataryanın modellenmesi	115
6.4.1.6 Şebekenin modellenmesi	120
6.4.2 Örnek hibrid enerji sisteminde kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarının modellenmesi	125
6.4.2.1 Güneş kaynağının modellenmesi	125
6.4.2.2 Rüzgar kaynağının modellenmesi	130
6.4.3 Örnek hibrid enerji sistemi ile ilgili diğer kriterlerin modellenmesi	136
6.4.3.1 Ekonominin modellenmesi	136
6.4.3.2 Sistem kontrolünün modellenmesi	136
6.4.3.3 Sıcaklığın modellenmesi	138
6.4.3.4 Sınırlamaların modellenmesi	140
7. SONUÇLAR VE ANALİZ	143
7.1 Optimizasyon Sonuçları	144
7.2 Hassaslık Sonuçları	155
8. İLERİKİ ÇALIŞMALAR	159
KAYNAKLAR	161
EKLER	165
EK A. FL250 İsimli Rüzgar Türbinine Ait Teknik Bilgiler	165
EK B. FL100 İsimli Rüzgar Türbinine Ait Teknik Bilgiler	167

EK C. Saatlik Yük Verisi İçin MATLAB Programı	169
EK D. MSX-60 İsimli Fotovoltaik Modüle Ait Teknik Bilgiler.....	173
EK E. Surette 4KS25P İsimli Bataryaya Ait Teknik Bilgiler.....	177
ÖZGEÇMİŞ	179

KISALTMALAR

HOMER	: Hybrid Optimization Model for Electric Renewables
Mtep	: Milyon ton eşdeğer petrol
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri
M.Ö.	: Milattan Önce
pu	: birim değer (per unit)
U.S.	: United States
HDKR	: Hay, Davis, Klucher, Reindl
STK	: Standart Test Koşulları
BİD	: Bakır İndiyum Diselenür
GMT	: Greenwich Mean Time
USD	: United States Dollar

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1 : Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli	4
Çizelge 1.2 : Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli	7
Çizelge 1.3 : Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı	8
Çizelge 6.1 : Fotovoltaik modüllerin çeşitli türleri için ortalama verim (<i>efficiency</i>) değerleri	113

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli atlası	6
Şekil 1.2 : Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası	9
Şekil 2.1 : Rüzgar türbininin şematik şekli.....	16
Şekil 2.2 : (a) Anemometrenin şematik şekli. (b) Savonius tipi rüzgar türbininin şematik şekli.....	17
Şekil 2.3 : (a) Düşey eksenli Darrieus tipi rüzgar türbininin şematik şekli. (b) Yatay eksenli rüzgar türbininin şematik şekli	18
Şekil 2.4 : Yükselen hava akımlı rüzgar türbinlerini içeren bir güneş bacası sisteminin şematik şekli	18
Şekil 2.5 : Yatay eksenli bir rüzgar türbininin şekli	19
Şekil 2.6 : Düşey eksenli bir rüzgar türbininin şekli	20
Şekil 2.7 : Modern bir yatay eksenli rüzgar türbininin ana elemanları ile birlikteki şematik şekli.....	21
Şekil 2.8 : Bir rüzgar türbini kesitinin şematik şekli	22
Şekil 3.1 : P-N eklem bölgesinin oluşumunun şematik şekli	27
Şekil 3.2 : Valans bandındaki bir elektronun iletkenlik bandına çıkmasının şematik şekli	28
Şekil 3.3 : Güneş paneli kesitinin şematik şekli	28
Şekil 3.4 : Güneş panelinin basitleştirilmiş elektriksel eşdeğer devre modeli	29
Şekil 3.5 : Güneş panelinin tek diyotlu elektriksel eşdeğer devre modeli.....	30
Şekil 3.6 : Güneş panelinin iki diyotlu elektriksel eşdeğer devre modeli	31
Şekil 3.7 : Güneş panelinin doğrudan doğruya ayarlanabilen bir yüke bağlanması..	31
Şekil 3.8 : Güneş panelinin akım-gerilim (I-V) karakteristiğinin yüklerle değişimi.....	32
Şekil 3.9 : Güneş pillerinin seri-paralel bağlanması ile oluşturulan güneş paneli.....	32
Şekil 3.10 : Güneş panelinin I-V ve P-V karakteristikleri.....	33
Şekil 3.11 : Güneş panelinin akımının, geriliminin ve gücünün çalışma sıcaklığı ile değişimi	34
Şekil 3.12 : Güneş panelinin akımının, geriliminin ve gücünün güneş ışığı şiddeti ile değişimi	35
Şekil 4.1 : Üretilen elektriğin da bir iletim hattında birleştirildiği hibrid enerji sistemi konfigürasyonu.....	38

Şekil 4.2 : Üretilen elektriğin aa bir iletim hattında birleştirildiği hibrid enerji sistemi konfigürasyonu.....	39
Şekil 4.3 : Üretilen elektriğin hem da hem de aa bir iletim hattında birleştirildiği hibrid enerji sistemi konfigürasyonu.....	40
Şekil 5.1 : Simülasyon, optimizasyon ve hassaslık analizi arasındaki kavramsal ilişki.....	43
Şekil 5.2 : HOMER’in modelleyebildiği bazı mikro enerji sistem çeşitlerinin şematik diyagramları : (a) AA elektrik yükünü besleyen bir dizel sistem. (b) DA elektrik yükünü besleyen bir fotovoltaiik-batarya sistemi. (c) Batarya destekli ve aa-da dönüştürücüye sahip bir hibrid hidro-rüzgar-dizel sistemi. (d) Elektrik ve termal yükleri besleyen ve iki jeneratöre, rüzgar türbinine, aa-da dönüştürücüye, batarya grubuna, buhar kazanına ve fazla rüzgar türbini enerjisinin bir dirençli ısıtıcı (<i>resistive heater</i>) boyunca geçirilmesi ile termal yükün beslenmesine yardım eden bir de boşaltıcı yüke (<i>dump load</i>) sahip bir rüzgar-dizel sistemi. (e) Fazla fotovoltaiik enerjiyi yetersiz fotovoltaiik enerji zamanları boyunca kullanılması için bir hidrojen tankının yakıt hücresinde depoladığı hidrojene dönüştüren elektrolizere sahip bir fotovoltaiik-hidrojen sistemi. (f) Hidrojenin bir içten yanmalı motor jeneratörünü çalıştırdığı ve yedekleme için hem bataryaları hem de hidrojeni kullanan rüzgar ile çalışan sistem	44
Şekil 5.3 : Örnek saatlik simülasyon sonuçları.....	47
Şekil 5.4 : Rüzgar-dizel sistemi	49
Şekil 5.5 : 140 farklı sistem konfigürasyonunu içeren araştırma uzayı.....	49
Şekil 5.6 : Toplam net bugünkü maliyete göre sıralanmış sistem konfigürasyonlarını gösteren toplu optimizasyon sonuçları.....	50
Şekil 5.7 : Kategorize edilmiş optimizasyon sonuçları.....	51
Şekil 5.8 : Üç hassaslık değişkenindeki değişikliklerin etkisini gösteren grafik.....	53
Şekil 5.9 : Dizel yakıt fiyatı ile değişen optimum sistem konfigürasyonunu gösteren liste halindeki hassaslık analizi sonuçları.....	55
Şekil 5.10 : Litre başına 0,42 dolar dizel yakıt fiyatı hassaslık durumu için optimizasyon sonuçları.....	56
Şekil 5.11 : Optimum sistem grafiği.....	57
Şekil 5.12 : Örnek bir rüzgar türbini güç eğrisi	65
Şekil 5.13 : Kinetik batarya modeli kavramı	66
Şekil 5.14 : Batarya kapasite eğrisi.....	67
Şekil 5.15 : Batarya yaşam süresi eğrisi	68
Şekil 5.16 : Hidro-dizel-batarya sistemi	77

Şekil 5.17 : Enerji maliyeti karşılaştırması.....	77
Şekil 6.1 : Örnek hibrid enerji sisteminin şematik şekli.....	85
Şekil 6.2 : Örnek hibrid enerji sisteminin incelenen bölgesi.....	86
Şekil 6.3 : HOMER programının açılış penceresi	87
Şekil 6.4 : <i>Add/Remove</i> penceresi.....	87
Şekil 6.5 : Birinci rüzgar türbininin eklenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü.....	89
Şekil 6.6 : <i>Wind turbine inputs</i> penceresi	89
Şekil 6.7 : <i>Wind turbine inputs</i> penceresi	90
Şekil 6.8 : <i>Wind turbine inputs</i> penceresinin elde edilen görüntüsü.....	91
Şekil 6.9 : Fuhrländer 250 isimli rüzgar türbinine ait <i>wind turbine details</i> penceresi.....	92
Şekil 6.10 : Fuhrländer 250 isimli rüzgar türbinine ait <i>create new wind turbine</i> penceresi.....	92
Şekil 6.11 : Birinci rüzgar türbininin modellenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü.....	93
Şekil 6.12 : İkinci rüzgar türbininin eklenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü.....	94
Şekil 6.13 : <i>Wind turbine 2</i> ikonuna tıklanılması ile açılan <i>wind turbine inputs</i> penceresinin elde edilen görüntüsü	95
Şekil 6.14 : Fuhrländer 100 isimli rüzgar türbinine ait <i>wind turbine details</i> penceresi.....	96
Şekil 6.15 : İkinci rüzgar türbininin modellenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü.....	96
Şekil 6.16 : Yükün eklenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü.....	97
Şekil 6.17 : <i>Primary load inputs</i> penceresi.....	98
Şekil 6.18 : <i>Primary load inputs</i> penceresinin elde edilen görüntüsü	99
Şekil 6.19 : <i>Dview</i> penceresinin açılış görüntüsü	100
Şekil 6.20 : Yıllık yük eğrisi.....	101
Şekil 6.21 : <i>Dview</i> penceresinden görüntülenebilecek yük ile ilgili diğer grafikler : (a) Aylık yük verisi. (b) Saatlik yük verisi. (c) Her bir ayın ortalama günlük yük profili. (d) Yükün olasılık dağılımı. (e) Yükün birikimli dağılımı. (f) Yükün süre eğrisi	102
Şekil 6.22 : Yükün modellenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü.....	104
Şekil 6.23 : Dönüştürücünün eklenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü.....	105
Şekil 6.24 : <i>Converter inputs</i> penceresi.....	105

Şekil 6.25 : <i>Converter inputs</i> penceresinin elde edilen görüntüsü	107
Şekil 6.26 : Dönüştürücünün modellenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü	107
Şekil 6.27 : Fotovoltaik dizinin eklenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü	108
Şekil 6.28 : <i>PV inputs</i> penceresi	109
Şekil 6.29 : <i>PV inputs</i> penceresi	109
Şekil 6.30 : <i>PV inputs</i> penceresinin elde edilen görüntüsü.....	114
Şekil 6.31 : Fotovoltaik dizinin modellenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü	114
Şekil 6.32 : Bataryanın eklenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü	115
Şekil 6.33 : <i>Battery inputs</i> penceresi	116
Şekil 6.34 : <i>Battery inputs</i> penceresi	116
Şekil 6.35 : <i>Battery inputs</i> penceresinin elde edilen görüntüsü.....	117
Şekil 6.36 : Surette 4KS25P isimli bataryaya ait <i>battery details</i> penceresi	118
Şekil 6.37 : Surette 4KS25P isimli bataryaya ait <i>create new battery</i> penceresi.....	119
Şekil 6.38 : Bataryanın modellenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü	119
Şekil 6.39 : Şebeke bağlantısının eklenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü	120
Şekil 6.40 : <i>Grid inputs</i> penceresi.....	121
Şekil 6.41 : <i>Rate 1</i> oranının tanımlanması işlemi	121
Şekil 6.42 : <i>Grid inputs</i> penceresinde <i>rates</i> başlığı altında bulunan pencerenin elde edilen görüntüsü	122
Şekil 6.43 : <i>Grid inputs</i> penceresinde <i>emissions</i> başlığı altında bulunan pencere ..	123
Şekil 6.44 : <i>Grid inputs</i> penceresinde <i>advanced</i> başlığı altında bulunan pencere...	123
Şekil 6.45 : <i>Grid inputs</i> penceresinde <i>advanced</i> başlığı altında bulunan pencerenin elde edilen görüntüsü.....	124
Şekil 6.46 : Şebekenin modellenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü	125
Şekil 6.47 : <i>Solar resource inputs</i> penceresi.....	126
Şekil 6.48 : <i>Solar resource inputs</i> penceresinin elde edilen görüntüsü	127
Şekil 6.49 : Güneş ışınlı için hassaslık değeri tanımlanması işlemi	128
Şekil 6.50 : <i>Dview</i> penceresinin açılış görüntüsü	128
Şekil 6.51 : Yıllık güneş ışınlı eğrisi	129
Şekil 6.52 : Güneş kaynağının modellenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü	130

Şekil 6.53 : <i>Wind resource inputs</i> penceresi.....	131
Şekil 6.54 : Ortalama rüzgar hızı değerleri.....	132
Şekil 6.55 : <i>Wind resource inputs</i> penceresinin elde edilen görüntüsü	133
Şekil 6.56 : Rüzgar hızı için hassaslık değeri tanımlanması işlemi.....	133
Şekil 6.57 : <i>Dview</i> penceresinin açılış görüntüsü	134
Şekil 6.58 : Yıllık rüzgar hızı eğrisi	135
Şekil 6.59 : Rüzgar kaynağının modellenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü.....	135
Şekil 6.60 : <i>Economic inputs</i> penceresi	136
Şekil 6.61 : <i>System control inputs</i> penceresi	137
Şekil 6.62 : <i>System control inputs</i> penceresinin elde edilen görüntüsü.....	138
Şekil 6.63 : <i>Temperature inputs</i> penceresi	139
Şekil 6.64 : Ortalama ortam sıcaklığı değerleri	140
Şekil 6.65 : <i>Temperature inputs</i> penceresinin elde edilen görüntüsü.....	140
Şekil 6.66 : <i>Constraints</i> penceresi	141
Şekil 6.67 : <i>Constraints</i> penceresinin elde edilen görüntüsü.....	142
Şekil 6.68 : Diğer kriterlerin modellenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan son görüntü	142
Şekil 7.1 : HOMER'in açılış penceresinde oluşan son görüntü	143
Şekil 7.2 : Birinci incelenen bölgede şebekeye elektrik satamayan örnek hibrid enerji sistemi için HOMER'in verdiği kategorize edilmiş sonuçlar	144
Şekil 7.3 : Birinci incelenen bölgede şebekeye elektrik satabilen örnek hibrid enerji sistemi için HOMER'in verdiği kategorize edilmiş sonuçlar	145
Şekil 7.4 : İkinci incelenen bölgede şebekeye elektrik satamayan örnek hibrid enerji sistemi için HOMER'in verdiği kategorize edilmiş sonuçlar	145
Şekil 7.5 : İkinci incelenen bölgede şebekeye elektrik satabilen örnek hibrid enerji sistemi için HOMER'in verdiği kategorize edilmiş sonuçlar	146
Şekil 7.6 : Üçüncü incelenen bölgede şebekeye elektrik satamayan örnek hibrid enerji sistemi için HOMER'in verdiği kategorize edilmiş sonuçlar	147
Şekil 7.7 : Üçüncü incelenen bölgede şebekeye elektrik satabilen örnek hibrid enerji sistemi için HOMER'in verdiği kategorize edilmiş sonuçlar	147
Şekil 7.8 : Dördüncü incelenen bölgede şebekeye elektrik satamayan örnek hibrid enerji sistemi için HOMER'in verdiği kategorize edilmiş sonuçlar	148
Şekil 7.9 : Dördüncü incelenen bölgede şebekeye elektrik satabilen örnek hibrid enerji sistemi için HOMER'in verdiği kategorize edilmiş sonuçlar	149
Şekil 7.10 : <i>Simulation results</i> penceresi	150
Şekil 7.11 : <i>Compare economics</i> penceresi	151

Şekil 7.12 : <i>Simulation results</i> penceresinde <i>cash flow</i> başlığı altında bulunan pencere.....	153
Şekil 7.13 : <i>Simulation results</i> penceresinde <i>electrical</i> başlığı altında bulunan pencere.....	153
Şekil 7.14 : <i>Simulation results</i> penceresinde Fuhrländer 250 başlığı altında bulunan pencere.....	154
Şekil 7.15 : <i>Simulation results</i> penceresinde <i>grid</i> başlığı altında bulunan pencere.....	155
Şekil 7.16 : Liste halinde hassaslık sonuçları	155
Şekil 7.17 : Şebekeye elektrik satamayan örnek hibrid enerji sistemi için grafik halinde hassaslık sonucu	156
Şekil 7.18 : Şebekeye elektrik satabilen örnek hibrid enerji sistemi için grafik halinde hassaslık sonucu	157

SEMBOL LİSTESİ

I	: Güneş panelinin çıkış akımı
I_{ph}	: Foton akımı
I_D	: Diyot akımı
I_S	: Diyotun doyma akımı
m	: Diyot faktörü
V_T	: Termal gerilim
V	: Güneş panelinin çıkış gerilimi
I_{PiL}	: Güneş pilinin akımı
I_{PANEL}	: Güneş panelinin akımı
V_{PiL}	: Güneş pilinin gerilimi
V_{PANEL}	: Güneş panelinin gerilimi
P_{PANEL}	: Güneş panelinin çıkış gücü
P_{PiL}	: Güneş pilinin gücü
P_{PV}	: Fotovoltaik dizinin çıkış gücü
f_{PV}	: Fotovoltaik dizinin azalma faktörü
Y_{PV}	: Fotovoltaik dizinin nominal kapasitesi
I_T	: Fotovoltaik dizinin dış yüzeyine gelen global güneş ışıınımı
I_S	: Standart test koşulları altında fotovoltaik dizinin üzerine gelen global güneş ışıınımı
α_p	: Gücün sıcaklık katsayısı
T_c	: Fotovoltaik dizinin hücre sıcaklığı
T_S	: Standart test koşulları altında fotovoltaik dizinin hücre sıcaklığı
R_{batt}	: Batarya grubunun yaşam süresi
N_{batt}	: Batarya grubunda bulunan bataryaların sayısı
$Q_{lifetime}$	: Bataryanın yaşam süresinceki enerji miktarı
Q_{thrpt}	: Yıllık enerji miktarı
$R_{batt,f}$	: Bataryanın bekleme konumunda yaşam süresi
c_{bw}	: Bataryanın aşınma maliyeti
$C_{rep,batt}$	: Batarya grubunun yenilenme maliyeti

η_{rt}	: Gidiş-geliş verimliliği
S	: Hurda değeri
C_{rep}	: Elemanın yenilenme maliyeti
R_{rem}	: Elemanın kalan ömrü
R_{comp}	: Elemanın yaşam süresi
C_{NPC}	: Toplam net bugünkü maliyet
$C_{ann,tot}$	: Toplam yıllık maliyet
i	: Yıllık reel faiz oranı
R_{proj}	: Proje yaşam süresi
$CRF(\cdot)$	: Amortisman faktörü
N	: Yıl sayısı
COE	: Enerji maliyeti
E_{prim}	: Sistemin yıl başına beslediği birincil yükün toplam miktarı
E_{def}	: Sistemin yıl başına beslediği ertelenebilir yükün toplam miktarı
$E_{grid,sales}$	: Yıl başına şebekeye satılan enerji miktarı

BİR HİBRİD ENERJİ SİSTEMİNİN MODELLENMESİ VE ANALİZİ

ÖZET

Günümüzde, devamlı artan elektrik enerjisi ihtiyacına paralel olarak fosil kökenli enerji kaynaklarının rezervlerinin sınırlı oluşu, bu enerji kaynaklarının kullanılmaları sonucunda çevre üzerinde yarattıkları olumsuz etkiler ve bu enerji kaynaklarının çeşitli krizler sebebiyle zaman zaman sahip oldukları elde edilememe problemi özellikle XX. yüzyılın son çeyreğinden itibaren yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi önemli bir ölçüde arttırmıştır.

Hibrid enerji sistemleri, yenilenebilir enerji kaynaklarına artan bu ilginin bir sonucu ve enterkonnekte şebeke sisteminden uzak bölgelerde yer alan yükleri besleyebilmenin bir yolu olarak ortaya çıkmışlardır. Ayrıca, enterkonnekte şebeke sisteminin bulunduğu bölgelerde sürekli artan elektrik enerjisi birim maliyetinin düşürülmesi amacı ile de hibrid enerji sistemleri ortaya çıkmışlardır.

Bu çalışmada, belirli bir bölgede bulunan belirli bir yükü ekonomik açıdan optimum şekilde besleyebilecek bir sistem konfigürasyonunu belirleyebilmek için şebeke bağlantısı olan rüzgar ve güneş tabanlı örnek bir hibrid enerji sistemi HOMER ile modellenmiş ve daha sonra HOMER ile bu örnek hibrid enerji sistemi üzerinde simülasyon, optimizasyon ve hassaslık analizi işlemleri gerçekleştirilmiştir. Örnek hibrid enerji sisteminin modellenmesi işlemi gerçekleştirilirken ise incelenen bölgenin sahip olduğu ortalama güneş ışıınımı ve ortalama rüzgar hızı değerleri için hassaslık değerleri belirlenmiş yani bir bakıma bu işlemin gerçekleştirilmesi ile başka bölgeler de tanımlanarak bu farklı bölgelerde de aynı yükü ekonomik açıdan optimum şekilde besleyebilecek sistem konfigürasyonları belirlenmiştir. Bu işlemler ise örnek hibrid enerji sisteminin modellenmesi sırasında şebeke satış kapasitesi için de hassaslık değeri belirlenmesi ile örnek hibrid enerji sisteminin hem şebekeye elektrik satamayanı hem de şebekeye elektrik satabileni için gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada ulaşılan sonuçlardan şebekeye elektrik satamayacak rüzgar türbini ve şebekeden oluşan bir sistemin ekonomik olarak optimum olabilmesi için rüzgar hızının en az 7,34 m/s olması gerektiği ve şebekeye elektrik satabilecek rüzgar türbini ve şebekeden oluşan bir sistemin ise ekonomik olarak optimum olabilmesi için rüzgar hızının en az 6,75 m/s olması gerektiği sonuçları en göze çarpan sonuçlar olarak ortaya çıkmışlardır. Ayrıca, yine bu çalışmada, fotovoltaiik panel ile üretilen 1 kWh'lik elektrik enerjisi maliyetinin yüksek olması sebebi ile güneş ışıınımının 4,03 kWh/m²/gün değerinden 5,00 kWh/m²/gün değerine doğru artmasının optimum sistem konfigürasyonunu değıştirmedeği sonucuna da ulaşılmıştır.

MODELING AND ANALYSIS OF A HYBRID ENERGY SYSTEM

SUMMARY

Today, continuously increasing electrical energy demand correspondingly limited reserves of the fossil energy sources, negative effects on the environment that are created by the consumption of these energy sources, and the problem of unavailability that these energy sources have occasionally because of various crisis increase interest in renewable energy sources significantly especially since the last quarter of XXth century.

Hybrid energy systems came to light as a result of this increasing interest in renewable energy sources and a way of supplying power to loads that are located in remote places which have no interconnected grid system. Hybrid energy systems also came to light for reducing continuously increasing cost per unit of electrical energy in places which have interconnected grid system.

In this study, a sample grid-connected wind-solar hybrid energy system is modeled with HOMER and then realized simulation, optimization and sensitivity analysis processes with HOMER on this sample hybrid energy system to determine a system configuration that can supply a certain load that is in a certain place optimally in terms of economics. When modeling sample hybrid energy system, sensitivity values are determined for average solar radiation and average wind speed that pertain to this certain place, namely different places are described by doing this process and so system configurations that can supply the same load optimally in terms of economics are also determined in these different places. These processes are realized for both sample hybrid energy system that cannot sell electricity to the grid and sample hybrid energy system that can sell electricity to the grid by determining a sensitivity value for grid sale capacity when modeling sample hybrid energy system.

From results obtained in this study, the results that are wind speed must be at least 7.34 m/s for a system that cannot sell electricity to the grid and consists of a wind turbine and the grid to be optimal economically and wind speed must be at least 6.75 m/s for a system that can sell electricity to the grid and consists of a wind turbine and the grid to be optimal economically are the most outstanding results. Also in this study, the result that is solar radiation increasing from 4.03 kWh/m²/day to 5.00 kWh/m²/day does not change optimal system configuration by the reason of the cost of 1 kWh of electrical energy produced by photovoltaic panel is high was obtained.

1. GİRİŞ

İnsanoğlunun sürekli yaşam standartlarını yükseltme çabası, gerçekleşen sanayi devrimleri, hayatın her alanındaki teknolojik gelişmelerin artarak devam etmesi, tüketimin hiç durmadan artması ve bunlar gibi birçok sebep farklı yük çeşitlerinin ortaya çıkması sonucunu doğurmuştur. İnsanoğlu, bu sonucun etkisi olarak sürekli artan elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak için daha ucuz, daha verimli ve daha güvenilir olan fosil yakıtları (kömür, petrol ve doğal gaz) kullanmayı arttırarak devam ettirmiştir. Fakat 1973 dünya petrol krizi, alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarına (nükleer, güneş, rüzgar, dalga, jeotermal, hidrolik, hidrojen ve biyokütle) gösterilen ilginin artmasına sebep olmuştur çünkü bu ve bu tür krizlerin etkileri kendisini enerji piyasasında hemen göstermiş ve artan yakıt fiyatlarına paralel olarak birim enerji fiyatları da yükselmiştir. Ayrıca bu gelişmelere ilaveten, 1990'lı yıllardan sonra insanoğlu tarafından, fosil yakıtların kullanılmaları sonucunda sebep oldukları sera gazları (karbondioksit, metan, nitrozoksit, kloroflorokarbon ve ozon) salınımlarının dünyaya verdiği zararlar (küresel ısınma, iklim değişiklikleri, çevre kirliliği ve kuraklık) iyiden iyiye fark edilmeye başlanmıştır. Bütün bu gelişmelerin sonucu olarak da insanoğlu, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına daha fazla ilgi göstermeye ve bir yandan da fosil yakıtların kullanılmaları sonucunda sebep oldukları sera gazları salınımlarını azaltma yollarının peşine düşmeye başlamıştır.

Eski çağlardan itibaren günümüze kadar farklı amaçlarla kullanılagelen rüzgar enerjisi, yenilenebilir bir elektrik enerjisi kaynağı olarak kendisini piyasada ilk gösteren enerji kaynaklarından birisi olmuştur. Rüzgar türbinlerinin ilk kurulum maliyetlerinin çok yüksek olmasına rağmen işletme maliyetlerinin az olması, iyi bir rüzgar hızı potansiyeline sahip bölgede rüzgar türbinlerinin verimlerinin yüksek olması ve fosil yakıtlarındaki ekonomik ve teknik kısıtlamalar gibi temel sebeplerden ötürü rüzgar enerjisi günümüzün en önemli enerji kaynaklarından birisi haline gelmektedir. Güneş enerjisi de bu gelişmelerden payına düşeni almayı başarmış ve özellikle 1970'li yıllardan sonra güneş enerjisinden yararlanma konusundaki

alışmalar hız kazanmıştır. Güneş enerjisi sistemlerinin sürekli olarak teknolojik bakımdan ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermesi ile birlikte küçük yüklerin beslenmesinde rahatlıkla kullanılabiliyor olmalarının yanında büyük yüklerin beslenmesinde de kullanılabiliyor olmaları güneş enerjisi sistemlerinin yayılımında önemli rol oynamaktadır.

Her iki yenilenebilir enerji kaynağı da (rüzgar ve güneş) şebekeden bağımsız durumda herhangi bir yükü besleyebildikleri gibi enterkonnekte sisteme bağlanmak suretiyle de elektrik enerjisi üretimi yapabilirler. Şebekeden bağımsız çalışan güneş enerjisi sistemleri çıkış gerilimlerinin doğru akım (da) (*direct current, dc*) olması sebebiyle da yükleri direkt olarak besleyebilirler veya evirici sistemler yardımı ile alternatif akım (aa) (*alternating current, ac*) yüklerin elektrik enerjisi ihtiyaçlarını da karşılayabilirler. Rüzgar enerjisi sistemleri ise da çıkış gerilimi sağlayabilmelerine rağmen genellikle aa çıkış gerilimine sahiptirler. Günümüzde, gerek rüzgar enerjisi sistemleri gerekse güneş enerjisi sistemleri vasıtasıyla oluşturulan elektrik enerjisi üretim merkezlerinin enterkonnekte sisteme bağlanması ile bu merkezlerin de enterkonnekte sisteme elektrik enerjisi sağlayan birer santral olarak işlev görmesi sağlanabilmektedir.

Rüzgar ve güneş enerjisi sistemlerinin yukarıda anlatılan bu özelliklerinin yanı sıra herhangi belirli bir yükü besleyen şebekeden bağımsız sadece tek bir yenilenebilir enerji kaynağından oluşan sistemlerin herhangi bir zamanda yükü yeterince besleyemeyecek seviyede elektrik enerjisi üretmelerinin ihtimal dahilinde olması üretim fazlası enerjinin depolanması ve hibrid enerji sistemi kavramlarını ortaya çıkarmıştır. Hibrid enerji sistemleri ise, iki veya daha fazla enerji kaynağının elektrik enerjisi üretmek amacıyla bir arada kullanıldıkları enerji sistemleri olarak ifade edilebilirler. Hibrid enerji sistemlerine hidro-rüzgar-dizel, rüzgar-dizel, güneş-hidrojen, rüzgar-güneş gibi enerji sistemleri örnek olarak verilebilir. Hibrid enerji sistemleri, şebekeden bağımsız olabilecekleri gibi şebeke bağlantılı da olabilirler ve herhangi bir elektrik yükünü besleyebilecekleri gibi bir elektrik enerjisi santrali olarak işlev görmek üzere enterkonnekte sisteme de bağlanabilirler.

Bu tezde yapılan çalışmanın esas amacı, yük olarak belirlediğimiz Gebze’de bulunan bir fabrikanın elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayacak ekonomik açıdan en optimum enerji sistemi konfigürasyonunu belirleyebilmek için içerisinde birçok enerji sistemi konfigürasyonu barındıracak olan şebeke bağlantılı örnek bir hibrid enerji sisteminin HOMER (*Hybrid Optimization Model for Electric Renewables*) programı yardımı ile modellenmesini (modelleme, simülasyon, optimizasyon ve hassaslık analizi) ve analizini gerçekleştirmektir.

1.1 Türkiye’nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyeli

Dünya üzerindeki toplam elektrik enerjisi gereksiniminin 2008 itibariyle yaklaşık olarak 15 trilyon kWh/yıl civarında olduğu tahmin edilmektedir ve bu değer hızlı bir şekilde de artmaktadır. Dünya üzerindeki bu elektrik enerjisi ihtiyacının yaklaşık olarak %80’i fosil yakıtlarından sağlanırken, geri kalan %20’lik kısmı ise hidroelektrik santraller ve yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Türkiye’de ise elektrik enerjisi ihtiyacının yaklaşık olarak %0,5’lik kısmı yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmaktadır [1]. Ancak, özel sektörü teşvik edici çeşitli kanunların çıkartılmış olması ve dolayısıyla özel sektörün yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretmek amacıyla çeşitli yatırımlara başlamış olması bu %0,5’lik oranın zamanla artacağı beklentisini doğurmaktadır. Türkiye, rüzgar enerjisi ve hidrolik enerji potansiyeli bakımından dünyanın sayılı ülkeleri arasındadır, birçok ülkede bulunmayan jeotermal enerjide dünya potansiyelinin yaklaşık olarak %8’ine ve coğrafi konumu nedeniyle de büyük oranda güneş enerjisi alan bölgelere sahiptir [2]. Bu enerji kaynakları, yenilenebilir olduklarından dolayı tükenmezler ve geleneksel yakıtların aksine çevre ve insan sağlığı için önemli bir tehdit oluşturmazlar. Her ne kadar kullanım oranları düşük olsa da Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları bakımından oldukça yüksek bir potansiyele sahiptir. Çizelge 1.1’de ise Türkiye’deki yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyelleri gösterilmiştir.

Çizelge 1.1 : Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli [3].

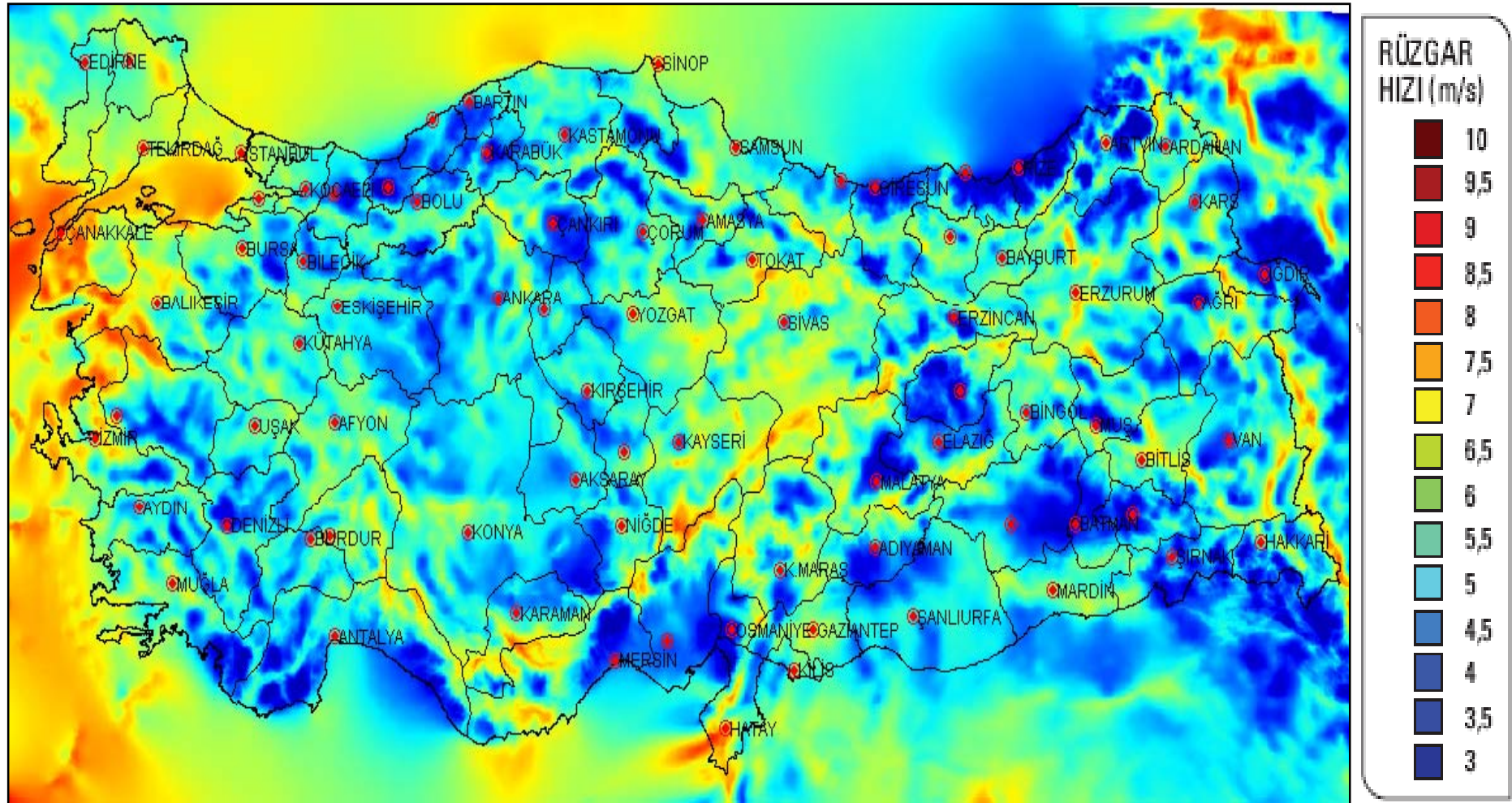
KAYNAKLAR	BRÜT	TEKNİK	EKONOMİK
Hidrolik Enerji			
(MW)	107.500	53.750	34.862
(milyar kWh/yıl)	430	215	124,5
Jeotermal Enerji			
Isı (MW)	31.500	7.500	2.843
(Mtep/yıl)	-	5,4	1,8
Elektrik (MW)	4.500	500	350
(milyar kWh/yıl)	-	-	1,4
Güneş Enerjisi			
Isı+Elektrik (MW)	111.500×10^3	1.400.000	116.000
(milyar kWh/yıl)	977.000	6.105	305
(Mtep/yıl)	80.000	500	25
Rüzgar Enerjisi (Karasal)			
Elektrik (MW)	220.000	55.000	20.000
(milyar kWh/yıl)	400	110	50
Rüzgar Enerjisi (Denizsel)			
Elektrik (MW)	-	60.000	-
(milyar kWh/yıl)	-	180	-
Deniz Dalga Enerjisi			
Elektrik (MW)	75.000	9.000	-
(milyar kWh/yıl)	150	18	-
Klasik Biyokütle Enerjisi			
Yakıt (Mtep/yıl)	30	10	7
Modern Biyokütle			
Yakıt (Mtep/yıl)	90	40	25

1.2 Türkiye'nin Rüzgar Enerjisi Potansiyeli

Türkiye'de 2000'li yılların başına kadar rüzgar enerjisi potansiyeline ilişkin sağlıklı ölçüm sonuçlarına dayalı kesin veriler bulunmamaktaydı fakat 2007 yılının başında EİE, DMI ile işbirliği yaparak rüzgar enerjisi kaynağının değerlendirilmesine ve planlanmasına referans oluşturmak ve rüzgar enerjisi dönüşüm sistemlerine uygun olan yerleri belirlemek amacıyla hazırladığı Şekil 1.1'de de gösterilmiş olan Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası'nı yayınlamıştır.

Türkiye'de rüzgar enerjisi potansiyeli bakımından zengin olan bölgeler Kuzey Batı Ege, Doğu Akdeniz, Batı Karadeniz bölgeleri ile Güneydoğu Anadolu bölgesinin iç kısmı ve Marmara bölgesinin büyük bir kısmıdır. Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından hazırlanan bu Türkiye Rüzgar Atlası'na göre yerleşim alanları dışında 50 metre yükseklikteki rüzgar hızları Marmara ve Batı Karadeniz kıyılarında 6,0–7,0 m/sn ve bu bölgelerin iç kesimlerinde 5,5–6,5 m/sn, Doğu Karadeniz kıyılarında ve bu bölgenin iç kesimlerinde yaklaşık olarak 5,0 m/sn, Batı Akdeniz kıyılarında 5,0–6,0 m/sn ve bu bölgenin iç kesimlerinde 4,5–5,5 m/sn, Kuzey Batı Ege kıyılarında 7,0–8,5 m/sn ve bu bölgenin iç kesimlerinde ise 6,0–7,0 m/sn civarındadır.

Türkiye, Avrupa'da rüzgar enerjisi potansiyeli en iyi olan ülkelerden birisidir. Türkiye'deki rüzgar enerjisi kaynakları teorik olarak Türkiye'nin elektrik enerjisi ihtiyacının tamamını karşılayabilecek düzeydedir. Türkiye'de karasal alanda rüzgar enerjisinin teknik potansiyeli 55.000 MW, denizsel alanda ise rüzgar enerjisinin teknik potansiyeli 60.000 MW'dır. Türkiye'de rüzgar enerjisinin ekonomik potansiyelinin 50 milyar kWh/yıl olduğu tahmin edilmektedir ve bu potansiyelin değerlendirilebilmesi için de gerekli olan kurulu rüzgar enerjisi gücü 20.000 MW olmalıdır.



Şekil 1.1 : Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli atlası (50 metre) [4].

1.3 Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli

Türkiye, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nde bulunan 1966-1982 yılları arasında ölçülen güneşlenme süresi ve ışıyım şiddeti verilerinden yararlanarak EİE tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresinin 2.640 saat (günlük toplam 7,2 saat) ve ortalama toplam ışıyım şiddetinin 1.311 kWh/m²/yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir [5]. Türkiye'nin aylara göre güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri ise Çizelge 1.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 1.2 : Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli [5].

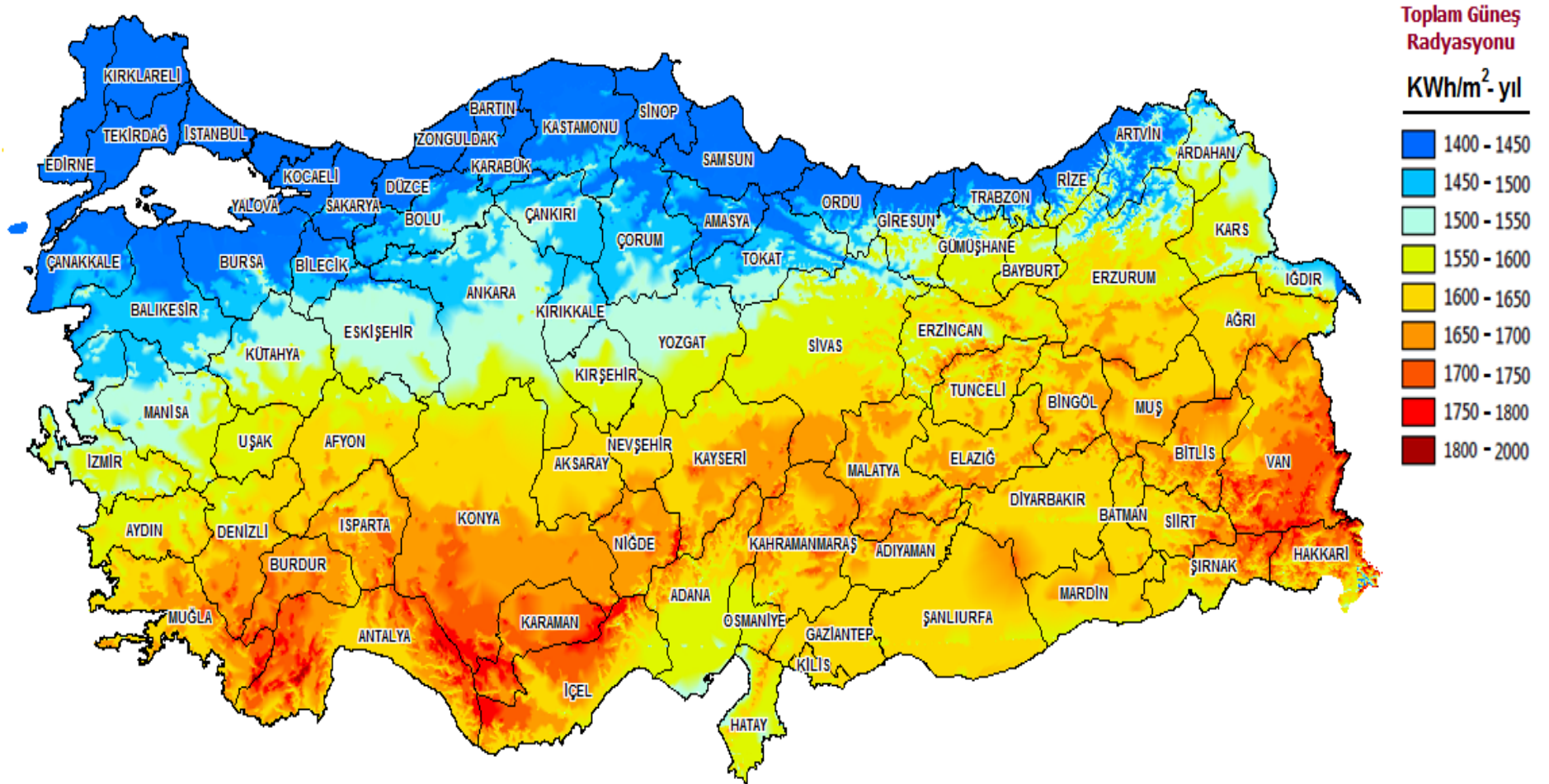
AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ		GÜNEŞLENME SÜRESİ
	(Kcal/cm ² /ay)	(kWh/m ² /ay)	
Ocak	4,45	51,75	103,0
Şubat	5,44	63,27	115,0
Mart	8,31	96,65	165,0
Nisan	10,51	122,23	197,0
Mayıs	13,23	153,86	273,0
Haziran	14,51	168,75	325,0
Temmuz	15,08	175,38	365,0
Ağustos	13,62	158,40	343,0
Eylül	10,60	123,28	280,0
Ekim	7,73	89,90	214,0
Kasım	5,23	60,82	157,0
Aralık	4,03	46,87	103,0
Toplam	112,74 Kcal/cm ² /yıl	1.311 kWh/m ² /yıl	2.640 saat/yıl
Ortalama	308,0 cal/cm ² /gün	3,6 kWh/m ² /gün	7,2 saat/gün

Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi potansiyeline sahip bölgesi Güneydoğu Anadolu bölgesi olup bunu sırasıyla Akdeniz, Doğu Anadolu, İç Anadolu, Ege, Marmara ve Karadeniz bölgeleri izlemektedir. Güneş enerjisi potansiyelinin ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı ise Çizelge 1.3'de gösterilmiştir. Ancak, bu değerlerin, Türkiye'nin gerçek potansiyelinden daha az olduğu daha sonra yapılan çalışmalar ile anlaşılmıştır. 1992 yılından bu yana EİE ve DMİ, güneş enerjisi değerlerinin daha sağlıklı olarak ölçülmesi amacıyla enerji amaçlı güneş enerjisi ölçümleri yapmaktadırlar ve devam etmekte olan bu ölçüm çalışmalarının sonucunda Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelinin eski değerlerden %20-25 daha fazla olması beklenmektedir [5].

Çizelge 1.3 : Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı [5].

BÖLGELER	TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (kWh/m ² /yıl)	GÜNEŞLENME SÜRESİ (saat/yıl)
Güneydoğu Anadolu	1.460	2.993
Akdeniz	1.390	2.956
Doğu Anadolu	1.365	2.664
İç Anadolu	1.314	2.628
Ege	1.304	2.738
Marmara	1.168	2.409
Karadeniz	1.120	1.971

Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan Türkiye'ye ait Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) ise Şekil 1.2'de gösterilmiştir.



Şekil 1.2 : Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası [6].

1.4 Literatür Araştırması

Khan ve Iqbal, Kanada’da bulunan Newfoundland eyaletinde gerçekleştirilecek olan uygulamalar için enerji taşıyıcısı olarak hidrojen kullanan hibrid enerji sistemlerinin kullanımının bir ön fizibilite çalışmasını gerçekleştirmişlerdir. Khan ve Iqbal, çeşitli yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynaklarını, enerji depolama metodlarını ve bunların maliyet ve performans açısından uygulanabilirliğini tartışmışlar ve boyutlandırma ve optimizasyon işlemini gerçekleştirebilmek için de HOMER programını kullanmışlardır. Ayrıca, Khan ve Iqbal, rüzgar hızı, güneş ışınlamı, dizel yakıt fiyatı ve yakıt hücresi maliyeti için de hassaslık analizi işlemini gerçekleştirmişlerdir. Khan ve Iqbal sonuç olarak rüzgar-dizel-batarya hibrid enerji sistemini en uygun çözüm olarak bulmuşlardır fakat buna karşın yakıt hücresinin maliyetinde %15’lik bir azalma gerçekleştiğinde ise Khan ve Iqbal rüzgar-yakıt hücresi sisteminin en iyi seçenek olduğunu bulmuşlardır [7].

Alam ve Gao, uzak bir bölge için uygun olan bir hibrid güç üretim sistemi uygulamasını tasarlamışlardır. Alam ve Gao’nun tasarladıkları bu sistem fotovoltaik paneller, rüzgar türbini ve yakıt hücresi olmak üzere üç farklı yenilenebilir enerji kaynağını kullanan üç farklı sistem elemanından oluşmaktadır. Yakıt hücresi için hidrojenin üretimi ve düzenli arzı için ayrıca bir elektrolizer ve bir yakıt dönüştürücü de Alam ve Gao tarafından tasarlanan sistemde dikkate alınmıştır. Alam ve Gao, başlangıç analizi için ekonomik güç üretimine dayalı sürekli güç sağlamak amacıyla bir bulanık mantık güç akış kontrolörü tasarlamışlar ve bir yük merkezini besleyen böyle bir hibrid enerji sisteminin analizini HOMER programının kullanımı ile gerçekleştirmişlerdir. Alam ve Gao simülasyon sonuçlarına dayalı olarak uzak lokasyonlardaki bağımsız uygulamalarda elektrik enerjisinin dağıtılmış bir şekilde üretimi için bu yenilenebilir enerji kaynaklarının uygun bir çözüm olduğunu bulmuşlardır [8].

Tudorache ve Morega, müstakil elektrik güç üretimi için fotovoltaik bir sistemin ve bir rüzgar türbininin eş zamanlı çalışmasına dayalı olan ve bir dizel jeneratör ile de desteklenmiş olan bir entegre hibrid enerji sisteminin optimum tasarımını gerçekleştirmişlerdir. Tudorache ve Morega’nın tasarladıkları hibrid enerji sisteminin optimizasyonu Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (*National Renewable Energy Laboratory, NREL*) tarafından geliştirilmiş olan HOMER programında

gerçekleştirilen biçimsel tip sayısal modellere (*logistic type numerical models*) dayanmaktadır. Tudorache ve Morega sonuç olarak Constanta şehri civarında bulunan bir bölgede en ucuz fiyata elektrik enerjisi sağlayabilecek (\$/kWh) optimum hibrid güç sistemi mimarisinin bir dizel jeneratör grubundan, dört adet sabit fotovoltaiik panelden, iki adet rüzgar türbininden ve sekiz adet bataryadan oluştuğunu bulmuşlardır [9].

Himri Y., Stambouli, Draoui ve Himri S., Cezayir'in güney batısında bulunan bir bölgede şebeke bağlantısı olmayan hibrid enerji sistemleri için bir tekno-ekonomik değerlendirme gerçekleştirmişlerdir. Himri Y., Stambouli, Draoui ve Himri S., bu çalışma için enerjinin üretiminin, yaşam döngüsü maliyetlerinin ve sera gazı emisyonlarının düşürülmesinin değerlendirilmesi için HOMER programını kullanmışlardır. Himri Y., Stambouli, Draoui ve Himri S. sonuç olarak 5,00 m/s'den daha düşük rüzgar hızları için simülasyonda kullanılan dizel yakıt fiyatı aralığı boyunca mevcut dizel enerji santralinin tek uygun çözüm olduğunu bulmuşlardır fakat bunun yanında dizel yakıt fiyatının 0,162 \$/L veya daha fazla ve rüzgar hızının 5,48 m/s veya daha fazla olduğu bir durumda da rüzgar-dizel hibrid enerji sisteminin daha uygun bir çözüm olduğunu bulmuşlardır [10].

Dalton, Lockington ve Baldock, şebeke bağlantısı olan büyük ölçekli bir otel için sadece şebekeden oluşan, sadece yenilenebilir enerji sistemlerinden oluşan ve şebeke ve yenilenebilir enerji sistemlerinden oluşan sistem konfigürasyonlarının teknik ve finansal gerçekleştirilebilirliğinin analizini sunmuşlardır. Dalton, Lockington ve Baldock değerlendirme kriterleri olarak net bugünkü maliyeti (*net present cost, NPC*), yenilenebilir enerji oranını (*renewable fraction, RF*) ve geri ödeme zamanını (*payback time*) belirlemişler ve değerlendirme programı olarak ise HOMER programından yararlanmışlardır. Dalton, Lockington ve Baldock'un bulduğu sonuçlar temelde yenilenebilir enerji sistemlerinin şebeke elektriği ile birlikte büyük ölçekli bir otel için dikkate değer bir güç sağlama potansiyeline sahip olduğunu, büyük ölçekli şebeke bağlantılı uygulamalar için fotovoltaiik sistemler yerine rüzgar enerjisi dönüşüm sistemlerinin ekonomik bakımdan daha uygulanabilir bir yenilenebilir enerji sistemi teknolojisi olduğunu ve hidrojen yakıt hücrelerinin ve hidrojenin depolanmasının şebeke bağlantılı konfigürasyonlarda pek de ekonomik olmadığını göstermektedir [11].

Henryson ve Svensson, katı çevre mevzuatları altında mümkün olabildiğince yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılması ile İsveç Antarktik Araştırma Programı (*Swedish Antarctic Research Program, SWEDARP*) için güç ve enerji taleplerini karşılamının yollarını sunmuşlardır. Henryson ve Svensson, araştırma verisinin sürekli izlenmesi ve toplanılması amacıyla 1 kW değerinde elektrik gücü sağlayacak yeni bir güç sisteminin tasarımını amaçlamışlardır. Henryson ve Svensson'nun gerçekleştirdikleri tez teknik gerçekleştirilebilirlik ve ekonomik fizibilite çalışmasına dayanmaktadır. Henryson ve Svensson'nun tezinde sonuçlar, Antarktika'da Wasa istasyonunda bulunan sert iklim şartlarında her bir temel sistem elemanının nasıl çalışmasının beklenildiği analizlere ve bilgisayar simülasyonlarına (HOMER) dayanmaktadır. Henryson ve Svensson sonuç olarak Antarktika'da birincil enerji kaynağı açısından rüzgar enerjisinin çok iyi bir potansiyele sahip olduğunu ve her biri 3 kW büyüklüğünde olan üç adet rüzgar türbininden ve 2.000-2.800 Ah'lık toplam batarya kapasitesinden oluşan bir sistemin optimum bir sistem olduğunu bulmuşlardır [12].

Hansen ve Bower, Hindistan'ın kırsal bölgelerinde mevcut olan dağıtılmış elektrik üretim teknolojilerini araştırmışlar ve bunların ekonomik performanslarını modellemişlerdir. Ayrıca, Hansen ve Bower, uzak bölgelerde bulunan köy düzeyindeki uygulamalar için şebeke bağlantısına sahip olan hibrid dağıtılmış elektrik üretim sistemlerinin maliyetlerini de karşılaştırmışlardır. Hansen ve Bower'ın çalışmasında modellenen girişler talebe, yakıt mevcudiyetine, maliyetlere ve Hindistan'da Gujarat'ın Kachchh bölgesinde bulunan yerel işletme şartlarına bağlıdır. Hansen ve Bower sonuç olarak eğer yerel enerji kaynakları (rüzgar, güneş, biyokütle) yeterli ise hibrid enerji sistemlerinin kırsal alanlarda ekonomik olarak elektrik enerjisi sağlayabileceğini bulmuşlardır [13].

2. RÜZGAR ENERJİSİ

Toplumların her yönden gelişmeye ve büyümeye başlaması ile birlikte farklı enerji çeşitlerinin kullanılması zorunluluğu ortaya çıkmıştır. İnsanoğlunun kullanmaya başladığı ilk enerji çeşitlerinden birisi olan rüzgar enerjisi günümüzde de en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi olarak gösterilmektedir.

2.1 Rüzgar Enerjisinin Kısa Tarihçesi [14]

Rüzgar enerjisinin kullanımı çok eskilere dayanmaktadır ve ilk olarak Asya medeniyetlerinden Çin, Tibet, Afganistan ve İran'da kullanıldığı bilinmektedir. Düşey eksenli ilk rüzgar türbinleri, M.Ö. 500-900 yıllarında Farşlılar tarafından dizayn edilip buğday öğütme ve su pompalama amaçlı kullanılmışlardır. M.Ö. 200-300 yıllarında rüzgar türbinlerinin kullanımına ait ilk yazılı belgeler basit yapıdaki yatay eksenli rüzgar türbinleri hakkındadır.

Rüzgar enerjisinin kullanımı Asya'dan Avrupa'ya X. yüzyıl civarında geçmiştir. Bu geçişin bir belirtisi olarak XI. ve XII. yüzyılda İngiltere'de rüzgar değirmenlerinin kullanıldığı bilinmektedir. Günümüzde birçok ülkede çiftçiler tarafından hala kullanılan rüzgar değirmenleri daha çok kuyulardan su çekmek amaçlı kullanılmaktadırlar.

Sanayi devrimi ile birlikte XVIII. yüzyılda buhar makinelerinin ortaya çıkması sonucunda dünya, enerji ihtiyacının temini için termodinamik işlemlere dayanan bu makinelerden yararlanmaya başlamıştır. Özellikle kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtların kullanımı ile beraber bu makineler daha avantajlı bir duruma gelmiştir. Ayrıca, fosil yakıtların kullanımı ile istenildiği anda enerji üretimi sağlamalarından dolayı bu makineler rüzgar türbinlerinden daha popüler hale gelmişlerdir. Bu nedenle XIX. yüzyıldan XX. yüzyılın ortalarına kadar rüzgar enerjisinin önemi azalmıştır.

1891 yılında Poul la Cour ve Danimarka Askov Folk High School bilim adamlarının oluşturduğu bir grup rüzgardan elektrik enerjisi üreten ilk türbini yapmışlardır.

Danimarka hükümetinin desteğiyle de test amaçlı bir rüzgar enerjisi santrali kurmuşlardır. 1918 yılına gelindiğinde Danimarka’da rüzgardan elektrik enerjisi üretmek amacıyla kurulmuş 120 adet rüzgar türbini bulunmaktaydı. Danimarkalı bir şirket olan F.L. Smith ise iki ve üç kanatlı rüzgar türbinlerini inşa etmiştir. Bunların en büyüğü 1941 yılında Vermont’da inşa edilen yatay eksenli, iki kanatlı, 53,34 metre rotor çapına sahip ve 1.250 kW büyüklüğünde Smith-Putnam rüzgar türbinidir.

1951 yılından sonra doğru akım jeneratörlerinin yerini alternatif akım enerji üreten asenkron makineler almaya başlamıştır. 1956 yılında 200 kW gücünde Gedser rüzgar türbini Johannes Juul tarafından SEAS elektrik şirketi için Danimarka’nın güney kısmında bulunan Gedser kıyısında inşa edilmiştir. Bu Gedser rüzgar türbini üç kanatlı olup asenkron jeneratör kullanmaktaydı.

1960’lı yıllardan sonra rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretilmesinde ekonomik nedenlerden dolayı belirli bir azalma meydana gelmiştir. Bu yıllarda daha ucuz olan fosil yakıtların (kömür, petrol ve doğal gaz) kullanıldığı termik santraller daha popüler olmaya başlamıştır. Ancak, 1973 dünya petrol krizi, alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarına gösterilen ilginin artmasına sebep olmuştur. Rüzgar enerjisi kullanımı özellikle 1990’lı yıllardan itibaren önemli bir artış göstermiş ve bilhassa Amerika ve Avrupa’da rüzgar enerjisi yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır.

2.2 Rüzgar Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları [1]

Rüzgar enerjisinin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir :

- Rüzgar enerjisi ile elektrik enerjisi üretmek, fosil yakıtlar ile elektrik enerjisi üretmek de olduğu gibi çevreyi kirletmez ve asit yağmurlarına sebep olan sera gazları salınımlarına neden olmaz.
- Rüzgar türbinleri ile elektrik enerjisi üretimi sırasında herhangi bir hammadde maliyeti bulunmaz.
- Rüzgar enerjisi ülke içi enerji kaynağıdır yani rüzgar enerjisinde dışa bağımlılık söz konusu değildir.

- Rüzgar enerjisi, tükenmeyen rüzgar gücünün yenilenebilir olması prensibine dayanır.
- Rüzgar enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları arasında en düşük enerji birim maliyetine sahip olanlardan birisidir.
- Rüzgar türbinleri çiftliklere inşa edilebilirler ve bu tip bölgelerde çiftçiler arazilerinde çalışmaya da devam edebilirler.

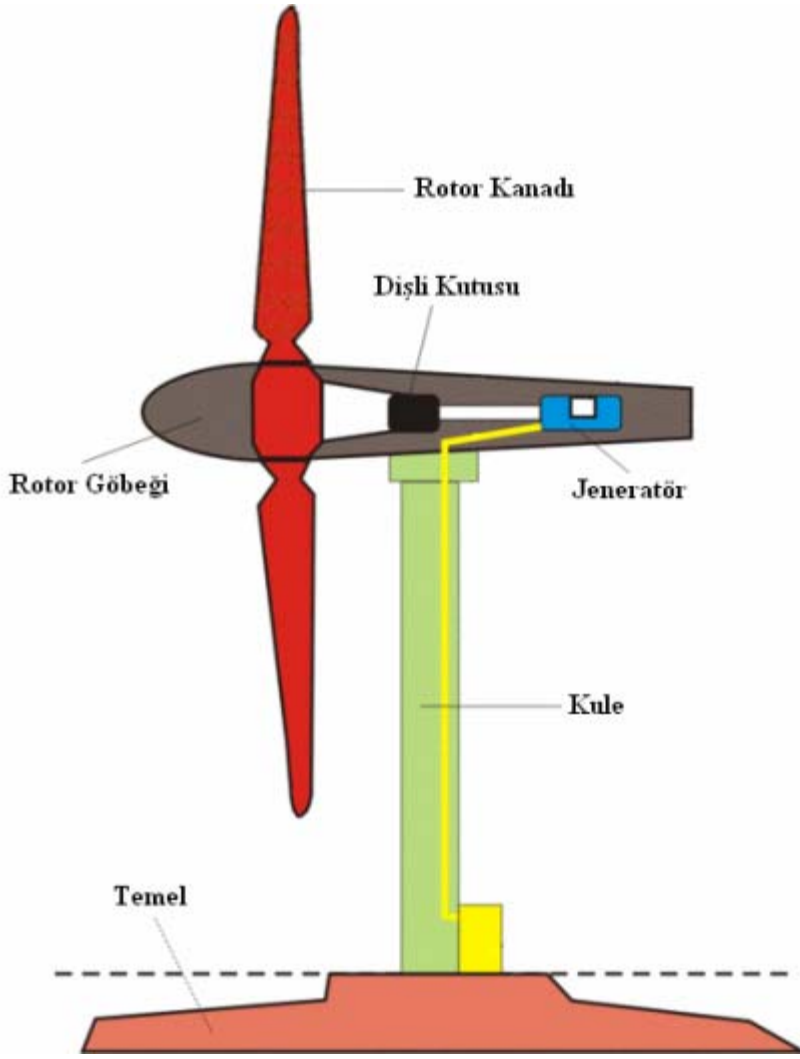
Rüzgar enerjisinin dezavantajları da aşağıdaki gibi sıralanabilir :

- Rüzgar türbinlerinin ilk kurulum maliyetleri çok yüksektir.
- Rüzgar hızının sabit olmaması sebebiyle üretilen elektrik enerjisi önemli ölçüde değişkenlikler gösterebilir.
- Rüzgar türbinleri gürültü kirliliği yaratabilir.
- Kuşların göç yollarında bulunan rüzgar türbinleri kuşlara zarar verebilir.

2.3 Rüzgar Türbinleri

2.3.1 Rüzgar türbinlerinin tanımı

Tahrik edilen kısmı dönme hareketi yapan ve bir akışkanda bulunan enerjiyi milinde mekanik enerjiye dönüştüren makineler türbin olarak adlandırılmaktadırlar [1]. Rüzgar türbinlerinin en genel tanımında ise rotor kanatları, rotor göbeği ve rotor mili rüzgar türbini olarak adlandırılır. Rotor mili dişli kutusuna bağlıdır. Dişli kutusunu jeneratöre bağlayan mile de jeneratör mili adı verilir. Bunların tümü bir kule tarafından taşınır. Kule ile yer bağlantısı da temel aracılığı ile sağlanır. Şekil 2.1’de genel bir rüzgar türbininin şematik şekli gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Rüzgar türbininin şematik şekli [15].

2.3.2 Rüzgar türbinlerinin sınıflandırılması

Rüzgar türbinleri, rüzgar kuvvetinden yararlanma biçimine göre veya kanat ekseninin konumuna göre sınıflandırılabilirler [1].

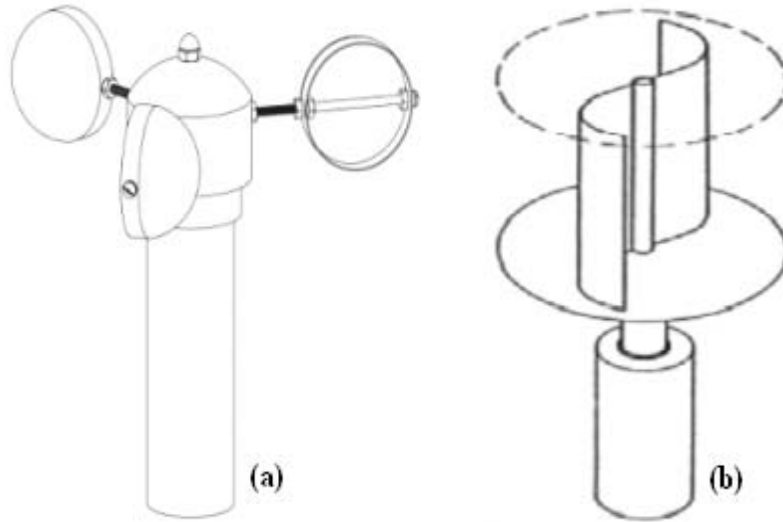
2.3.2.1 Rüzgar kuvvetinden yararlanma biçimine göre sınıflandırma

Rüzgar türbinleri, rüzgar kuvvetinden yararlanma biçimine göre üç ayrı kategoride sınıflandırılırlar [1]:

- Rüzgarın direnç kuvvetinden yararlanan türbinler
- Rüzgarın kaldırma kuvvetinden yararlanan türbinler
- Yükselen hava akımlı rüzgar türbinleri

Rüzgarın direnç kuvvetinden yararlanan türbinler

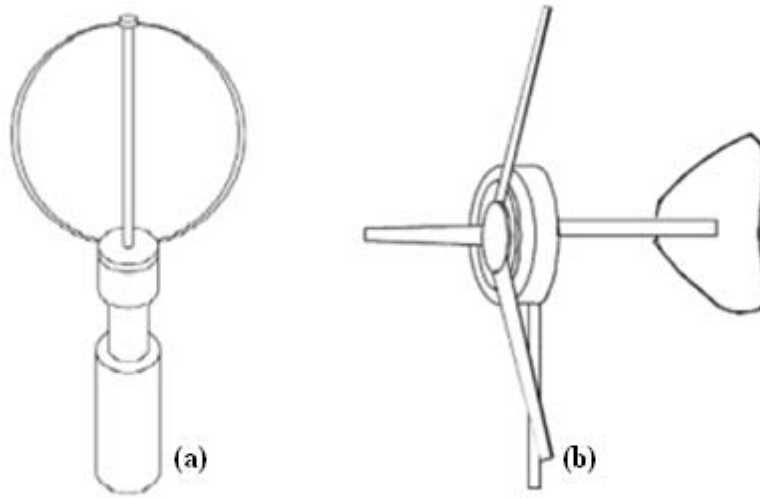
Rüzgarın direnç kuvvetinden yararlanan türbinlerde rüzgara karşı bir yüzey tutulur ve rüzgar basıncından dolayı dönme hareketi oluşur. Rüzgarın direnç kuvvetinden yararlanan türbinlere kepçe tipi anemometreler ve Savonius tipi rüzgar türbinleri örnek olarak gösterilebilirler [1]. Şekil 2.2 (a) ve (b)'de sırasıyla anemometrenin ve Savonius tipi rüzgar türbininin şematik şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : (a) Anemometrenin şematik şekli. (b) Savonius tipi rüzgar türbininin şematik şekli [16,17].

Rüzgarın kaldırma kuvvetinden yararlanan türbinler

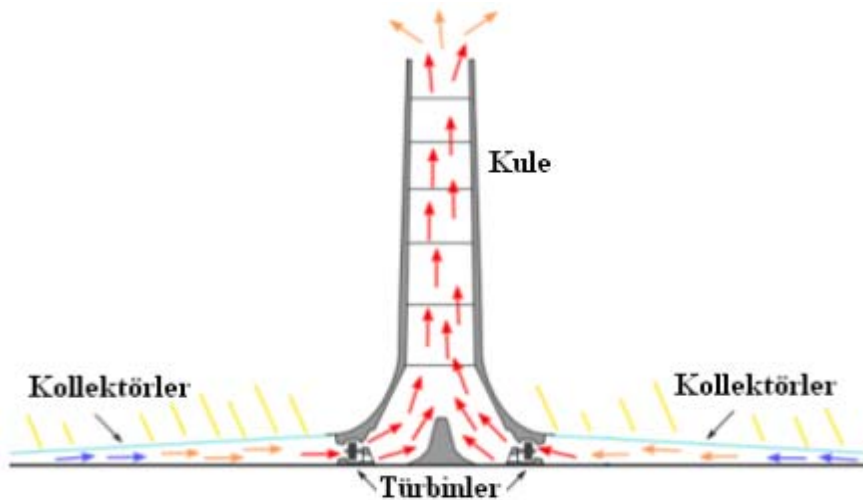
Rüzgarın kaldırma kuvvetinden yararlanan türbinlerde rüzgar, yüzeye belli bir açıyla çarpar ve yüzeye etki eden bu rüzgar hızının doğrultusuna dik olarak oluşan kaldırma kuvveti dönme hareketine dönüşür. Rüzgarın kaldırma kuvvetinden yararlanan türbinlere düşey eksenli Darrieus tipi rüzgar türbinleri ve yatay eksenli rüzgar türbinleri örnek olarak gösterilebilirler [1]. Şekil 2.3 (a) ve (b)'de sırasıyla düşey eksenli Darrieus tipi rüzgar türbininin ve yatay eksenli rüzgar türbininin şematik şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 2.3 : (a) Düşey eksenli Darrieus tipi rüzgar türbininin şematik şekli. (b) Yatay eksenli rüzgar türbininin şematik şekli [18,19].

Yükselen hava akımlı rüzgar türbinleri

Yükselen hava akımlı rüzgar türbinleri, havanın hareketindeki kinetik enerjiden yararlanan türbinlerdir [1]. Bu türbinler, güneş ve rüzgar enerjilerinin birlikte kullanıldıkları bir enerji dönüşüm sistemi içerisinde yer alırlar. Bu enerji dönüşüm sistemi ise çoğu zaman güneş bacası olarak adlandırılır. Yükselen hava akımlı rüzgar türbinleri, güneş ışınları enerjisi tarafından ısıtılan ve dolayısı ile yoğunluğu azalan havanın yükselmesi ve yükselen bu havadaki kinetik enerjinin de rüzgar türbinini tahrik etmesi prensibine göre çalışırlar [1]. Bu türbinler, güneş bacasının alt kısmında olabilecekleri gibi güneş bacasının üst kısmında da olabilirler. Şekil 2.4’de yükselen hava akımlı rüzgar türbinlerini içeren bir güneş bacası sisteminin şematik şekli gösterilmiştir.



Şekil 2.4 : Yükselen hava akımlı rüzgar türbinlerini içeren bir güneş bacası sisteminin şematik şekli [20].

2.3.2.2 Kanat ekseninin konumuna göre sınıflandırma

Rüzgar türbinleri, kanat ekseninin konumuna göre iki ayrı kategoride sınıflandırılırlar [1]:

- Yatay eksenli rüzgar türbinleri
- Düşey eksenli rüzgar türbinleri

Yatay eksenli rüzgar türbinleri

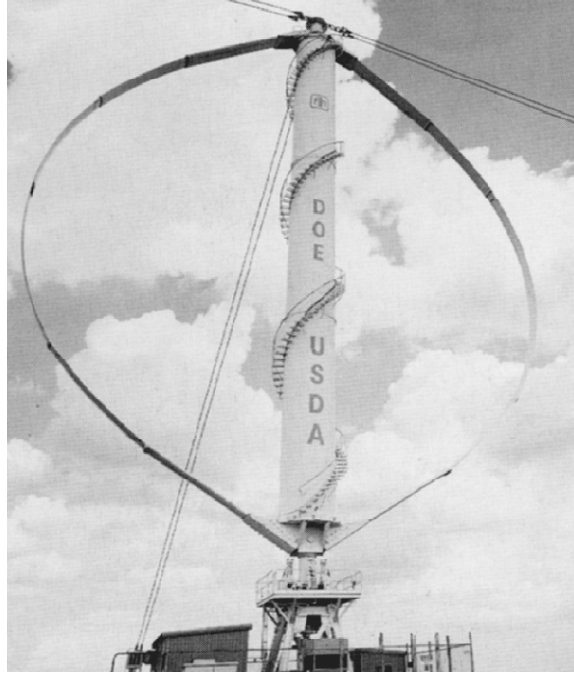
Yatay eksenli rüzgar türbinlerinin dönme eksenleri rüzgar yönüne paralel, kanatları rüzgar yönüne diktir. Yatay eksenli rüzgar türbinlerinin çoğu rüzgarı ön kısımdan alacak şekilde tasarlanır, rüzgarı arka kısımdan alan yatay eksenli rüzgar türbinleri ise pek fazla kullanılmamaktadır [1]. Şekil 2.5’de yatay eksenli bir rüzgar türbininin şekli gösterilmiştir.



Şekil 2.5 : Yatay eksenli bir rüzgar türbininin şekli [21].

Düşey eksenli rüzgar türbinleri

Düşey eksenli rüzgar türbinlerinin dönme eksenleri düşey ve rüzgar yönüne diktir. Bu türbinlerde kanatlar bir düşey şafta bağlanmıştır ve kanatların içbükey ve dışbükey yüzeyleri arasındaki çekme kuvveti farkı ile dönme hareketi oluşur. Bu türbinler Georges Jean Marie Darrieus isimli bir Fransız mühendis tarafından icat edildiğinden dolayı Darrieus tipi rüzgar türbini olarak da adlandırılırlar [1]. Şekil 2.6’da düşey eksenli bir rüzgar türbininin şekli gösterilmiştir.



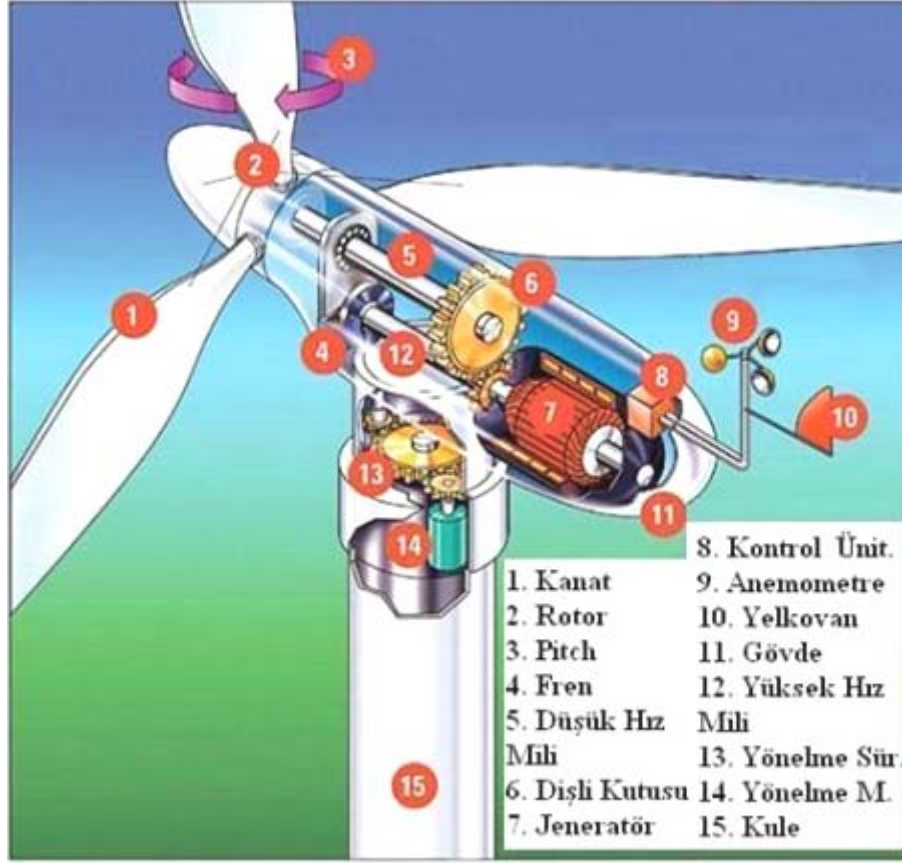
Şekil 2.6 : Düşey eksenli bir rüzgar türbininin şekli [22].

2.3.3 Modern yatay eksenli rüzgar türbinlerini oluşturan elemanlar

Modern yatay eksenli rüzgar türbinlerini oluşturan ana elemanlar aşağıdaki gibi sıralanabilirler [1,23]:

- Kule
- Gövde
- Türbin Kanadı
- Dişli Kutusu
- Jeneratör
- Düşük ve Yüksek Hız Milleri
- Hız Kontrolörü
- Yönelme Sürücüsü ve Yönelme Motoru
- Elektronik Kontrol Ünitesi
- Hidrolik Sistem
- Soğutma Ünitesi
- Anemometre ve Yelkovan
- Eğim Mekanizması

Şekil 2.7’de modern bir yatay eksenli rüzgar türbininin ana elemanları ile birlikteki şematik şekli gösterilmiştir.



Şekil 2.7 : Modern bir yatay eksenli rüzgar türbininin ana elemanları ile birlikte şematik şekli [24].

2.3.3.1 Kule

Kulenin yapı malzemesi genellikle çelik veya betondur. Modern yatay eksenli rüzgar türbinleri, enine kesiti halka biçiminde olan kulelere sahiptirler. Kulenin yüksekliği, yerden yükseldikçe artan rüzgar hızının sağlayacağı getiriler ile kulenin boyuna bağlı olarak artış gösteren maliyetler arasında sağlanacak optimum bir çözümle belirlenir [1].

2.3.3.2 Gövde

Gövde, kulenin en üstünde bulunan ve içerisinde dişli kutusunu, jeneratörü, düşük ve yüksek hız millerini, hız kontrolörünü, elektronik kontrol ünitesini, hidrolik sistemi ve soğutma ünitesini barındıran kısımdır.

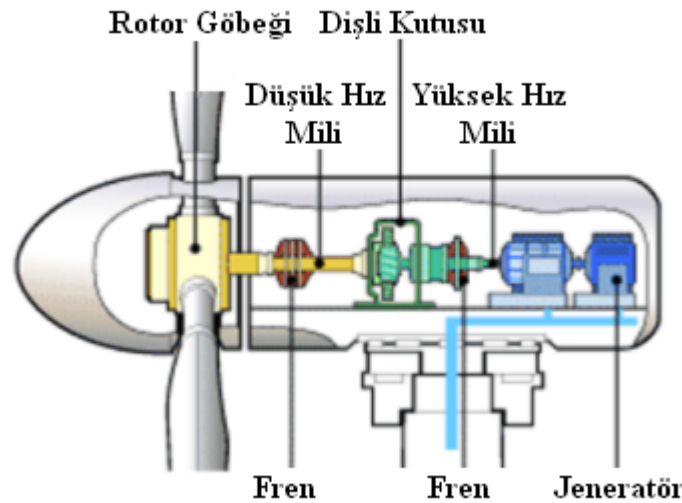
2.3.3.3 Türbin kanadı

Rüzgar türbininin kanatları rüzgarı yakalar ve rüzgarın gücünü rotor göbeğine aktarırlar [23]. Rüzgar türbinlerinin kanatları, alüminyumdan, titanyumdan, çelikten, elyaf (cam elyafı, karbon elyafı, aramid elyafı) ile güçlendirilmiş plastikten veya

ağaçtan imal edilebilmektedirler. Modern rüzgar türbinlerinin kanatlarının hemen hemen tamamı cam elyafı ile güçlendirilmiş polyester veya epoksi plastikten üretilmektedir [1].

2.3.3.4 Dişli kutusu

Dişli kutusu bir rüzgar türbininin en ağır parçasıdır [1]. Rüzgar türbininin kesitine rotor göbeği sol tarafa gelecek şekilde bakıldığında dişli kutusunun sol tarafında düşük hız mili sağ tarafında yüksek hız mili bulunur. Bu dişli kutusu, sağdaki yüksek hız milinin soldaki düşük hız milinden daha hızlı dönmesini sağlar. Rüzgar türbininin kanadının milindeki enerji jeneratöre dişli kutusunun içerisinde var olan dişli sistemi aracılığı ile aktarılır [1]. Şekil 2.8’de bir rüzgar türbini kesitinin şematik şekli gösterilmiştir.



Şekil 2.8 : Bir rüzgar türbini kesitinin şematik şekli [25].

2.3.3.5 Jeneratör

Rüzgar türbininin jeneratörü mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirir. Rüzgar türbini jeneratörleri diğer tip jeneratörlere göre biraz daha farklıdır çünkü rüzgar türbini jeneratörü salınlı bir mekanik güç üreten rüzgar türbini rotoru ile birlikte çalışır. Rüzgar türbinlerinde doğru akım jeneratörü, senkron jeneratör ve asenkron jeneratör olmak üzere üç çeşit jeneratör tipi kullanılmaktadır [1].

2.3.3.6 Düşük ve yüksek hız milleri

Düşük hız mili rotor tarafından tahrik edilen mildir, yüksek hız mili ise jeneratörü süren mildir [1].

Düşük hız mili

Rüzgar türbininin düşük hız mili rotor göbeğini dişli kutusuna bağlar. Ayrıca, bu düşük hız mili, aerodinamik frenlerin çalışması için hidrolik sisteme ait borular içerir [23].

Mekanik frenli yüksek hız mili

Rüzgar türbininin mekanik frenli yüksek hız mili dişli kutusunu jeneratöre bağlar ve jeneratörün çalışmasını sağlar. Yüksek hız mili bir acil durum mekanik frenine sahiptir ve bu mekanik fren aerodinamik frenlerin çalışmaması durumunda veya türbin bakımı sırasında kullanılır [23].

2.3.3.7 Hız kontrolörü

Hız kontrolörü, rüzgar türbininin elektrik enerjisi üretimine başlayacağı rüzgar hızı değerini (*cut-in speed*) ve rüzgar türbininin devre dışı kalacağı rüzgar hızı değerini (*cut-out speed*) kontrol eder [1].

2.3.3.8 Yönelme sürücüsü ve yönelme motoru

Yönelme sürücüsü rüzgarın esme yönüne göre rotorun hareketini belirleyen kısımdır. Yönelme motoru ise yönelme sürücüsünden aldığı komutlar doğrultusunda rotorun hareketini sağlar [1].

2.3.3.9 Elektronik kontrol ünitesi

Elektronik kontrol ünitesi, eğim mekanizmasını kontrol eden ve rüzgar türbininin durumunu sürekli takip eden bir kısımdır. Bu elektronik kontrol ünitesi bir arıza halinde rüzgar türbinini otomatik olarak durdurur ve telefon hattı vasıtası ile operatörün bilgisayarına uyarı gönderir [23].

2.3.3.10 Hidrolik sistem

Hidrolik sistem, rüzgar türbininin aerodinamik frenlerini içeren kısımdır [23].

2.3.3.11 Soğutma ünitesi

Soğutma ünitesi, jeneratörü ve dişli kutusundaki yağı soğutmak için kullanılan bir kısımdır [23].

2.3.3.12 Anemometre ve yelkovan

Anemometre ve yelkovan, sırasıyla rüzgar hızını ve rüzgar yönünü belirlemek için kullanılan kısımlardır.

2.3.3.13 Eğim mekanizması

Eğim mekanizması, rüzgarın yönünün değiştiğini yelkovan yardımıyla anlayan bir elektronik kontrol ünitesi tarafından çalıştırılan ve içerdği elektrik motorları vasıtasıyla kanatlar ile birlikte rüzgar türbininin gövde kısmını rüzgara karşı döndüren bir mekanizmadır [23].

3. GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş enerjisi, güneş ışığından enerji elde edilmesine dayanan bir teknolojidir. Dünyamızın en büyük enerji kaynağı olan güneş enerjisi kendisini elektrik enerjisi üretiminde de göstermiştir. Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimini gerçekleştiren sistemlere ise fotovoltaik sistemler adı verilir.

3.1 Güneş Enerjisinin Kısa Tarihçesi [1]

Güneş ışığı dünyanın kuruluşundan itibaren yeryüzüne gelmesine rağmen bilinçli olarak güneş ışığından faydalanılmaya başlanması çok da eski değildir. Fakat çeşitli kaynaklarda M.Ö. 400 yıllarında ilk defa Sokrates'in evlerin güneye bakan kısmına fazla pencere koyarak güneş ışığının daha çok içeri girmesini sağladığı ve M.Ö. 250 yıllarında ise Archimedes'in iç bükey aynalarla güneş ışığını odaklayarak Siraküza'yı kuşatan gemileri yaktığı iddia edilmektedir.

Güneş enerjisi sistemlerinin geçmişi ise 1839 yılına uzanmaktadır. XIX. yüzyılın sonlarında Fransız bir fizikçi olan Alexandre Edmond Becquerel tarafından fotovoltaik etki keşfedilmesine rağmen bu yüzyılın teknoloji düzeyi fotovoltaik sistemlerin keşfedilmesi için yetersizdi. Yarı iletken malzemeler bu keşiften yüz yıl sonra kullanılmaya başlanmış olduğundan ancak XX. yüzyılın ortalarında fotovoltaik sistemlere ulaşmak için ilk adım atılabilmektedir. Amerikalı bir fizikçi olan William Bradford Shockley tarafından p-n jonksiyon modelinin geliştirilmesinin ardından Bell Laboratuvarları'nda 1954 yılında ilk fotovoltaik hücre geliştirilmiştir.

1970'lerde baş gösteren yakıt sıkıntısı ve dünya üzerinde uygulanan çeşitli ambargolar yenilenebilir enerji kaynaklarını ön plana çıkarmıştır. Bu gelişmeler ile birlikte zaman içerisinde güneş enerjisi sistemleri de enerji piyasasında kendisine önemli bir yer edinmeye başlamıştır.

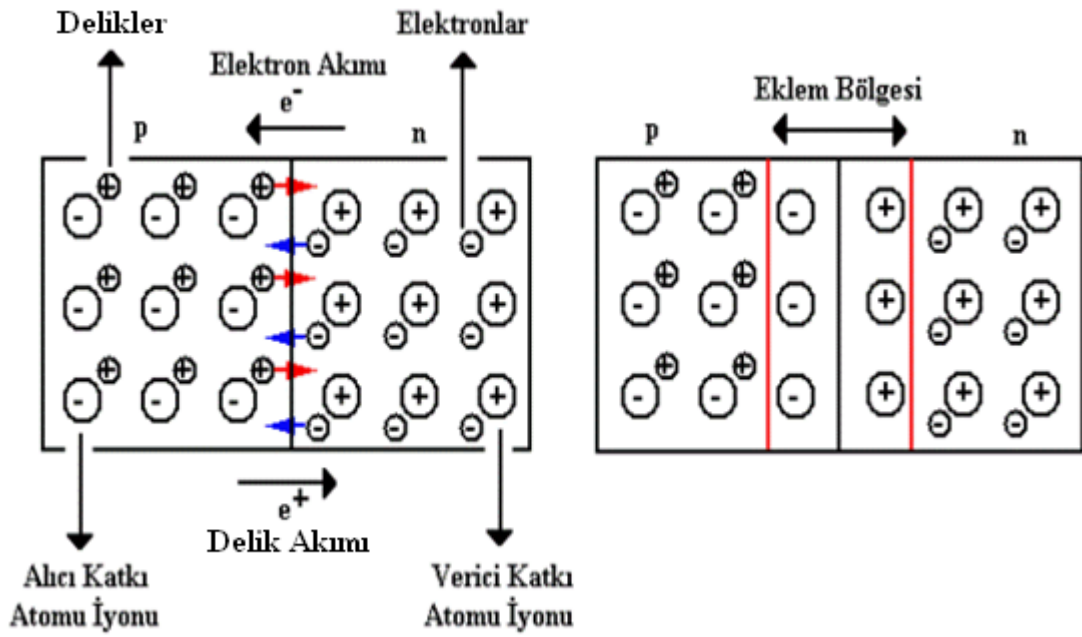
3.2 Güneş Panelinin Yapısı ve Çalışması

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimini sağlayan güneş panelleri yarı iletken malzemeler kullanılarak üretilmektedirler. Yarı iletken eleman, son yörüngelerinde dört adet elektron bulunduran elementlere verilen isimdir. Son yörüngede bulunan bu elektronlara ise valans elektronları adı verilir. Yarı iletken elementler periyodik cetvelin IV. grubunda bulunurlar. Bununla birlikte periyodik cetvelin III. ve V. grup elementlerinin ve II. ve VI. grup elementlerinin eşit oranlarda birleşerek oluşturdukları bileşikler yarı iletken malzeme özelliği gösterirler. Silikon, fotovoltaiik sistemlerde en çok kullanılan yarı iletken malzemedir ancak doğada oksijenden sonra en sık rastlanan element olmasına rağmen saf halde bulunmamaktadır [1].

Yarı iletken malzemelerin güneş pili olarak kullanılabilmesi için n yada p tipi katkıları gereklidir. Bir yarı iletken malzemenin n tipi yarı iletken malzemeye dönüşmesi için V. grup elementlerinden biri ile etkileşime girmesi gerekir. V. grup elementinin son yörüngesinde yarı iletken malzemeye göre bir fazla elektron bulunduğundan bu V. grup elementi fazla elektronu yarı iletken malzemeye verir. Bu nedenle V. grup elementlerine verici yada n tipi katkı maddesi adı verilir. Böylelikle oluşmuş olan n tipi yarı iletken malzeme negatif yüklü bir karakteristiğe kavuşmuş olur. P tipi yarı iletken malzeme elde etmek için ise yarı iletken malzemenin III. grup elementlerinden biri ile etkileşime girmesi gerekir. Bu III. grup elementlerinin son yörüngelerinde üç adet elektron bulunduğu için yeni oluşan p tipi yarı iletken malzemede bir elektron eksikliği oluşur. Bu elektron eksikliğine delik yada boşluk adı verilir ve pozitif yük taşıdığı varsayılır. III. grup elementlerine ise alıcı yada p tipi katkı maddesi adı verilir [1].

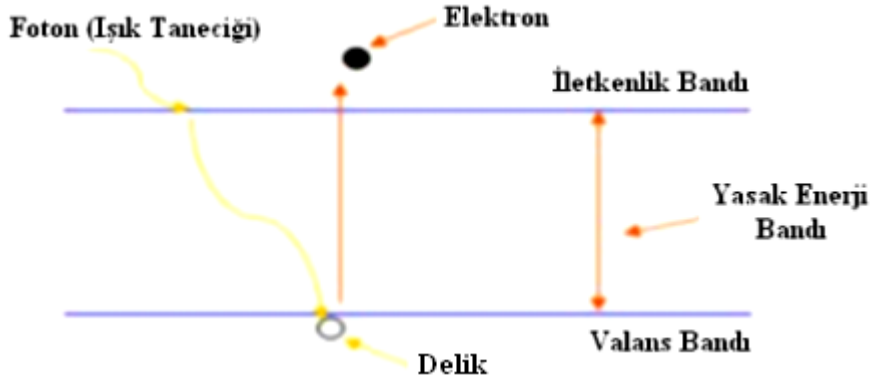
P ve n tipi katkılandırılmış yarı iletken malzemeler bir araya getirildiklerinde yarı iletken eklemler oluşturulur. N tipi yarı iletken elektronlar, p tipi yarı iletken ise delikler çoğunluğu oluştururlar. P ve n tipi yarı iletken malzemeler bir araya gelmeden önce her iki madde de elektriksel bakımdan nötrdür yani p tipi yarı iletken malzemede negatif enerji seviyeleri ile delik sayıları eşit, n tipi yarı iletken malzemede pozitif enerji seviyeleri ile elektron sayıları eşittir. P ve n tipi yarı iletken

malzemeler bir araya getirildiği zaman n tipi yarı iletken malzemedeki çoğunluk taşıyıcısı olan elektronlar p tipi yarı iletken malzemesine doğru akım oluştururlar. Bu durum her iki tarafta da yük dengesi oluşana kadar devam eder. Sonuçta oluşacak olan p - n tipi maddenin ara yüzeyinde yani eklem bölgesinde p bölgesi tarafında negatif, n bölgesi tarafında ise pozitif yükler birikir. Bu eklem bölgesine geçiş bölgesi yada yükten arındırılmış bölge adı da verilebilir [1]. Şekil 3.1’de p - n eklem bölgesinin oluşumunun şematik şekli gösterilmiştir.



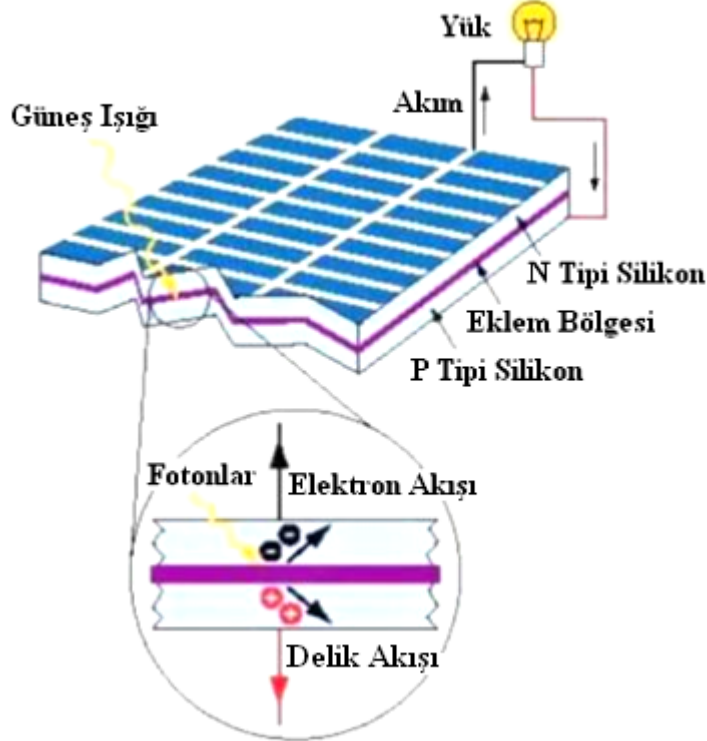
Şekil 3.1 : P-N eklem bölgesinin oluşumunun şematik şekli [26].

Yarı iletkenler, bir yasak enerji bandı aralığı tarafından ayrılan iki enerji bandından oluşurlar. Bu iki enerji bandı, valans bandı ve iletkenlik bandıdır. Bu yasak enerji bandı aralığına eşit veya daha büyük enerjili bir foton yarı iletken tarafından soğurulduğu zaman bu foton, enerjisini valans bandındaki bir elektrona vererek elektronun iletkenlik bandına çıkmasını sağlar ve böylelikle bir elektron-delik çifti oluşmuş olur [1]. Şekil 3.2’de bu durumun şematik şekli gösterilmiştir.



Şekil 3.2 : Valans bandındaki bir elektronun iletkenlik bandına çıkmasının şematik şekli [27].

Bu durum, güneş pilinin p - n eklem bölgesinde meydana gelir ise elektron-delik çiftleri buradaki elektrik alanı tarafından birbirlerinden ayrılırlar. Burada güneş pili, elektronları n bölgesine delikleri de p bölgesine iten bir pompa gibi çalışır. Birbirlerinden ayrılan elektron-delik çiftleri güneş pilinin uçlarında yararlı bir güç çıkışı oluştururlar. Bu süreç, bir fotonun güneş pili yüzeyine yeniden çarpmasıyla aynı şekilde devam eder [1]. Şekil 3.3’de bu anlatılan durumun belirtildiği bir güneş paneli kesitinin şematik şekli gösterilmiştir.



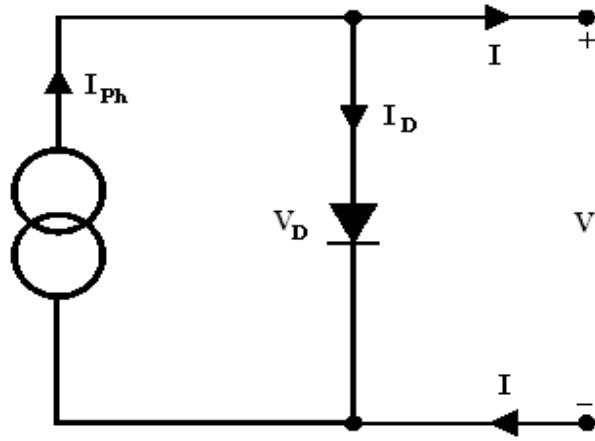
Şekil 3.3 : Güneş paneli kesitinin şematik şekli [28].

3.3 Güneş Panelinin Elektriksel Eşdeğer Devre Modelleri [1]

Güneş paneli, fiziksel konumu göz ardı edilerek elektriksel eşdeğer devreler ile modellenebilmektedir. Güneş panelinin elektriksel eşdeğer devre modelleri aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

3.3.1 Basitleştirilmiş elektriksel eşdeğer devre modeli

Çeşitli ihmallar yapıldığında güneş panelinin en sade modeli basitleştirilmiş elektriksel eşdeğer devre modeli ile ifade edilmektedir. Bir güneş panelinin basitleştirilmiş elektriksel eşdeğer devre modeli bir diyot ve bir akım kaynağından oluşmakta olup Şekil 3.4’de gösterilmiştir.



Şekil 3.4 : Güneş panelinin basitleştirilmiş elektriksel eşdeğer devre modeli.

Güneş panelinin basitleştirilmiş elektriksel eşdeğer devre modeli üzerindeki akım kaynağı (I_{ph}) foton akımını ifade etmektedir ve güneş ışıınımı ile doğru orantılıdır. Güneş panelini oluşturan yarı iletken eleman ($p-n$ tabakası) ise en basit hali ile bir diyot yardımıyla modellenmiştir.

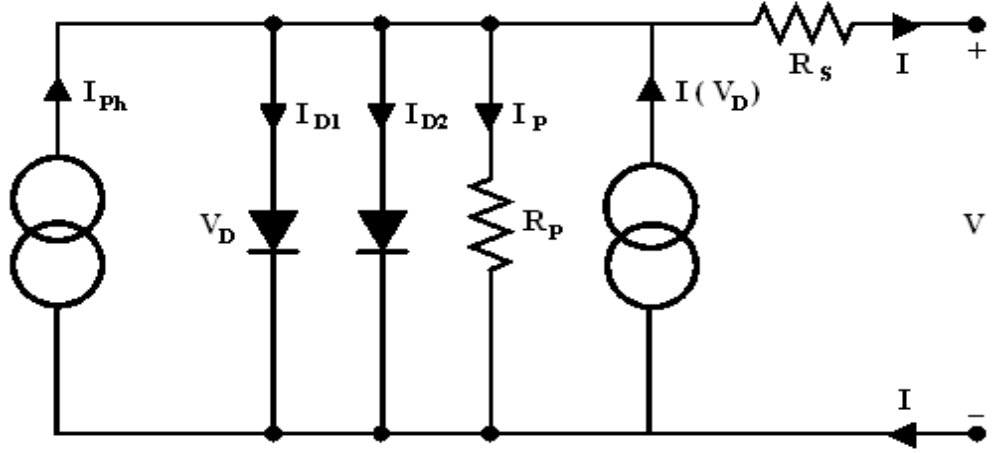
Güneş panelinin bu basitleştirilmiş elektriksel eşdeğer devre modeline devre çözümlemesi için Kirchhoff akım yasası uygulandığında (3.1) eşitliği elde edilir.

$$I = I_{ph} - I_D \quad (3.1)$$

Bu (3.1) eşitliğinde I güneş panelinin çıkış akımını, I_{ph} foton akımını ve I_D ise diyot akımını belirtmektedir. Buradaki I_D diyot akımı eşitlik (3.2)’de gösterildiği gibi ifade edilebilir.

$$I_D = I_S \left(e^{\frac{V}{m \cdot V_T}} \right) - I \quad (3.2)$$

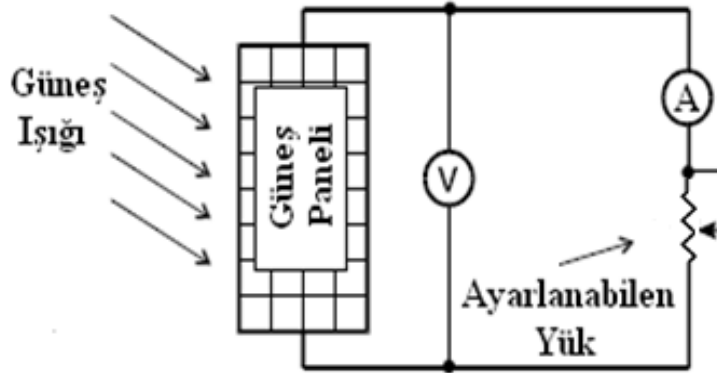
bu iki diyotlu elektriksel eşdeğer devre modelinin üzerinde bulunan ikinci akım kaynağı diyotun negatif gerilim altındaki arızasını temsil etmektedir. Bu iki diyotlu elektriksel eşdeğer devre modeli ise Şekil 3.6’da gösterilmiştir.



Şekil 3.6 : Güneş panelinin iki diyotlu elektriksel eşdeğer devre modeli.

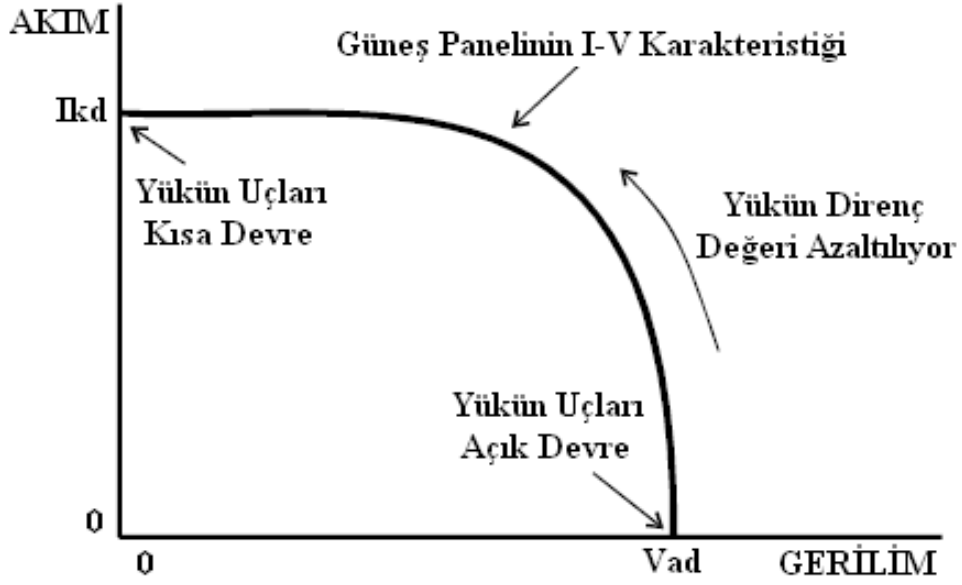
3.4 Güneş Panelinin Karakteristik Özellikleri [29]

Bir güneş panelinin elektriksel özelliklerini belirleyebilmek için bu güneş panelinin akımının ve geriliminin yükten nasıl etkilendiğini gözlemlemek gereklidir. Bu amaçla Şekil 3.7’de gösterilen bağlantı şekli kullanılabilir.



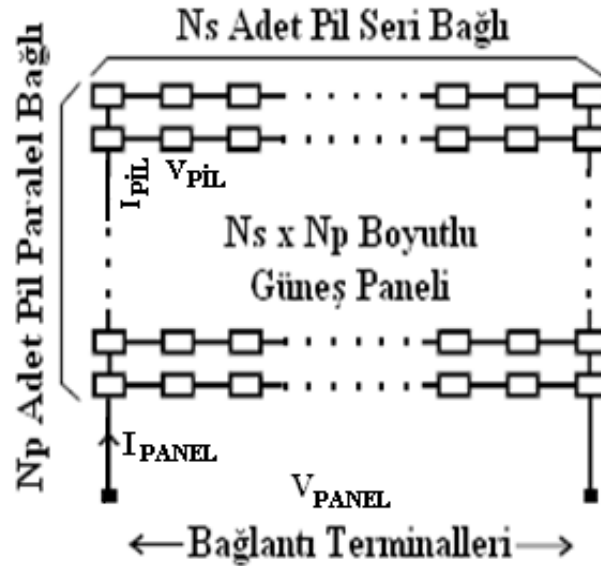
Şekil 3.7 : Güneş panelinin doğrudan doğruya ayarlanabilen bir yüke bağlanması.

Bu şekilde, güneş paneli seri bağlı bir ampermetre üzerinden ayarlanabilen bir yüke doğrudan bağlanmıştır. Günün belirli bir saatinde, güneş ışığı ve ortam sıcaklığındaki değişimlerin ihmal edilebilecek kadar az olduğu kabul edilerek yük uçları açık devre konumundan kısa devre konumuna kadar ayarlanırken ampermetre ve voltmetredeki değerler her yük kademesi için kaydedilip bir grafik olarak çizilir ise Şekil 3.8’de gösterilen akım-gerilim (I - V) karakteristiği elde edilebilir.



Şekil 3.8 : Güneş panelinin akım-gerilim (I-V) karakteristiğinin yüklerle değişimi.

Güneş paneli oluşturulurken gerekli çıkış gerilimini elde edebilmek için yeterli sayıda (örneğin N_s adet) güneş pili seri bağlanırken gerekli akımı elde edebilmek için de bu güneş pillerinin seri bağlanmasıyla oluşan yeterli sayıda (örneğin N_p adet) kol paralel bağlanır. Bu durum Şekil 3.9’da gösterilmiştir.



Şekil 3.9 : Güneş pillerinin seri-paralel bağlanması ile oluşturulan güneş paneli.

Eğer güneş panelinin akımı I_{PANEL} gerilimi de V_{PANEL} ile gösterilir ise güneş panelini oluşturan her bir güneş pilinin akımı ve gerilimi sırasıyla eşitlik (3.5) ve eşitlik (3.6) ile belirlenebilir.

$$I_{PİL} = \frac{I_{PANEL}}{N_p} \quad (3.5)$$

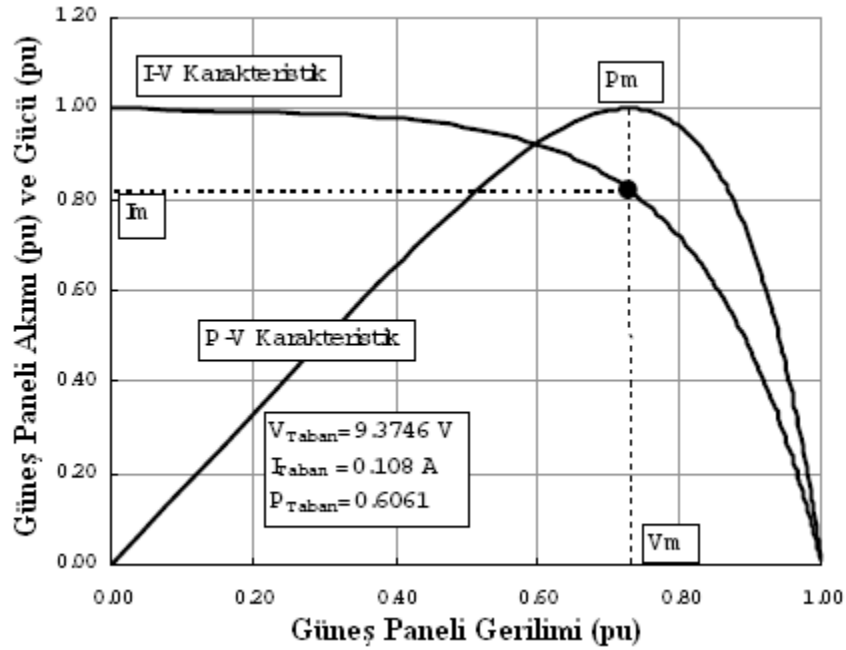
$$V_{PIL} = \frac{V_{PANEL}}{N_S} \quad (3.6)$$

Güneş panelinin çıkış gücü ve bir tek güneş pilinin gücü sırasıyla eşitlik (3.7) ve eşitlik (3.8) ile belirlenebilir.

$$P_{PANEL} = V_{PANEL} \times I_{PANEL} \quad (3.7)$$

$$P_{PIL} = V_{PIL} \times I_{PIL} = \frac{V_{PANEL}}{N_S} \times \frac{I_{PANEL}}{N_P} = \frac{P_{PANEL}}{N_S \times N_P} \quad (3.8)$$

Gerek yukarıda verilen denklemlerden gerekse Şekil 3.8’den anlaşılacağı üzere bir güneş pilinin yada panelinin akımından ve geriliminden herhangi biri yada her ikisi birden sıfır iken çıkış gücü de sıfırdır. Dolayısıyla güneş panelinin çıkış gücünün değişimi Şekil 3.10’da gösterilmiştir.

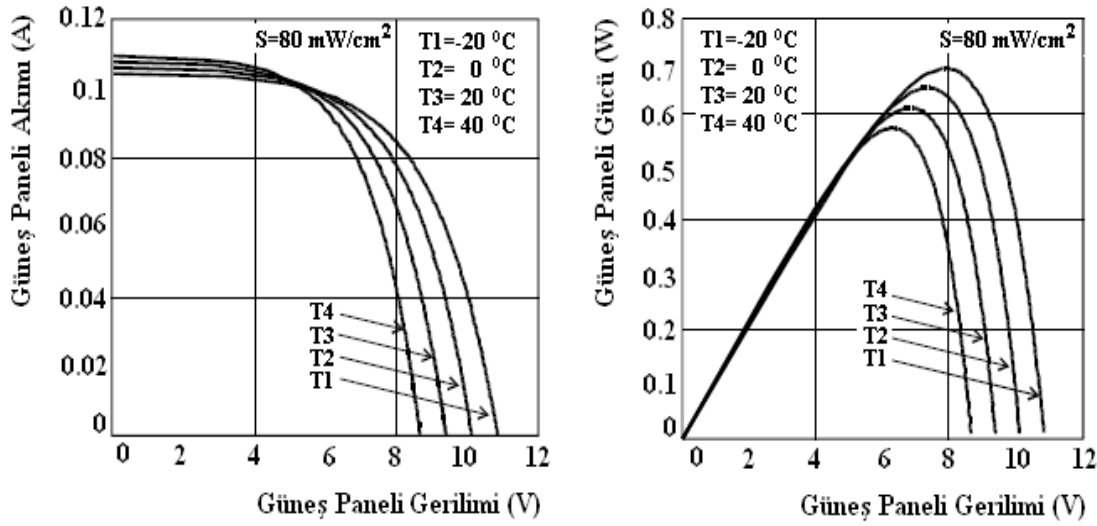


Şekil 3.10 : Güneş panelinin I-V ve P-V karakteristikleri.

Şekil 3.10’dan görüleceği üzere çıkış gücü, akımın ve gerilimin belirli bir değerinde maksimum olmaktadır. Bir güneş panelinin maksimum çıkış gücü, güneş panelinin üzerine gelen güneş ışığı seviyesine ve çalışma sıcaklığına bağlı olarak değişir. Dolayısıyla kurulan ve işletilen bir güneş panelinden daha verimli bir şekilde faydalanmak için bu panelin çıkış gücü mümkün olan maksimum değerinde tutulması gereklidir. Güneş panelinin Şekil 3.10’da gösterilen I-V ve P-V karakteristikleri 20 °C’lik çalışma sıcaklığı ve 80 mW/cm²’lik güneş ışığı şiddeti varken elde edilen karakteristiklerdir. Çalışma sıcaklığı yada güneş ışığı şiddeti

değiştikçe bu karakteristiklerin biçimleri aynı kalmak üzere akım, gerilim ve güç değerleri de değişir.

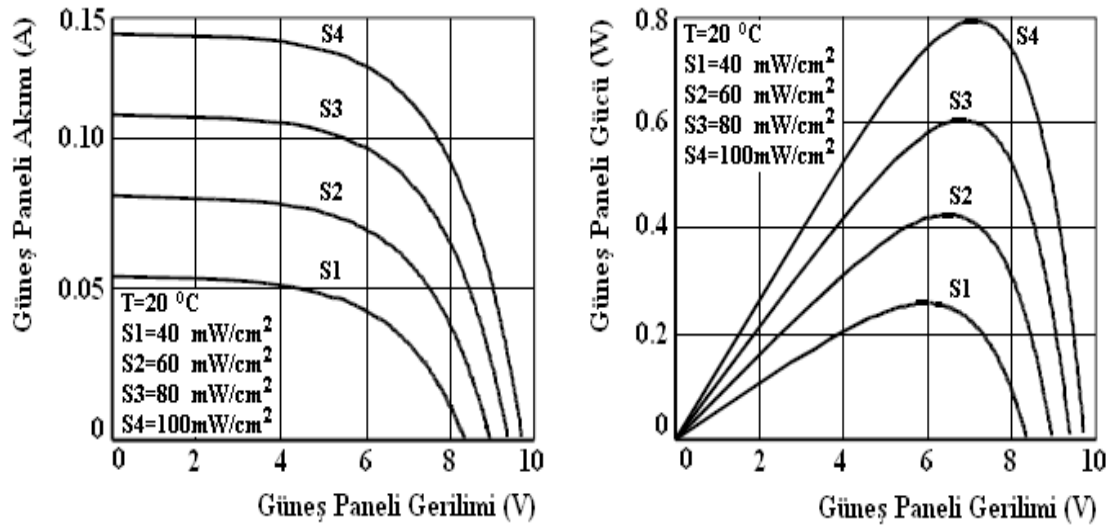
Çalışma sıcaklığındaki değişimlerin $I-V$ ve $P-V$ karakteristiklerini nasıl etkiledikleri Şekil 3.11’de gösterilmiştir. Şekil 3.11’den görüleceği üzere çalışma sıcaklığının artması güneş panelinin çıkış gerilimini olumsuz yönde etkilemektedir. Çalışma sıcaklığının değişiminden akım da etkilenmektedir ancak çalışma sıcaklığındaki değişimin asıl etkisi güneş panelinin çıkış gerilimi üzerinde görülmektedir. Ayrıca yine Şekil 3.11’den görüleceği üzere güneş panelinin çıkış gerilimindeki azalma doğrudan doğruya çıkış gücüne yansıdığından dolayı çalışma sıcaklığının artması çıkış gücünü de olumsuz yönde etkilemektedir.



Şekil 3.11 : Güneş panelinin akımının, geriliminin ve gücünün çalışma sıcaklığı ile değişimi.

Güneş ışığı şiddetindeki değişimlerin $I-V$ ve $P-V$ karakteristiklerini nasıl etkiledikleri ise Şekil 3.12’de gösterilmiştir. Şekil 3.12’den görüleceği üzere güneş ışığı şiddetinin artması güneş panelinin çıkış akımını olumlu yönde etkilemektedir. Güneş ışığı şiddetinin artmasının akımda meydana getirdiği bu artış, çalışma sıcaklığının artmasının akımda meydana getirdiği artışa göre oldukça yüksektir. Güneş ışığı şiddetinin artması hem güneş panelinin çıkış akımında hem de güneş panelinin çıkış geriliminde bir artışa neden olmaktadır. Ancak güneş panelinin çıkış gerilimindeki artış, güneş panelinin çıkış akımındaki artışa göre daha küçüktür. Ayrıca yine Şekil 3.12’den görüleceği üzere güneş ışığı şiddetinin artması güneş panelinin çıkış gücünü de olumlu yönde etkilemektedir. Güneş panelinin çıkış gücündeki bu artış tahmin

edileceği üzere hem güneş panelinin çıkış akımındaki hem de güneş panelinin çıkış gerilimindeki artıştan kaynaklanmaktadır.



Şekil 3.12 : Güneş panelinin akımının, geriliminin ve gücünün güneş ışığı şiddeti ile değişimi.

4. HİBRİD ENERJİ SİSTEMLERİ

Hibrid enerji sistemleri, birden çok enerji sisteminin elektrik enerjisi üretmek amacı ile bir arada kullanıldığı enerji sistemleri olarak tanımlanabilirler. Hibrid kelimesi literatürde melez anlamında kullanılmaktadır [1]. Hibrid enerji sistemlerinde, uzak veya yakın bir tesisin, kırsal veya kentsel bir evin, bir çiftliğin ve hatta bir topluluğun dahi elektrik enerjisi talebini karşılayabilmek için elektrik üretim (fotovoltaik panel, rüzgar türbini, hidro türbin, jeneratör) ve depolama (batarya) elemanlarının bir kaçı bir araya getirilir. Hibrid enerji sistemleri merkezi elektrik şebekesinden bağımsız olabilecekleri gibi şebeke bağlantılı da olabilirler.

Genellikle, hibrid enerji sistemleri, esas amaç olan yükün beslenmesi dışında tek bir yenilenebilir enerji kaynağından oluşmuş bir enerji sisteminde bu yenilenebilir enerji kaynağının herhangi bir anda kesilme ihtimalinin olması, başka bir ifadeyle her zaman kullanılma ihtimalinin olmaması sebebiyle elektrik enerjisi arzındaki güvenilirliğin sağlanması ve/veya geleneksel bir enerji kaynağından oluşmuş bir enerji sisteminde elektrik enerjisinin birim maliyetinin azaltılması amacıyla tasarlanırlar. Yalnızca yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşmuş bir hibrid enerji sistemi genellikle küçük yüklerin beslenmesinde yeterli olabilmektedir fakat büyük yüklerin beslenmesinde yeterli ve sürekli enerjiyi sağlayamayabilir. Bu sebeple büyük yükleri yeterli ve sürekli bir şekilde besleyemeyecek olan bir hibrid enerji sisteminde jeneratör kullanılması veya bu hibrid enerji sisteminin şebeke bağlantılı olması yükün yeterli ve sürekli bir şekilde beslenememesi problemini ortadan kaldıracaktır. Ayrıca, şebeke bağlantılı bir hibrid enerji sisteminde şebekeden elektrik enerjisi satın alınabileceği gibi belirli zamanlarda meydana gelebilecek olan üretim fazlası elektrik enerjisi şebekeye satılabilir. Büyük yüklerin yeterli ve sürekli bir şekilde beslenememesi probleminin aşılmasının bir başka yolu da bu büyük yükleri besleyecek olan hibrid enerji sistemlerinde elektrik enerjisi depolama elemanlarının kullanılmasıdır [1].

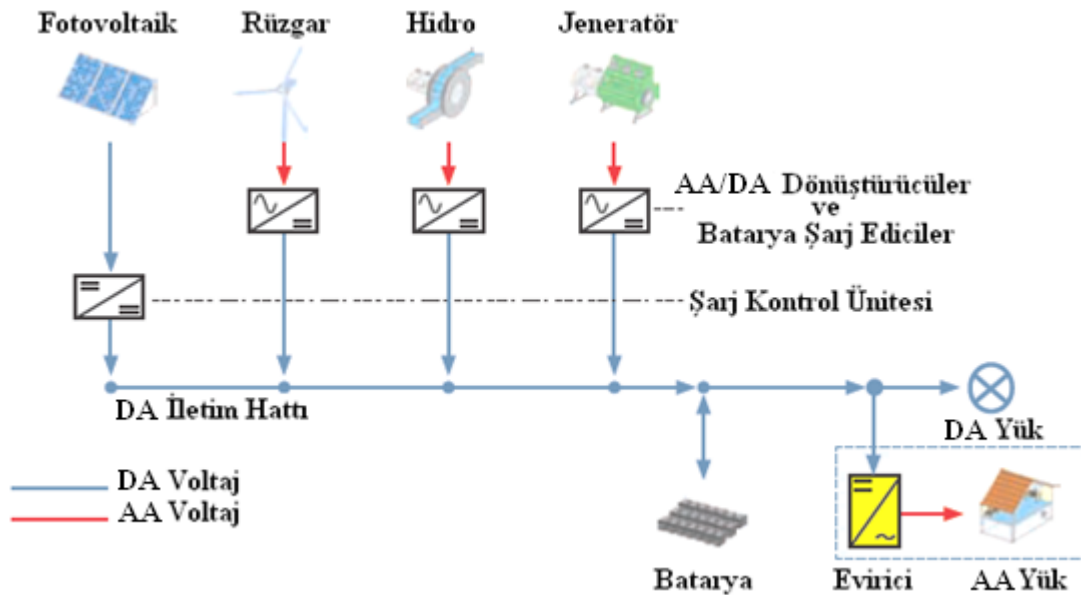
Bir hibrid enerji sisteminin tasarlanmasından önce bu hibrid enerji sisteminin kurulması planlanan bölgedeki yenilenebilir enerji kaynaklarının sahip oldukları

potansiyellerin ve bu hibrid enerji sisteminden talep edilen minimum elektrik enerjisi miktarının yani yükün elektriksel ihtiyacının araştırılması gereklidir. Bu sebeple, enerji planlamacıları, hibrid enerji sisteminin kurulması planlanan bölgedeki güneş enerjisi potansiyelini, rüzgar enerjisi potansiyelini ve diğer enerji kaynaklarının potansiyellerini iyi bir şekilde araştırmalıdır [30].

4.1 Hibrid Enerji Sistemlerinin Temel Konfigürasyonları [31]

4.1.1 Üretilen elektriğin da bir iletim hattında birleştirildiği hibrid enerji sistemi konfigürasyonu

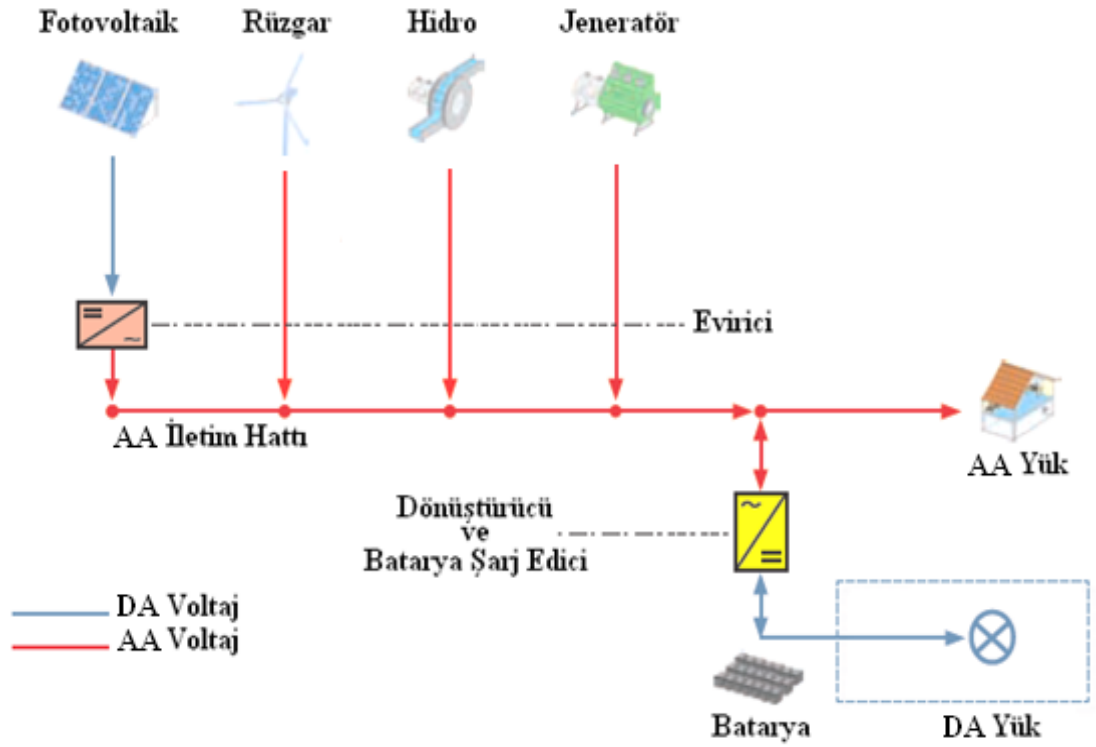
Şekil 4.1’de, bu hibrid enerji sistemi konfigürasyonunun şematik şekli gösterilmiştir. Bu hibrid enerji sistemi konfigürasyonunda bütün elektrik üretim elemanları bir da iletim hattına bağlıdır ve batarya bu da iletim hattı aracılığı ile şarj edilir. Böyle bir hibrid enerji sistemi konfigürasyonunda aa elektrik üretim elemanlarının her biri bir aa/da dönüştürücüye sahiptir. Bir şarj kontrol ünitesi tarafından aşırı şarja ve deşarja karşı kontrol edilen ve korunan batarya ise enerji talebine cevaben da yüke enerji sağlar. Ayrıca, bu konfigürasyonda bir evirici kullanılması ile aa yük de beslenebilir.



Şekil 4.1 : Üretilen elektriğin da bir iletim hattında birleştirildiği hibrid enerji sistemi konfigürasyonu.

4.1.2 Üretilen elektriğin aa bir iletim hattında birleştirildiği hibrid enerji sistemi konfigürasyonu

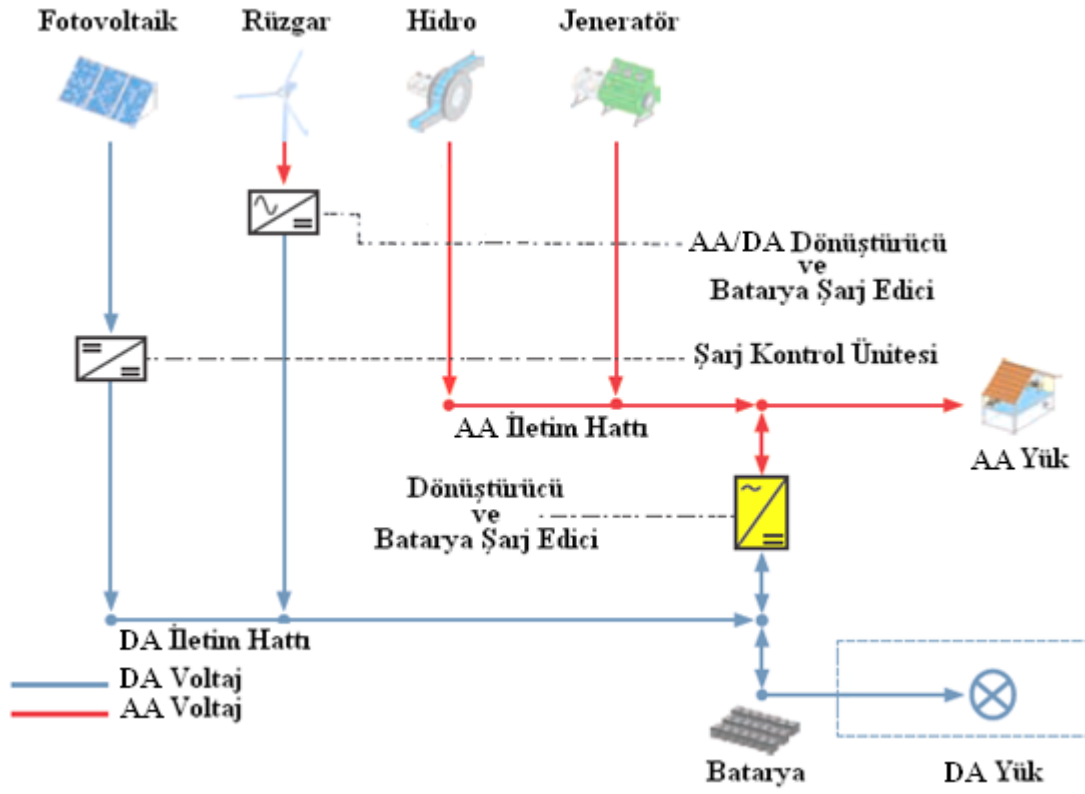
Şekil 4.2’de, bu hibrid enerji sistemi konfigürasyonunun şematik şekli gösterilmiştir. Bu hibrid enerji sistemi konfigürasyonunda bütün elektrik üretim elemanları bir aa iletim hattına bağlıdır. Bu hibrid enerji sistemi konfigürasyonunda dönüştürücü ise aa yük için enerji arzını ve bataryanın şarj edilmesini kontrol etmektedir. Ayrıca, bu konfigürasyonda batarya tarafından bir da yük de beslenebilir.



Şekil 4.2 : Üretilen elektriğin aa bir iletim hattında birleştirildiği hibrid enerji sistemi konfigürasyonu.

4.1.3 Üretilen elektriğin hem da hem de aa bir iletim hattında birleştirildiği hibrid enerji sistemi konfigürasyonu

Şekil 4.3’de, bu hibrid enerji sistemi konfigürasyonunun şematik şekli gösterilmiştir. Bu hibrid enerji sistemi konfigürasyonunda da ve aa elektrik üretim elemanları, aa yük için enerji arzını kontrol eden bir dönüştürücünün her iki tarafında bağlıdır. Ayrıca, bu hibrid enerji sistemi konfigürasyonunda batarya tarafından bir da yük de beslenebilir.



Şekil 4.3 : Üretilen elektriğin hem da hem de aa bir iletim hattında birleştirildiği hibrid enerji sistemi konfigürasyonu.

5. HOMER İLE MİKRO ENERJİ SİSTEMİ MODELLENMESİ [32]

5.1 Giriş

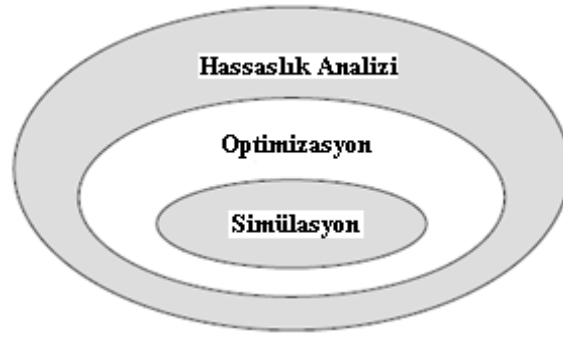
HOMER (*Hybrid Optimization Model for Electric Renewables*), mikro enerji optimizasyon modeli, geniş bir uygulama sahasında enerji üretim teknolojilerinin karşılaştırılmasını kolaylaştırmak ve mikro enerji sistemlerinin tasarımına yardımcı olmak için Birleşik Devletler Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (*U.S. National Renewable Energy Laboratory*) tarafından geliştirilmiş bir bilgisayar modelidir. HOMER, bir enerji sisteminin fiziksel davranışını ve bu enerji sisteminin kurulum maliyeti ile yaşam süresi boyunca ki işletim maliyetinin toplamından oluşan yaşam döngüsü maliyetini modeller. HOMER, tasarımcının teknik ve ekonomik değerler çerçevesinde çok farklı tasarım seçeneklerini karşılaştırmasına olanak sağlar. Ayrıca, HOMER, enerji sistemine ait olan girişlerdeki değişikliklerin ve belirsizliklerin etkilerinin anlaşılmasına ve ölçülmesine de olanak sağlar.

Mikro enerji sistemi yakın bir yükü beslemek için elektrik ve bazen de ısı üreten bir sistemdir. Böyle bir sistem elektrik üretim ve depolama sistemlerinin herhangi bir kombinasyonunu kullanabilir ve yine böyle bir sistem şebeke bağlantılı veya herhangi bir iletim şebekesinden ayrı yani bağımsız olabilir. Uzak bir yükü besleyen güneş-batarya sistemi, şebekeden izole edilmiş bir köyü besleyen rüzgar-dizel sistemi ve bir fabrikaya elektrik ve ısı sağlayan şebeke bağlantılı doğal gaz mikrotürbin sistemi gibi sistemler mikro enerji sistemine örnek olarak verilebilirler. Yüksek gerilim iletim sistemine elektrik sağlayan enerji santralleri mikro enerji sistemleri olarak nitelendirilemezler çünkü bunlar belirli bir yüke tahsis edilmemişlerdir. HOMER, elektrik veya termik yükleri besleyen, fotovoltaik modüllerin, rüzgar türbinlerinin, küçük güçlü hidroelektrik santralin, biyokütle santralin, pistonlu motor jeneratörlerin, mikrotürbinlerin, yakıt hücrelerinin, bataryaların ve hidrojen tankının herhangi bir kombinasyonunu içeren ve şebeke bağlantılı olan veya olmayan mikro enerji sistemlerini modelleyebilir. Mikro enerji sistemlerinin tasarımı ve analizi, yük büyüklüğü ve gelecekteki yakıt fiyatı gibi

anahtar parametrelerdeki belirsizlikler ve çok sayıdaki tasarım seçeneği sebebiyle zor bir süreçte sahip olabilir. Yenilenebilir enerji kaynakları kendilerine özgü belirsizliklere sebep olabilirler çünkü bunların çıkış güçleri süreksiz yani kesik kesik, mevsimsel ve istenildiğinde kullanılamayan (*nondispatchable*) olabilir ve ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılabilirliği kesin de olmayabilir. HOMER, bütün bu zorlukların üstesinden gelmek için geliştirilmiştir.

HOMER, simülasyon, optimizasyon ve hassaslık analizi olmak üzere üç temel görev gerçekleştirir. Simülasyon işleminde, HOMER, yılın her bir saati için belirli bir mikro enerji sistem konfigürasyonunun performansını, bu sistemin teknik fizibilitesini ve yaşam döngüsü maliyetini belirleyebilmek için modeller. Optimizasyon işleminde, HOMER, en düşük yaşam döngüsü maliyeti noktasında teknik kısıtlamaları karşılayan bir sistem konfigürasyonunu yakalayabilmek için birçok farklı sistem konfigürasyonunu simüle eder. Hassaslık analizi işleminde ise, HOMER, model girişlerindeki değişikliklerin veya belirsizliklerin etkilerini ölçmek için bir giriş varsayımları dizisi altında çok sayıda optimizasyon işlemi gerçekleştirir. Optimizasyon işlemi, sistemi oluşturan elemanların kombinasyonu ve bu elemanların her birinin büyüklüğü veya niceliği gibi sistem tasarımcısının kontrolündeki değişkenlerin optimum değerini belirler. Hassaslık analizi, ortalama rüzgar hızı veya gelecekteki yakıt fiyatı gibi tasarımcının kontrolü dışındaki değişkenlerdeki değişikliklerin veya belirsizliklerin etkilerinin değerlendirilmesinde rol oynar.

Şekil 5.1, simülasyon, optimizasyon ve hassaslık analizi arasındaki ilişkiyi gösterir. Optimizasyon alanı, bir tek optimizasyonun birçok simülasyondan oluştuğu gerçeğini temsil etmek amacıyla simülasyon alanını içine almaktadır. Benzer şekilde, hassaslık analizi alanı da optimizasyon alanını içine almaktadır çünkü bir tek hassaslık analizi birçok optimizasyondan oluşur.



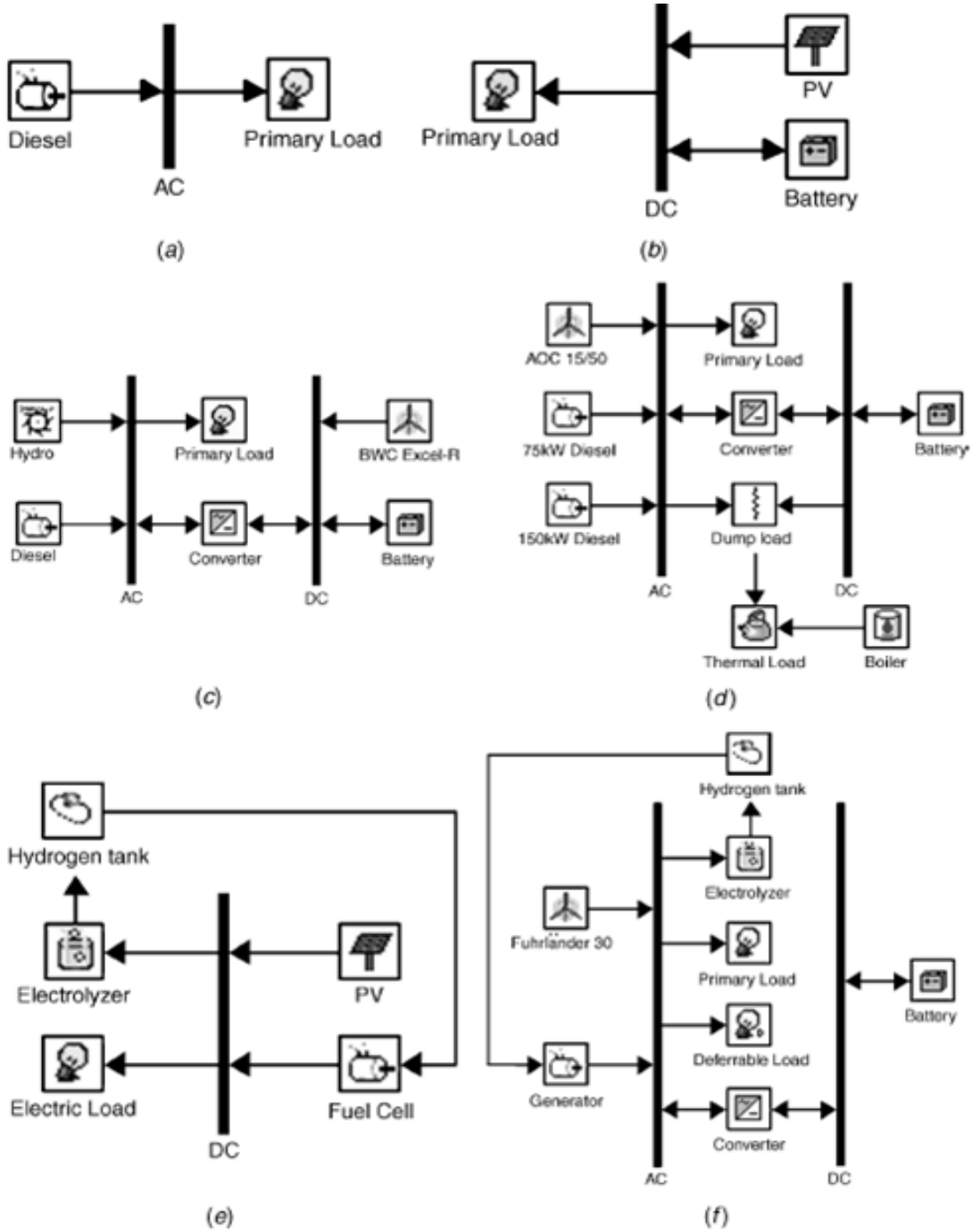
Şekil 5.1 : Simülasyon, optimizasyon ve hassaslık analizi arasındaki kavramsal ilişki.

5.2 Simülasyon

HOMER'in temel yeteneği bir mikro enerji sisteminin uzun dönem çalışmasını simüle edebilmesidir. HOMER'in optimizasyon ve hassaslık analizi gibi yüksek seviyedeki yetenekleri bu simülasyon yeteneğine dayanır. Simülasyon işlemi, belirli büyüklüklerdeki sistem elemanlarının bir kombinasyonundan oluşan belirli bir sistem konfigürasyonunun ve bu sistem elemanlarının birlikte nasıl çalışacağını tanımlayan bir işletim stratejisinin (*operating strategy*) belirlenmiş ayarlar çerçevesinde uzun bir zaman periyodu boyunca nasıl davranacağını belirler.

HOMER, bir fotovoltaik dizinin, bir veya daha fazla rüzgar türbininin, bir depolamasız (*run-of-river*) hidro türbinin, üç adete kadar jeneratörün, bir batarya grubunun, bir aa-da dönüştürücünün, bir elektrolizerin ve bir hidrojen depolama tankının herhangi bir kombinasyonunu içeren mikro enerji sistem konfigürasyonlarının geniş bir çeşidini simüle edebilir. Oluşturulacak mikro enerji sistemleri, şebeke bağlantılı veya şebekeden bağımsız olabilirler ve aa ve da elektrik yüklerini, termal yükleri ve bir hidrojen yükünü de besleyebilirler. Şekil 5.2, HOMER'in simüle edebildiği mikro enerji sistem çeşitlerinin bazı örneklerinin şematik diyagramlarını gösterir.

Batarya grubu ve bir veya daha fazla jeneratör içeren sistemler, sistemin batarya grubunu nasıl şarj edeceğini yöneten bir kurallar dizisi olan *dispatch* stratejiye ihtiyaç duyarlar. HOMER, *load following* ve *cycle charging* olmak üzere iki farklı *dispatch* stratejiyi modelleyebilir. *Load following* stratejisi yönetiminde yenilenebilir enerji kaynakları bataryayı şarj ederler fakat jeneratörler bataryayı şarj etmezler. *Cycle charging* stratejisi yönetiminde ise jeneratörler çalışmaya her başladığında yükü beslemek için ihtiyaç duyulandan daha fazla enerji üretirler ve bu üretim fazlası enerji ise batarya grubunu şarj eder.



Şekil 5.2 : HOMER'in modelleyebildiği bazı mikro enerji sistem çeşitlerinin şematik diyagramları : (a) AA elektrik yükünü besleyen bir dizel sistem. (b) DA elektrik yükünü besleyen bir fotovoltaik-batarya sistemi. (c) Batarya destekli ve aa-da dönüştürücüye sahip bir hibrid hidro-rüzgar-dizel sistemi. (d) Elektrik ve termal yükleri besleyen ve iki jeneratöre, rüzgar türbinine, aa-da dönüştürücüye, batarya grubuna, buhar kazanına ve fazla rüzgar türbini enerjisinin bir dirençli ısıtıcı (*resistive heater*) boyunca geçirilmesi ile termal yükün beslenmesine yardım eden bir de boşaltıcı yüke (*dump load*) sahip bir rüzgar-dizel sistemi. (e) Fazla fotovoltaik enerjiyi yetersiz fotovoltaik enerji zamanları boyunca kullanılması için bir hidrojen tankının yakıt hücresinde depoladığı hidrojene dönüştüren elektrolizere sahip bir fotovoltaik-hidrojen sistemi. (f) Hidrojenin bir içten yanmalı motor jeneratörünü çalıştırdığı ve yedekleme için hem bataryaları hem de hidrojeni kullanan rüzgar ile çalışan sistem.

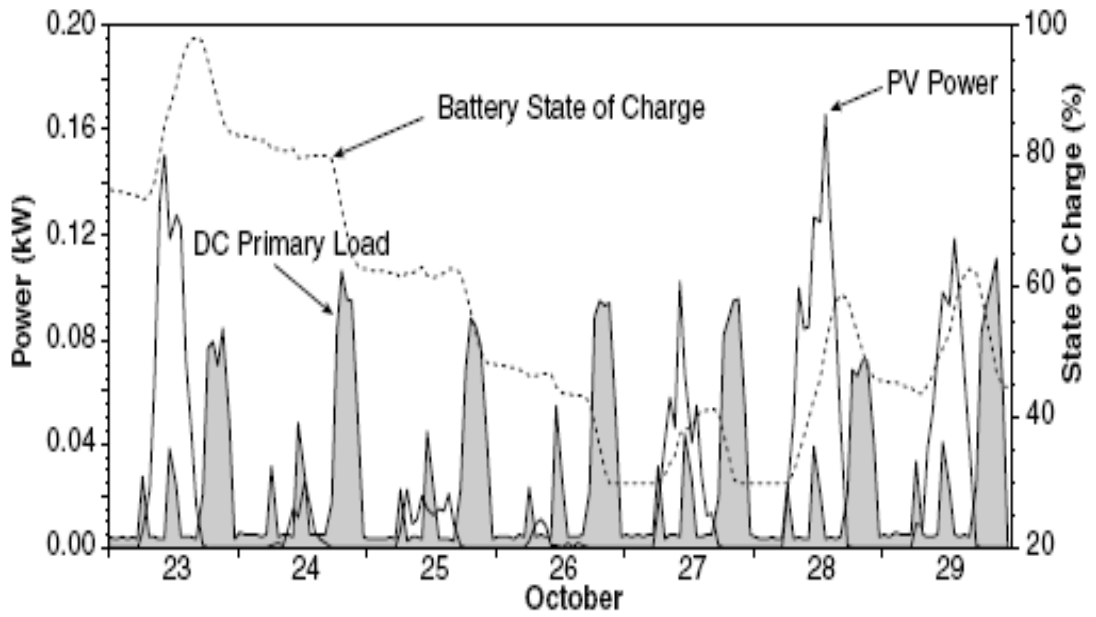
Simülasyon işlemi iki amacı yerine getirir. İlk olarak, sistemin gerçekleştirilebilir olup olmayacağını belirler. Eğer bir sistem yeterli derecede elektrik ve termal yükleri besleyebiliyor ve kullanıcı tarafından uygulamaya konulan kısıtlamaları karşılayabiliyor ise HOMER, bu sistemi gerçekleştirilebilir bir sistem olarak dikkate alır. İkinci olarak, sistemin kurulum maliyeti ile sistemin yaşam süresi boyunca ki işletim maliyetinin toplamı olan sistemin yaşam döngüsü maliyetini tahmini olarak hesaplar. Yaşam döngüsü maliyeti, çeşitli sistem konfigürasyonlarının ekonomilerinin karşılaştırılması için uygun bir ölçüdür. Bu gibi karşılaştırmalar, optimizasyon bölümünde tanımlanmış olan HOMER'in optimizasyon işleminin temelini oluşturur.

HOMER, belirli bir sistem konfigürasyonunu bu sistemin çalışmasının saatlik zaman serisi simülasyonunu bir yıl boyunca gerçekleştirerek modeller. HOMER, yıl boyunca bir saatlik adımlarla ilerler, kullanılabilir yenilenebilir enerjiyi hesaplar, bunu elektrik yükü ile karşılaştırır ve fazla enerji zamanlarında üretim fazlası yenilenebilir enerji ile ne yapacağına veya eksik enerji zamanlarında en iyi şekilde ek enerjiyi nasıl üreteceğine veya şebekeden ek enerjiyi nasıl satın alacağına karar verir. HOMER bir senenin hesaplamalarını tamamladığı zaman, sistemin, belirli kirlenici maddelerin yayılımları, yenilenebilir enerji kaynakları tarafından üretilen enerjinin oranı veya toplam elektrik talebinin karşılanan kısmı gibi niceliklerin üzerinde kullanıcı tarafından belirlenen kısıtlamaları karşılayıp karşılayamayacağını belirler. HOMER, ayrıca, yıllık yakıt tüketimi, yıllık jeneratör çalışma saati, beklenen batarya ömrü veya yıllık olarak şebekeden satın alınan enerji miktarı gibi sistemin yaşam döngüsü maliyetini hesaplamak için ihtiyaç duyulan nicelikleri de hesaplar.

HOMER'in, sistemin yaşam döngüsü maliyetini temsil etmek için kullandığı nicelik toplam net bugünkü maliyettir (*Total Net Present Cost, Total NPC*). Bu tek değer, bugüne iskonto edilmiş gelecekteki nakit akışları ile birlikte proje yaşam süresi içerisinde meydana gelen tüm maliyetleri ve gelirleri kapsar. Toplam net bugünkü maliyet, sistem elemanlarının başlangıç yatırım maliyetlerini, proje yaşam süresi içerisinde meydana gelen herhangi bir elemanın yenileme maliyetini, bakım maliyetini, yakıt maliyetini ve şebekeden enerji satın alma maliyetini kapsar. Şebekeye enerji satılmasından elde edilen herhangi bir gelir toplam net bugünkü maliyeti azaltır. Ekonomik modelleme bölümünde HOMER'in, toplam net bugünkü maliyeti nasıl hesapladığı ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.

Mikro enerji sistemlerinin birçok çeşidi ve özellikle sürekli olmayan yenilenebilir enerji kaynaklarını içerenleri için sistemin davranışının kabul edilebilir bir hassasiyetle modellenebilmesi için bir saatlik zaman adımının kullanılması gerekli bir durumdur. Örneğin, bir rüzgar-dizel-batarya sisteminde aylık ortalama veya günlük ortalama rüzgar güç çıkışını bilmek yeterli değildir çünkü bu güç çıkışının zamanlaması ve değişkenliği ortalama niceliği kadar önemlidir. Dizel yakıt tüketimini, dizel jeneratörün çalışma saatini, batarya boyunca ki enerji akışını ve fazla olan elektrik üretim miktarını doğru olarak tahmin etmek için rüzgar güç çıkışının elektrik yükü ile nasıl yakından ilişkili olduğunu ve rüzgar enerjisinin uzun durgunluklarını takiben uzun süren ani ve kuvvetli duruma geçme eğiliminde olup olmayacağını veya çok daha hızlı şekilde dalgalanma eğiliminde olup olmayacağını bilmek gereklidir. HOMER'in bir saatlik zaman adımı sürekli olmayan yenilenebilir enerji kaynaklarının ve yükün en önemli istatistiksel durumlarını yakalamak için yeteri kadar küçük fakat optimizasyon ve hassaslık analizinin pratik olmaması oranında yavaş hesaplama ile ilgili olarak çok da küçük değildir. HOMER, çok daha küçük zaman adımları gerektirecek elektriksel geçici olayları veya diğer dinamik etkileri modellemez.

Şekil 5.3, Şekil 5.2 (b)'de gösterilen sisteme benzer bir fotovoltaik-batarya sistemi modellendiği zaman HOMER'in üretmiş olduğu saatlik simülasyon sonuçlarının bir kısmını göstermektedir. Böyle bir sistemde, batarya, fotovoltaik güç çıkışı yükü aştığı zaman enerjiyi absorbe eder ve yük fotovoltaik güç çıkışını aştığı zaman ise enerjiyi deşarj eder. Şekil 5.3, Ekim ayının 24. ve 26. günleri arasına denk gelen yetersiz güneş ışığına sahip ardışık üç gün boyunca bataryada depolanan enerji miktarının nasıl alçaldığını gösterir. Bataryanın bu boşalması, sistemin, Ekim ayının 26. ve 27. günlerinde bütün yükü besleyemediği anlamına gelir. HOMER, bu tür enerji darlıklarını kaydeder ve simülasyon sonunda kullanıcı tanımlı kısıtlamalar çerçevesinde sistemin, gerçekleştirilebilir olarak dikkate alınması için toplam yükün yeteri kadarını besleyip besleyemediğine karar verir. HOMER, ayrıca, bataryanın yaşam süresini hesaplamak için kullandığı bir yıl boyunca batarya içerisinde dolanım yapan enerji miktarını (*battery throughput*) hesaplamak için simülasyon sonuçlarını kullanır. Bataryanın yaşam süresi, sistemin toplam net bugünkü maliyetini etkiler.



Şekil 5.3 : Örnek saatlik simülasyon sonuçları.

HOMER, bir yıl boyunca sistemin nasıl çalıştığını simüle eder ve bu yıl için elde edilen yakıt tüketimi, bir yıl boyunca batarya içerisinde dolanım yapan enerji miktarı (*battery throughput*) ve fazla enerji üretimi gibi kilit simülasyon sonuçlarını proje yaşam süresindeki diğer her bir yılın örneği olarak varsayar. HOMER, yıpranma ile birlikte batarya performansının kötüleşmesi veya yük artışı gibi zamanla gerçekleşen değişiklikleri dikkate almaz. Ancak, modelci, ileride tanımlanmış olan hassaslık analizinin kullanımı ile bu etkilerin birçoğunu analiz edebilir.

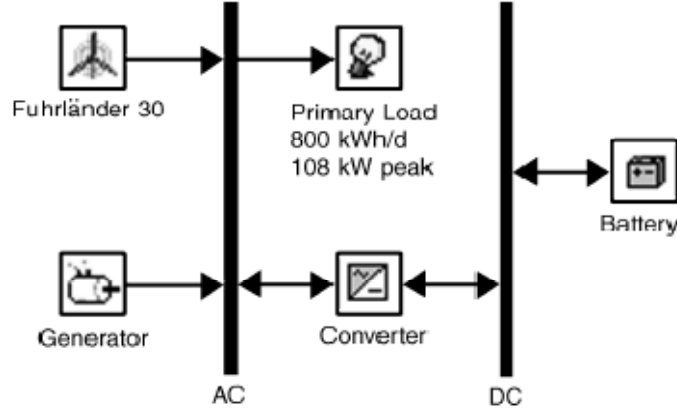
5.3 Optimizasyon

Simülasyon işlemi belirli bir sistem konfigürasyonunu modellerken, optimizasyon işlemi ise olabileceğin en iyisi sistem konfigürasyonunu belirler. HOMER’de en düşük toplam net bugünkü maliyet noktasında kullanıcı tanımlı kısıtlamaları karşılayan olabileceğin en iyisi veya optimum sistem konfigürasyonu bir tanedir. Optimum sistem konfigürasyonunu bulmak, sistemin sahip olması gereken elemanların konfigürasyonuna, her bir elemanın büyüklüğüne veya niceliğine ve sistemin kullanması gereken *dispatch* stratejiye karar vermeyi gerektirir. Optimizasyon işleminde, HOMER, birçok farklı sistem konfigürasyonunu simüle eder, mümkün olmayan yani kullanıcı tanımlı kısıtlamaları karşılamayan olanları dikkate almaz, gerçekleştirilebilir olanları toplam net bugünkü maliyete göre sıralar ve en düşük toplam net bugünkü maliyete sahip olanı optimum sistem konfigürasyonu olarak sunar.

Optimizasyon işleminin amacı, modelciyi ilgilendiren her bir karar değişkeninin optimum değerini belirlemektir. Bir karar değişkeni sistem tasarımcısının kontrolündeki bir değişkendir ve bu değişken için, HOMER, optimizasyon işleminde çeşitli olabilecek değerleri dikkate alabilir. HOMER'deki karar değişkenleri şunlardır:

- Fotovoltaik dizinin büyüklüğü
- Rüzgar türbinlerinin sayısı
- Hidro sistemin varlığı (HOMER yalnızca bir hidro sistemi dikkate alabilir ve bu nedenle verilecek karar enerji sisteminin hidro sistemi içerip içermeyeceği ile ilgilidir)
- Her bir jeneratörün büyüklüğü
- Bataryaların sayısı
- AA-DA dönüştürücünün büyüklüğü
- Elektrolizerin büyüklüğü
- Hidrojen depolama tankının büyüklüğü
- *Dispatch* strateji (sistemin nasıl çalışacağını yöneten kurallar kümesi)

Optimizasyon, modelciye, birçok olasılık arasından optimum sistem konfigürasyonunu bulması için yardım edebilir. Örneğin, rüzgar türbinlerine ve bataryalara sahip mevcut bir dizel enerji sisteminin donanım iyileştirilmesi görevini dikkate alalım. Sistemin yeniden tasarımı için seçenekleri analiz etmede, modelci, Şekil 5.4'de gösterilen elemanların düzenini dikkate almak isteyebilir fakat rüzgar türbinlerinin sayısının, bataryaların sayısının ve dönüştürücünün büyüklüğünün yaşam döngüsü maliyetini ne kadar minimize edeceğini önceden bilemeyecektir. Bu nedenle, bu üç değişken bu analizde karar değişkenleri olacaktır. *Dispatch* strateji de aynı zamanda bir karar değişkeni olabilir fakat basitlik için buradaki anlatımda *dispatch* strateji hariç tutulacaktır. *Dispatch* strateji, fiziksel modelleme bölümü altında yer alan sistem *dispatch* alt bölümünde ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.



Şekil 5.4 : Rüzgar-dizel sistemi.

HOMER, modelciye, her bir karar değişkeni için birçok değer girebilmesine izin verir. Şekil 5.5’de gösterilen gibi bir tablonun kullanımıyla, kullanıcı, her bir karar değişkeni için değer veya değerler girebilir. Ayrıca, herhangi bir karar değişkeni için girilen değerler arasındaki aralık düzenli olmak zorunda da değildir. Bu örnekte, modelci, rüzgar türbini sayısı olarak sıfır dört arası değişen beş tane rüzgar türbini durumunu, bir tane halihazırda bulunan jeneratör büyüklüğünü, batarya sayısı olarak sıfır 128 arası değişen yedi tane batarya durumunu ve dönüştürücü büyüklüğü olarak sıfır 120 kW arası değişen dört dönüştürücü büyüklüğü durumunu simüle etmek için seçmiştir. Bu şekilde bulunan tablo, optimum sistem konfigürasyonu için HOMER’in araştırabildiği tüm olası sistem konfigürasyonlarının bir kümesi olan araştırma uzayını gösterir. Bu araştırma uzayı 140 bağımsız sistem konfigürasyonu içerir çünkü karar değişkenlerinin olası değerlerinin yani beş rüzgar türbini sayısı durumunun, yedi batarya sayısı durumunun, bir jeneratör büyüklüğü durumunun ve dört dönüştürücü büyüklüğü durumunun birbirleriyle çarpılması sonucu elde edilen değer 140 farklı kombinasyon olduğunu ortaya çıkartır.

	FL30 (Quantity)	Gen (kW)	Batteries (Quantity)	Converter (kW)
1	0	135.00	0	0.00
2	1		16	30.00
3	2		32	60.00
4	3		48	120.00
5	4		64	
6			96	
7			128	
8				

Şekil 5.5 : 140 farklı sistem konfigürasyonunu içeren araştırma uzayı (5x1x7x4=140).

Optimizasyon işleminde, HOMER, araştırma uzayındaki her bir sistem konfigürasyonunu simüle eder ve gerçekleştirilebilir olan sistem konfigürasyonlarını toplam net bugünkü maliyete göre sıralanmış bir biçimde tablo halinde sunar. Şekil 5.6, örnek rüzgar-dizel sisteminin iyileştirme analizinin sonuçlarını gösterir. Bu şekilde bulunan tablodaki her bir sıra gerçekleştirilebilir bir sistem konfigürasyonunu temsil eder. Yine bu şekilde bulunan tablodaki ilk dört kolon farklı elemanların varlığını belirten simgeleri içerir, sonraki dört kolon her bir elemanın sayısını veya büyüklüğünü belirtir, daha sonraki beş kolon ise, sırasıyla, sistemin toplam sermaye maliyetini, toplam net bugünkü maliyetini, belli bir değere getirilmiş enerji maliyetini, yıllık yakıt tüketimini ve yıl başına jeneratörün çalıştığı saat sayısını belirtir. Modelci, herhangi belirli bir sistem konfigürasyonu için saatlik veriler de dahil olmak üzere bütün simülasyon sonuçlarına ulaşabilir ve Şekil 5.6'daki bu tablo birçok farklı sistem konfigürasyonu için simülasyon sonuçlarının sadece bir özetini gösterir.

				FL30	Gen (kW)	Batt.	Conv. (kW)	Initial Capital	Total NPC	COE (\$/kWh)	Diesel (L)	Gen (hrs)
				1	135	64	30	\$ 216,500	\$ 849,905	0.273	75,107	4,528
				2	135	64	30	\$ 346,500	\$ 854,660	0.274	54,434	3,350
				1	135	48	30	\$ 200,500	\$ 855,733	0.275	78,061	4,910
				2	135	48	30	\$ 330,500	\$ 856,335	0.275	57,654	3,685
				2	135	32	30	\$ 314,500	\$ 873,322	0.280	62,394	4,139
				2	135	96	60	\$ 401,000	\$ 878,370	0.282	48,139	2,603
				2	135	64	60	\$ 369,000	\$ 880,421	0.282	52,999	3,195
					135	64	30	\$ 86,500	\$ 885,175	0.284	101,290	5,528
				1	135	96	30	\$ 248,500	\$ 887,379	0.285	74,193	4,346
					135	48	30	\$ 70,500	\$ 888,528	0.285	104,009	6,067
				1	135	32	30	\$ 184,500	\$ 889,688	0.285	85,310	5,615
				2	135	96	30	\$ 378,500	\$ 890,504	0.286	52,442	3,136
				2	135	48	60	\$ 353,000	\$ 891,896	0.286	57,316	3,615
				2	135	32	60	\$ 337,000	\$ 905,959	0.291	62,312	4,080
				2	135	128	60	\$ 433,000	\$ 907,508	0.291	45,596	2,226
				1	135	64	60	\$ 239,000	\$ 911,667	0.292	77,753	4,613
					135	96	30	\$ 118,500	\$ 912,410	0.293	101,003	5,330

Şekil 5.6 : Toplam net bugünkü maliyete göre sıralanmış sistem konfigürasyonlarını gösteren toplu optimizasyon sonuçları.

Şekil 5.6'daki ilk sıra, en düşük toplam net bugünkü maliyete sahip olan sistem anlamına gelen optimum sistem konfigürasyonunu gösterir. Bu durumda, optimum sistem konfigürasyonu bir rüzgar türbini, 135 kW büyüklüğünde bir jeneratör, 64 batarya ve 30 kW büyüklüğünde de bir dönüştürücü içerir. İkinci sıradaki sistem, bir yerine iki rüzgar türbini içermesi dışında birinci sıradaki sistem ile aynıdır. Üçüncü

sıradaki sistem ise daha az batarya içermesi dışında birinci sıradaki sistem ile aynıdır. Sekizinci ve onuncu sıradaki sistemler ise rüzgar türbini içermezler.

HOMER, ayrıca, her bir sistem kategorisi içinde yalnızca en düşük maliyetli sistem konfigürasyonunun gösterilmesi ile bu toplu optimizasyon sonuçlarının bir alt kümesini de gösterebilir. Şekil 5.7’de gösterilen listede birinci sıradaki sistem, rüzgar-dizel-batarya sistem kategorisi içinde en düşük maliyetli olan sistem konfigürasyonudur. Benzer olarak, ikinci sıradaki sistem ise dizel-batarya sistem kategorisi içinde en düşük maliyetli olan sistem konfigürasyonudur. Şekil 5.7’de gösterilen kategorize edilmiş optimizasyon sonuçları listesi, her bir sistem kategorisi için en düşük maliyetli olan sistem konfigürasyonunu görmeyi kolaylaştırır.

	FL30	Gen (kW)	Batt.	Conv. (kW)	Initial Capital	Total NPC	COE (\$/kWh)	Diesel (L)	Gen (hrs)
   	1	135	64	30	\$ 216,500	\$ 849,905	0.273	75,107	4,528
  		135	64	30	\$ 86,500	\$ 885,175	0.284	101,290	5,528
 		135			\$ 0	\$ 996,273	0.320	132,357	8,760
 	1	135			\$ 130,000	\$ 1,130,637	0.363	127,679	8,740

Şekil 5.7 : Kategorize edilmiş optimizasyon sonuçları.

Şekil 5.7’deki sonuçlar, bu analizin varsayımları altında bir batarya grubunun ve rüzgar türbinlerinin eklenmesinin gerçekten sistemin yaşam döngüsü maliyetini azaltacağını gösterir. \$216.500 USD değerindeki başlangıç yatırımına sahip optimum sistem, üçüncü sırada gösterilen halihazırda bulunan dizel sistem ile karşılaştırıldığında net bugünkü maliyette yaklaşık olarak \$146.000 USD değerindeki bir tasarrufa imkan sağlar (Salt dizel sistemin sıfır yatırım maliyetine sahip olduğuna dikkat edilmelidir çünkü var olan dizel jeneratör sermaye yatırımı gerektirmez). Optimizasyon sonuçları tabloları bu çeşit bir karşılaştırmaya olanak sağlarlar çünkü bunlar optimum sistem konfigürasyonundan daha fazla şeyler gösterirler. Toplu optimizasyon sonuçları tablosu, özellikle, toplam net bugünkü maliyetleri optimum konfigürasyonun sahip olduğu toplam net bugünkü maliyetten sadece birazcık daha yüksek olan birçok sistem konfigürasyonunu gösterme eğilimindedir. Modelci, bir şekilde, bu optimum olmayan konfigürasyonların bir tanesinin HOMER’in optimum olarak sunduğu konfigürasyona göre tercih edilebilir olduğuna karar verebilir. Örneğin, simülasyon sonuçları, optimum konfigürasyonun sahip olduğu toplam net bugünkü maliyetten birazcık daha yüksek toplam net bugünkü maliyete sahip olan bir sistem konfigürasyonunun gerçek sistemlerde batarya ömrünü çarpıcı bir biçimde

kısaltabilen bataryaların derin ve uzun deşarjını önleme işini daha iyi yaptığını gösterebilir. Bu durum, modelin kapsamı dışında olan teknik bir detaydır fakat modelci son bir tasarım kararı vermede bu ve bunun gibi durumları dikkate alabilir.

5.4 Hassaslık Analizi

Bir önceki bölümde tanımlanan optimizasyon işleminde, HOMER'in, belirli bir giriş varsayımları kümesi altında optimum olan sistem konfigürasyonunu bulduğu belirtilmişti. Bu bölümde ise HOMER'in içerisinde, her biri farklı giriş varsayımları kümesi kullanan birçok optimizasyonu gerçekleştirdiği hassaslık analizi işlemi tanımlanacaktır. Hassaslık analizi, girişlerdeki değişikliklere çıkışların ne denli duyarlı olduğunu ortaya çıkartan bir işlemdir.

Bir hassaslık analizinde, HOMER kullanıcısı, tek bir giriş değişkeni için bir değerler dizisi girebilir. Kullanıcının birçok değer girdiği bir değişken hassaslık değişkeni olarak adlandırılır. HOMER'de karar değişkeni olmayan neredeyse tüm nümerik giriş değişkenleri bir hassaslık değişkeni olabilir. Örnek olarak şebeke enerjisi fiyatı, yakıt fiyatı, faiz oranı veya fotovoltaik dizinin yaşam süresi verilebilir. Saatlik veri kümeleri üzerinde hassaslık analizi başlığı altında da tanımlanacak olan yük ve yenilenebilir kaynak verisi gibi saatlik bir veri kümesinin büyüklüğü de bir hassaslık değişkeni olarak tanımlanabilir.

HOMER kullanıcısı, hassaslık analizini herhangi bir sayıda hassaslık değişkeni ile gerçekleştirebilir. Hassaslık değişkeni değerlerinin her bir kombinasyonu bağımsız bir hassaslık durumunu tanımlar. Örneğin, eğer kullanıcı şebeke enerjisi fiyatı için altı değer ve faiz oranı için de dört değer belirlerse, bu durum, 24 (6×4) bağımsız hassaslık durumunu tanımlamış olur. HOMER, her bir hassaslık durumu için ayrı bir optimizasyon işlemi gerçekleştirir ve sonuçları çeşitli çizelge ve grafik biçimlerinde kullanıcıya sunar.

Hassaslık analizinin başlıca kullanım amaçlarından bir tanesi belirsizlik ile baş etmesidir. Eğer sistem tasarımcısı belirli bir değişkenin değerinden emin değil ise bu değişkenin muhtemel değer aralığını tanımlayan birtakım değerler girebilir ve sonuçların bu değişkenin muhtemel değer aralığı boyunca nasıl değiştiğini gözlemleyebilir. Fakat, hassaslık analizi belirsizlik ile başa çıkmanın ötesinde uygulamalara sahiptir. Sistem tasarımcısı ödünleşimleri (*trade-offs*) değerlendirmek

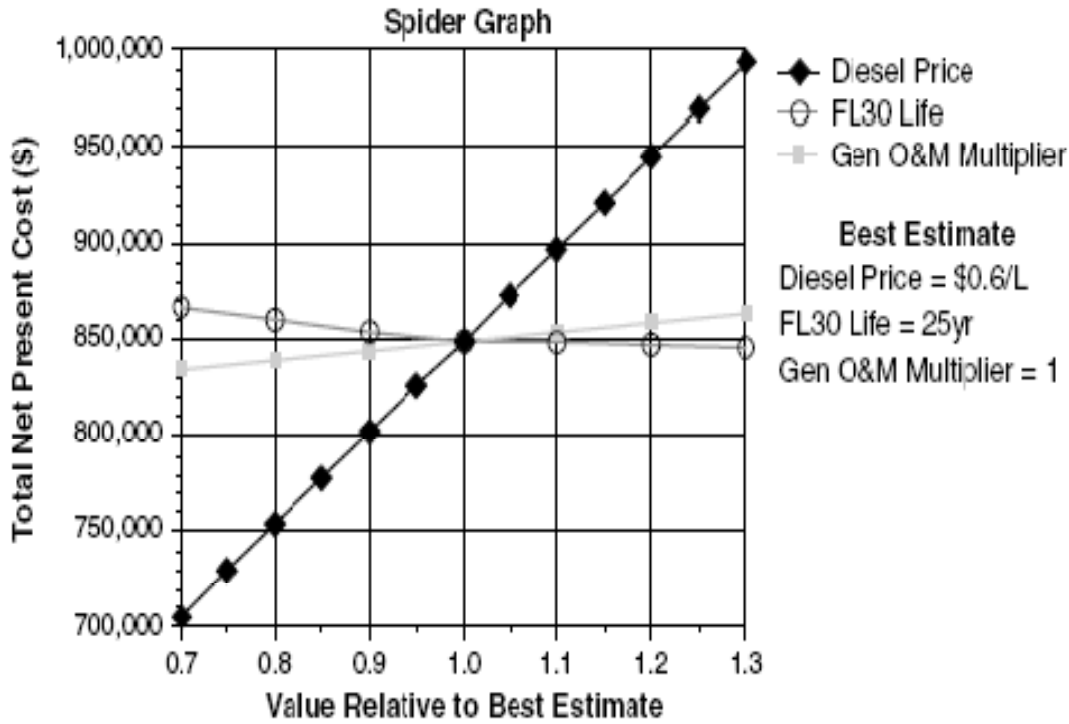
için hassaslık analizini kullanabilir ve ayrıca, yine hassaslık analizini kullanarak şu tür bir soruya cevap da verebilir: %50 veya %100 yenilenebilir bir enerji üretimi gerçekleştirmek için ne kadarlık ek bir sermaye yatırımı gereklidir? Bir enerji planlamacısı, hangi farklı koşul altında hangi teknolojilerin veya hangi teknoloji kombinasyonlarının optimum olduğuna karar verebilir. Bir piyasa analizcisi, hangi fiyatta veya hangi koşullar altında bir ürünün (bir yakıt hücresi veya bir rüzgar türbini) alternatifleri ile rekabet edebileceğini belirleyebilir. Bir politik analizci, belirli bir teknolojiye yönelik olarak teşviğin hangi seviyesinin piyasayı canlandırmak için gerekli olduğuna veya emisyon cezasının hangi seviyesinin ekonomiyi temiz teknolojilere doğru yönlendireceğine karar verebilir.

5.4.1 Belirsizlik ile baş etme

Mikro enerji sistem tasarımcısının birçok değişkende sık sık karşısına çıkan zorluk belirsizliktir. Hassaslık analizi, tasarımcıya, belirsizliğin etkilerini anlamada ve belirsizliğe rağmen doğru tasarım kararları vermede yardım edebilir. Örneğin, optimizasyon bölümündeki rüzgar-dizel sisteminin analizini dikkate alalım. Bu analizin gerçekleştirilmesinde, modelci, 25 yıllık proje yaşam süresi boyunca dizel yakıtın fiyatını litre başına 0,60 dolar olacak şekilde varsaymıştır. Bu değerde apaçık bir şekilde azımsanmayacak ölçüde belirsizlik vardır fakat aynı zamanda rüzgar türbininin yaşam süresi, dizel motorun bakım maliyeti, bölgedeki uzun dönem ortalama rüzgar hızı ve ortalama elektrik yükü gibi diğer birçok girişte de belirsizlik olabilir. Hassaslık analizi, modelciye, bu girişlerdeki değişikliklerin belirli bir sistem konfigürasyonunun davranışı, fizibilitesi ve ekonomisi üzerindeki sahip olduğu etki veya etkileri, belirli bir sistem konfigürasyonunun kararlılığını (diğer bir deyişle, belirli bir sistem konfigürasyonunun tüm senaryolarda hemen hemen optimum veya belirli senaryolarda optimum olmaktan çok uzak olup olmayacağını) ve optimum sistem konfigürasyonunun belirsizlik aralığı boyunca nasıl değiştiğini belirlemek için yardım edebilir.

Şekil 5.8'deki grafik bir hassaslık analizinin üç değişken üzerindeki sonuçlarını gösterir. Bu analizde, modelci, sistem konfigürasyonunu Şekil 5.6'daki optimizasyon tablosunun ilk sırasında görünen rüzgar-dizel sistemi olarak belirlemiş fakat üç giriş değişkeni (dizel yakıt fiyatı, rüzgar türbini yaşam süresi ve jeneratör işletme ve bakım maliyeti) için birçok değer girmiştir. Modelci, yukarıda belirtilen her bir

değişken için, o değişkenin en iyi tahmini değerinin %30 aşağısından %30 yukarısına kadarki olan değer aralığını kapsayan belirli değerleri girmiştir. Şekil 5.8, toplam net bugünkü maliyetin bu üç değişkenin her birine ne kadar duyarlı olduğunu gösterir. Bu üç eğrinin nisbi eğimleri (*relative steepness*), toplam net bugünkü maliyetin diğer iki değişkene nazaran dizel yakıt fiyatına daha duyarlı olduğunu gösterir. Bu tür bir bilgi, sistem tasarımcısının bir güvenilirlik aralığının sınırlarını oluşturmaya veya belirsizliği azaltacak çabalara öncelik vermesine yardım edebilir.



Şekil 5.8 : Üç hassaslık değişkenindeki değişikliklerin etkisini gösteren grafik.

Hassaslık analizi aynı zamanda optimizasyon içerebilir. Şekil 5.9, optimizasyon bölümünde bulunan rüzgar-dizel sisteminin ikinci hassaslık analizinin sonuçlarını gösterir. Modelci, bu analizi, Şekil 5.8’de belirsiz değişkenlerin en önemlisi olarak ortaya çıkan dizel yakıt fiyatının optimum sistem konfigürasyonunu etkileyip etkilemeyeceğini görmek için gerçekleştirmiştir. Burada, modelci, Şekil 5.5’de gösterilen araştırma uzayını kullanmış ve litre başına 0,60 dolar olan en iyi tahmini değer %30 aşağısı ve %30 yukarısı aralığında bulunan belirli değerleri içeren bir dizel yakıt fiyatı dizisi girmiştir. Şekil 5.9’da bulunan liste halindeki sonuçlar, dizel yakıt fiyatı artar iken optimum sistem konfigürasyonunun bir dizel-batarya sisteminden bir adet rüzgar türbini içeren bir rüzgar-dizel-batarya sistemine dönüştüğünü ve daha sonra ise dizel yakıt fiyatı daha da fazla artar iken iki adet rüzgar türbini içeren bir rüzgar-dizel-batarya sistemine dönüştüğünü gösterir.

Diesel (\$/L)					FL30	Gen (kW)	Batt.	Conv. (kW)	Total NPC
0.420						135	48	30	\$ 688,679
0.450						135	48	30	\$ 721,987
0.480					1	135	64	30	\$ 753,695
0.510					1	135	64	30	\$ 777,748
0.540					1	135	64	30	\$ 801,800
0.570					1	135	64	30	\$ 825,852
→ 0.600					1	135	64	30	\$ 849,905
0.630					2	135	64	30	\$ 872,093
0.660					2	135	64	30	\$ 889,525
0.690					2	135	64	30	\$ 906,957
0.720					2	135	64	30	\$ 924,389
0.750					2	135	64	30	\$ 941,821
0.780					2	135	64	30	\$ 959,253

Şekil 5.9 : Dizel yakıt fiyatı ile değişen optimum sistem konfigürasyonunu gösteren liste halindeki hassaslık analizi sonuçları.

Şekil 5.9'daki ok işareti, litre başına 0,60 dolar dizel yakıt fiyatındaki en iyi tahmini senaryoyu gösterir. Bir adet rüzgar türbini, bir adet 135 kW büyüklüğünde jeneratör, 64 batarya ve bir adet 30 kW büyüklüğünde dönüştürücüden oluşan bu senaryonun oluşturduğu sistem konfigürasyonu yukarıdaki şekilde de görüldüğü gibi 13 hassaslık durumunun farklı dizel yakıt fiyatlarına sahip beş durumu için de ayrı ayrı optimumdur. Diğer hassaslık durumları için toplu optimizasyon sonuçları tablosunun incelenmesi, bu sistem konfigürasyonunun aynı zamanda bu diğer hassaslık durumları içinde hemen hemen optimum olduğunu gösterir. Örneğin, Şekil 5.10, en düşük dizel yakıt fiyatı senaryosu (litre başına 0,42 dolar) için optimizasyon sonuçları tablosunu gösterir. Litre başına 0,60 dolar dizel yakıt fiyatı senaryosunda optimum olan sistem konfigürasyonu, litre başına 0,42 dolar dizel yakıt fiyatı senaryosunda optimum sistem konfigürasyonunun toplam net bugünkü maliyetinden (\$688.679 USD) yalnızca %2,4 büyük olan \$705.590 USD bir toplam net bugünkü maliyete sahip olarak üçüncü sırada yer alır. En pahalı dizel yakıt fiyatı (litre başına \$0,78 USD) senaryosunda ise litre başına \$0,60 USD dizel yakıt fiyatı senaryosunda optimum olan sistem konfigürasyonu, optimum sistem konfigürasyonunun toplam net bugünkü maliyetinden yalnızca %3,6 daha büyük bir toplam net bugünkü maliyete sahip olarak beşinci sırada yer alır. En düşük dizel yakıt fiyatı senaryosunda optimum olan dizel-batarya sistemi, en yüksek dizel yakıt fiyatı senaryosunda optimum olan sistem konfigürasyonunun toplam net bugünkü maliyetinden %13,5 daha büyük bir toplam net bugünkü maliyete sahip olarak 36. sırada yer alır. Bu

analiz, dizel-batarya sisteminin rüzgar-dizel-batarya sisteminden daha yüksek bir riske sahip olacağını gösterir çünkü bu dizel-batarya sistemi bazı dizel yakıt fiyatı senaryoları altında hiç de optimum değildir.

	FL30	Gen (kW)	Batt.	Conv. (kW)	Total NPC
		135	48	30	\$ 688,679
		135	64	30	\$ 690,550
	1	135	64	30	\$ 705,590
	1	135	48	30	\$ 705,704
		135	32	30	\$ 708,090
		135	96	30	\$ 718,337

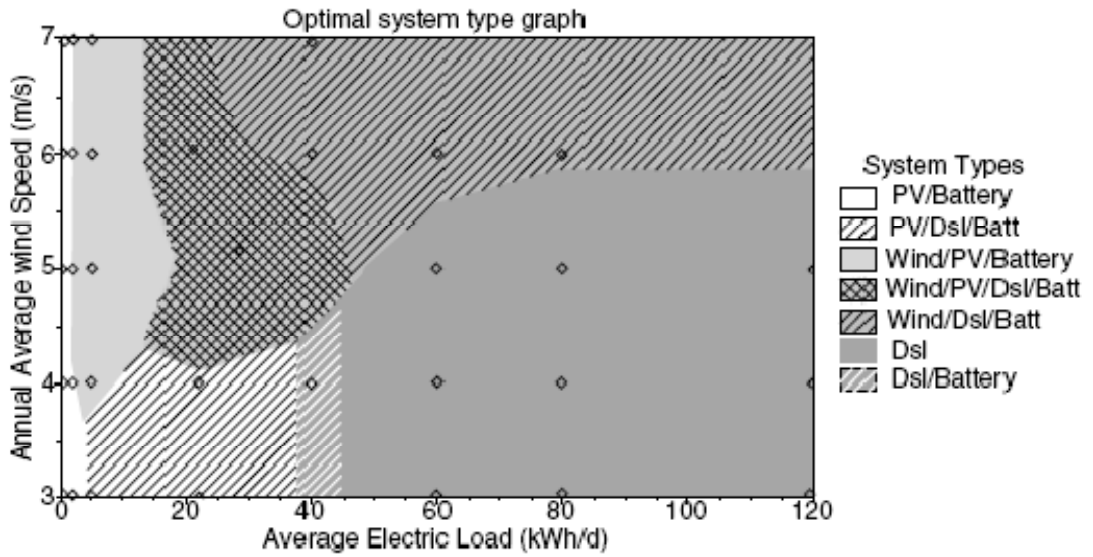
Şekil 5.10 : Litre başına 0,42 dolar dizel yakıt fiyatı hassaslık durumu için optimizasyon sonuçları.

Bu tür bir bilgi ile modelci, önemli değişkenlerdeki belirsizliklere rağmen bilinçli kararlar verebilir. Yukarıdaki örnekte olduğu gibi farklı sistem konfigürasyonlarının her biri ile ilgili riskleri değerlendirmede tasarımcıya yardım eden hassaslık analizi, bu farklı sistem konfigürasyonlarının geniş bir olası senaryolar aralığı boyunca nasıl bir performans sergilediklerini ortaya çıkartabilir.

5.4.2 Saatlik veri kümeleri üzerinde hassaslık analizi

HOMER'in en güçlü özelliklerinden bir tanesi, yük ve güneş, rüzgar, hidro, biyokütle kaynakları gibi saatlik veri kümeleri üzerinde hassaslık analizini gerçekleştirebilme yeteneğine sahip olmasıdır. HOMER'in ölçeklendirme değişkenlerini kullanması, bu tür hassaslık analizinin gerçekleştirilmesine olanak sağlar. Her bir saatlik veri kümesi, belirli bir ortalama değere sahip 8.760 (bir yıl içerisinde bulunan saat sayısı) adet değerden oluşur. Ayrıca, her bir saatlik veri kümesi, modelcinin saatlik veri kümesini aşağı veya yukarı ölçeklendirmek için kullanabildiği bir ölçeklendirme değişkenine de sahiptir. Örneğin, bir kullanıcı, saatlik yük verisini yıllık ortalama 120 kWh/gün değeri olarak belirleyebilir, daha sonra ise bu saatlik yük verisinin ölçeklendirme değişkeni için 100, 150 ve 200 kWh/gün değerlerini belirleyebilir. Hassaslık analizi sırasında, HOMER, saatlik yük verisi ilk olarak 100 kWh/gün, daha sonra 150 kWh/gün ve son olarak da 200 kWh/gün değerini vasati olarak alsın diye bu saatlik yük verisini ölçeklendirecektir. Bu ölçeklendirme işlemi, günlük yük biçimini, mevsimsel biçimi veya herhangi bir istatistiksel özelliği etkilemeksizin yük veri kümesinin büyüklüğünü değiştirir. HOMER, aynı şekilde yenilenebilir kaynak verisini de ölçeklendirebilir.

Şekil 5.11, yük büyüklüklerinin ve yıllık ortalama rüzgar hızlarının bir dizisi boyuncaki bir hassaslık analizinin sonuçlarını gösterir. Modelci, elektrik yükünün ortalama büyüklüğü için yedi değer ve yıllık ortalama rüzgar hızı için ise beş değer belirlemiştir. Şekil 5.11'deki grafiğin eksenleri bu iki hassaslık değişkenini (ortalama elektrik yükü ve yıllık ortalama rüzgar hızı) temsil eder. 35 (7×5) hassaslık durumunun her birinde, HOMER, 5.000'den fazla sistem konfigürasyonu içeren bir araştırma uzayı üzerinden bir optimizasyon gerçekleştirir. Grafikteki baklava biçimli küçük şekiller hassaslık durumlarını belirtir ve her bir baklava biçimli küçük şeklin rengi ise bu hassaslık durumu için optimum sistem tipini belirtir. Örneğin, 22 kWh/gün değerindeki ortalama elektrik yükünde ve 4 m/s değerindeki yıllık ortalama rüzgar hızında optimum sistem tipi fotovoltaik-dizel-batarya sistemidir. 40 kWh/gün değerindeki ortalama elektrik yükünde ve yine 4 m/s değerindeki yıllık ortalama rüzgar hızında ise optimum sistem tipi dizel-batarya sistemidir. HOMER, baklava biçimli küçük şekiller arasındaki tüm noktalarda optimum sistem tipini belirlemek için iki boyutlu lineer enterpolasyonu kullanır.



Şekil 5.11 : Optimum sistem grafiği.

Şekil 5.11'deki grafik, bu analizde kullanılan varsayımlar doğrultusunda fotovoltaik-batarya sistemlerinin rüzgar hızına bakılmaksızın çok küçük sistemler için optimum olduğunu gösterir. Düşük rüzgar hızlarında (3-3,5 m/s) yük büyüklüğü artar iken optimum sistem tipi fotovoltaik-batarya sisteminden ilk önce fotovoltaik-dizel-batarya sistemine, daha sonra dizel-batarya sistemine ve son olarak da salt dizel sisteme dönüşür. Yüksek rüzgar hızlarında (6-7 m/s) ise yük büyüklüğü artar iken optimum sistem tipi fotovoltaik-batarya sisteminden ilk önce rüzgar-fotovoltaik-

batarya sistemine, daha sonra rüzgar-fotovoltaik-dizel-batarya sistemine ve son olarak da rüzgar-dizel-batarya sistemine dönüşür. Böyle bir analiz, gelişmekte olan bir ülkede birçok elektrikleştirilmemiş yaşam alanına elektrik sağlama amacıyla olan bir enerji planlamacısına, bu yaşam alanlarında yaşayan her bir topluluğun ihtiyaç duyduğu yük büyüklüğü ve bu yaşam alanlarının bulunduğu her bir bölgenin sahip olduğu yıllık ortalama rüzgar hızı baz alınmak suretiyle farklı ihtiyaçlara ve özelliklere sahip olan bu her bir yaşam alanı için hangi mikro enerji sistem tipinin uygun olduğuna karar verme işleminde yardım edebilir.

5.5 Fiziksel Modelleme

Simülasyon bölümünde, simülasyonun rolü anlatılmış ve HOMER'in mikro enerji sistemlerini simüle etmek için kullandığı işlem kısaca tanımlanmıştır. Bu bölümde ise HOMER'in, bir sistemin fiziksel çalışmasını nasıl modellediği ayrıntılı bir biçimde anlatılacaktır. HOMER'de, bir mikro enerji sistemi en azından bir elektrik veya termal enerji kaynağı (rüzgar türbini, dizel jeneratör, buhar kazanı veya şebeke) ve yine en azından bu enerji kaynağının üreteceği enerji için bir varış noktası (elektrik yükü, termal yük veya şebekeye elektrik enerjisi satabilme) içermelidir. Ayrıca, bir mikro enerji sistemi, aa-da dönüştürücü veya elektrolizer gibi enerji dönüştürme araçlarını ve batarya veya hidrojen depolama tankı gibi enerji depolama araçlarını da içerebilir.

Aşağıdaki alt bölümlerde, HOMER'in, sistemin beslemesi gereken yükleri, sistemin elemanlarını, bu sistem elemanlarının ilgili enerji kaynaklarını nasıl modellediği ve yükleri beslemek için bu elemanların birlikte nasıl çalıştıkları anlatılmıştır.

5.5.1 Yükler

HOMER'de, yük (*load*) terimi, bir elektrik veya termal enerji talebini belirtir. Yükleri beslemek, mikro enerji sistemlerinin mevcudiyetinin sebebidir bu nedenle bir mikro enerji sisteminin modellenmesi, sistemin beslemesi gereken yük veya yüklerin modellenmesi ile başlar. HOMER, üç farklı yük tipini modeller. Birincil yük (*primary load*), belirli bir programa göre sağlanması gereken elektrik ihtiyacını belirtir. Ertelenebilir yük (*deferrable load*), belirli bir zaman süresi içerisinde herhangi bir zamanda sağlanabilir olan elektrik ihtiyacını belirtir. Termal yük (*thermal load*) ise ısı ihtiyacını belirtir.

5.5.1.1 Birincil yük

Birincil yük, enerji sisteminin belirli bir zamanda karşılaması gereken elektrik ihtiyacını belirtir. Lambalar, radyolar, televizyonlar, elektrikli ev aletleri, bilgisayarlar ve endüstriyel işlemler ile ilgili elektriksel ihtiyaçlar genellikle birincil yük olarak tanımlanır. Bir tüketici lambayı açtığı zaman enerji sistemi bu lambaya derhal elektrik sağlamalıdır çünkü birincil yük bir dahaki sefere kadar ertelenemez. Eğer elektrik ihtiyacı elektrik arzını aşar ise HOMER'in karşılanmamış yük (*unmet load*) olarak kaydettiği bir eksiklik meydana gelir.

HOMER kullanıcısının, ya saatlik yük verisini içeren bir dosyayı HOMER'e aktararak ya da ortalama günlük yük profilinden veya profillerinden HOMER'in saatlik yük verisini doğal olmayan yol ile oluşturmaya izin vererek yılın her bir saati için kilowatt biriminde birincil yük değerlerini belirtmesi gerekir. Saatlik yük verisi doğal olmayan yol ile oluşturulur iken HOMER, kullanıcı tanımlı ortalama günlük yük profiline veya profillerine dayanarak bu saatlik yük değerlerini oluşturur. Modelci, yıl boyunca uygulanacak olan tek bir 24 saatlik yük profili belirleyebilir, her bir ay için farklı yük profili belirleyebilir veya her bir ayın hafta içi ve hafta sonu için farklı yük profili belirleyebilir. HOMER, doğal olmayan yol ile elde edilmiş saatlik yük verisine her bir günün yük modelinin özgün olması amacıyla kullanıcı tanımlı bir rastgelelik ekler. HOMER, her biri aa veya da olabilecek iki ayrı birincil yükü modelleyebilir.

HOMER'de modellenen üç farklı yük çeşidi arasında bulunan birincil yük, kullanıcı tanımlı bir çalışma rezervi (*operating reserve*) miktarı gerektirdiğinden dolayı özel bir ilgi görür. Çalışma rezervi, elektrik yükündeki ani bir artışa veya yenilenebilir kaynağın çıkış gücündeki ani bir azalışa anında cevap verebilen fazla elektrik üretim kapasitesini temsil eder. Bu terim, daha yaygın olan döner yedek (*spinning reserve*) terimi ile aynı anlama sahip olmasına rağmen çalışma rezervi (*operating reserve*) olarak adlandırılır çünkü bataryalar, yakıt hücreleri ve şebeke çalışma rezervini sağlayabilirler fakat dönmezler. Sistemin çalışmasının simüle işlemi gerçekleştirilirken, HOMER, birincil yükü beslemek ve gerekli çalışma rezervi miktarını sağlamak için sistemin çalışma kapasitesinin (*operating capacity*) daima yeterli olmasını sağlamaya çalışır. Sistem *dispatch* alt bölümünde çalışma rezervi ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.

5.5.2 Kaynaklar

Sisteme dışarıdan gelen bir şeyi temsil eden kaynak (*resource*) terimi, elektrik enerjisi veya termal enerji üretmek için bu sistem tarafından kullanılır. Bu terim, sistemin elemanları tarafından kullanılan herhangi bir yakıta ilaveten dört adet de yenilenebilir enerji kaynağı (güneş, rüzgar, hidro ve biyokütle) içerir. Yenilenebilir enerji kaynakları lokasyona bağlı olarak aşırı derecede değişim gösterirler. Güneş kaynağı fazlasıyla enleme ve iklimle, rüzgar kaynağı büyük ölçekli atmosferik sirkülasyon biçimlerine ve coğrafi etkilere, hidro kaynağı bölgesel yağmur miktarı değişimlerine ve topoğrafyaya ve biyokütle kaynağı ise bölgesel biyolojik üretkenliğe bağlıdır. Buna ek olarak herhangi bir lokasyondaki yenilenebilir bir enerji kaynağı mevsimlik ve saatlik keskin değişiklikler sergileyebilir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının karakteristik özellikleri, yenilenebilir enerji sistemlerinin davranışlarını ve ekonomilerini etkiler çünkü yenilenebilir bir enerji kaynağı, yenilenebilir enerji üretiminin zamanlamasını ve niceliğini belirler. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynaklarının özenli bir şekilde modellenmesi sistem modellenmesinin ana unsurunu oluşturur.

5.5.2.1 Güneş kaynağı

Fotovoltaik dizi içeren bir sistemi modellemek için, HOMER kullanıcısı, ilgili lokasyonun güneş kaynağı verisini belirtmelidir. Güneş kaynağı verisi, bir yıl boyunca yeryüzüne çarpan global güneş ışıınımı (güneşten doğruca gelen direkt ışıınımın ve gökyüzünün bütün bölümlerinden gelen dağınık ışıınımın toplamı) miktarını belirtir. Güneş kaynağı verisi şu üç biçimden birisi şeklinde olabilir: yatay yüzey üzerindeki saatlik ortalama global güneş ışıınımı (kW/m^2), yatay yüzey üzerindeki aylık ortalama global güneş ışıınımı (kWh/m^2) veya aylık ortalama bulutsuzluk (açıklık, geçirgenlik) indeksi. Bulutsuzluk indeksi, yeryüzüne çarpan güneş ışıınımının atmosferin en üst katmanına çarpan güneş ışıınımına oranıdır. Sıfır ve bir arasında bir sayı olan bulutsuzluk indeksi atmosferin geçirgenliğinin ölçüsünü belirtir.

Eğer kullanıcı aylık güneş kaynağı verisini belirtmeyi seçerse, HOMER, Graham ve Hollands tarafından geliştirilmiş bir algoritmayı kullanarak doğal olmayan saatlik global güneş ışıınımı verisini üretir. Bu algoritmanın girişleri aylık ortalama güneş ışıınımı değerleri ve enlemdir. Bu algoritmanın çıkışı ise gerçekten ölçülmüş veri

kümesi ile benzer istatistiksel karakteristikleri içeren 8.760 saatlik bir veri kümesidir. Bu istatistiksel özelliklerden bir tanesi, bir günün bir önceki güne benzer olması ve bir saatin bir önceki saate benzer olması eğilimi olan otokorelasyon özelliğidir.

5.5.2.2 Rüzgar kaynağı

Bir veya daha fazla rüzgar türbini içeren bir sistemi modellemek için, HOMER kullanıcısı, bir sene boyunca bu türbinlerin maruz kalacağı rüzgar hızlarını içeren rüzgar kaynağı verisini belirtmelidir. Kullanıcı, eğer mevcutsa ölçülmüş saatlik rüzgar hızı verisini belirtebilir. Aksi durumda, HOMER, aylık ortalama rüzgar hızlarından doğal olmayan yol ile oluşturulan saatlik rüzgar hızı verisini ve ayrıca *Weibull shape factor*, *Weibull scale parameter*, otokorelasyon faktörü (*autocorrelation factor*), *diurnal pattern strength* ve maksimum rüzgar hızı saati (*hour of peak wind speed*) olmak üzere beş adet ilave istatistiksel parametreyi de üretebilir. *Weibull shape factor*, yıl boyuncaki rüzgar hızları dağılımının bir ölçüsüdür. *Weibull scale parameter*, ortalama rüzgar hızı ile yakından ilişkili olan bir parametredir. Otokorelasyon faktörü, herhangi bir saatteki rüzgar hızının bir önceki saatteki rüzgar hızına ne kadar bağlı olma eğiliminde olduğunun bir ölçüsüdür. *Diurnal pattern strength* ve maksimum rüzgar hızı saati ise sırasıyla rüzgar hızındaki ortalama günlük modelin genliğini ve fazını belirtirler. HOMER, *Weibull scale parameter* hariç bu parametrelerin her biri için varsayılan değeri sağlar.

Kullanıcı, yer seviyesinden rüzgar hızı verisinin ölçüldüğü veya tahmin edildiği noktaya kadarki mesafe olan rüzgar hızı ölçer aletin yüksekliğini (*anemometer height*) belirtebilir. Eğer rüzgar türbininin rotor göbeği (*hub*) yüksekliği rüzgar hızı ölçer aletin yüksekliğinden farklı ise, HOMER, türbinin rotor göbeği (*hub*) yüksekliğindeki rüzgar hızını ya rüzgar hızının yer seviyesinden yüksekliğin logaritması ile orantılı olduğunu varsayan logaritmik yasayı yada rüzgar hızının yükseklik ile üssel olarak değiştiğini varsayan güç yasasını kullanarak hesaplar. Logaritmik yasayı kullanmak için, kullanıcı, çevredeki bölgenin engebeliğini karakterize eden bir parametre olan yüzey pürüzlüğü uzunluğunu belirtmelidir. Güç yasasını kullanmak için ise, kullanıcı, güç yasası üssünü belirtmelidir.

Ayrıca, kullanıcı, HOMER'in hava yoğunluğunu hesaplamak için kullandığı bölgenin deniz seviyesinden yüksekliğini de (*altitude*) belirtebilir. HOMER, hava yoğunluğunu, rüzgar türbininin çıkışı hesaplanırken kullanır.

5.5.3 Elemanlar

Eleman (*component*), HOMER’de, mikro enerji sisteminin enerjiyi üreten, ileten, dönüştüren veya depolayan herhangi bir kısmıdır. HOMER, 10 çeşit elemanı modelleyebilir. Sürekli olmayan yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretmek için üç çeşit eleman: fotovoltaik modüller, rüzgar türbinleri ve hidro türbinler. Fotovoltaik modüller güneş ışınımını da elektriğe, rüzgar türbinleri rüzgar enerjisini aa veya da elektriğe ve hidro türbinler ise akan suyun enerjisini aa veya da elektriğe dönüştürürler. HOMER, sadece, toplama havuzu (*storage reservoir*) içermeyen anlamında olan depolamasız (*run-of-river*) hidro kurulumları modelleyebilir.

Diğer üç çeşit eleman, sistemin gerektiğinde bu elemanları kontrol edebileceği anlamına gelen istenildiğinde kullanılabilen (*dispatchable*) enerji kaynağı adını alan jeneratör, şebeke ve buhar kazanıdır. Jeneratörler, aa veya da elektrik üretmek için yakıt tüketirler. Ayrıca, bir jeneratör, atık ısının geri kazanımı aracılığı ile termal enerji üretebilir. Şebeke ise aa elektriği şebeke bağlantılı bir sisteme iletebilir ve ayrıca sistemden de üretim fazlası elektriği kabul edebilir. Buhar kazanları ise termal enerji üretmek için yakıt tüketirler.

Diğer iki çeşit eleman olan dönüştürücüler ve elektrolizerler elektrik enerjisini başka bir biçime dönüştürürler. Dönüştürücüler, elektriği aa’dan da’ya veya da’dan aa’ya dönüştürürler. Elektrolizerler, üretim fazlası aa veya da elektriği suyun elektrolizi aracılığı ile hidrojene dönüştürürler. Sistem hidrojeni depolayabilir ve bu hidrojeni bir veya daha fazla jeneratör için yakıt olarak kullanabilir. Son olarak, diğer iki çeşit eleman olan bataryalar ve hidrojen depolama tankları enerjiyi depolarlar. Bataryalar, da elektriği depolar. Hidrojen depolama tankları ise elektrolizer aracılığı ile elde edilen ve bir veya daha fazla jeneratöre yakıt sağlamak için kullanılabilen hidrojeni depolar.

5.5.3.1 Fotovoltaik dizi

HOMER, fotovoltaik diziyi, bu dizinin üzerine gelen global güneş ışınımı oranında da veya aa elektrik üretebilen bir donanım olarak modeller. HOMER, fotovoltaik dizinin çıkış gücünü aşağıdaki eşitliğin kullanımı ile hesaplar.

$$P_{PV} = f_{PV} Y_{PV} \left(\frac{I_T}{I_S} \right) [1 + \alpha_P (T_c - T_S)] \quad (5.1)$$

Bu eşitlikte, f_{PV} fotovoltaik dizinin azalma faktörünü (*derating factor*), Y_{PV} fotovoltaik dizinin nominal kapasitesini bir başka ifadeyle standart test koşulları altında fotovoltaik dizinin çıkış gücünü (kW), I_T fotovoltaik dizinin dış yüzeyine gelen global güneş ışımasını (direkt ışıma ile dağınık ışımanın toplamı) (kW/m²), I_S standart test koşulları altında fotovoltaik dizinin üzerine gelen global güneş ışımasını (1 kW/m²), α_P gücün sıcaklık katsayısını (*temperature coefficient of power*) (%/°C), T_c fotovoltaik dizinin hücre sıcaklığını (°C) ve T_S ise standart test koşulları altında fotovoltaik dizinin hücre sıcaklığını (25 °C) tanımlar.

Eğer, fotovoltaik dizi üzerindeki sıcaklığın etkisi modellenmez ise HOMER, gücün sıcaklık katsayısının (*temperature coefficient of power*) (α_P) sıfır olduğunu varsayar ve dolayısıyla fotovoltaik dizinin çıkış gücünü aşağıdaki eşitliğin kullanımı ile hesaplar.

$$P_{PV} = f_{PV} Y_{PV} \left(\frac{I_T}{I_S} \right) \quad (5.2)$$

Bir fotovoltaik dizinin nominal kapasitesi (tepe kapasitesi), 25 °C'lik panel sıcaklığı ve 1 kW/m²'lik güneş ışıması değerlerini içeren standart test koşulları altında fotovoltaik dizinin üretebileceği enerji miktarıdır. HOMER'de bir fotovoltaik dizinin büyüklüğü daima nominal kapasite açısından belirtilir. Amorf silikondan yapılmış 40 W'lık bir modül (kısmen düşük verimliliğe sahip) çok kristalli silikondan yapılmış 40 W'lık bir modülden (kısmen yüksek verimliliğe sahip) daha büyük olacaktır fakat bu büyüklük farkı HOMER için önemsizdir.

Yılın her bir saati için, HOMER, fotovoltaik dizinin dış yüzeyine gelen global güneş ışımasını HDKR modelinin kullanımı ile hesaplar. Bu model, güneş kaynağının şimdiki değerini (yatay yüzey üzerine gelen global güneş ışıması), fotovoltaik dizinin oryantasyonunu, yeryüzü üzerindeki lokasyonu, yılın zamanını ve günün saatini dikkate alır. Fotovoltaik dizinin oryantasyonu sabit olabilir veya birkaç takip etme düzeninin bir tanesine göre değişebilir.

Azalma faktörü (*derating factor*), fotovoltaik panel üzerindeki tozların etkilerinin, kablo kayıplarının, yüksek sıcaklığın veya fotovoltaik dizi çıkışının beklenen ideal koşullardan sapmasına sebep olabilecek herhangi bir durumun hesaba katılacağı anlamına gelen bir ölçekleme faktörüdür.

Maksimum güç noktası (çıkış gücünün maksimuma çıkarıldığı noktadaki voltaj) güneş ışınımına ve sıcaklığa bağlıdır. Eğer fotovoltaik dizi bir da yüke veya bir bataryaya doğrudan bağlanır ise bu da yük veya batarya çoğu kez maksimum güç noktasından farklı bir voltaja maruz kalacak ve bu sebeple de sistemin performansı kötüye gidecektir. Fotovoltaik dizi ile sistemin geri kalan da elemanlarının arasına yerleştirilen bir maksimum güç noktası takipçisi (*Maximum Power Point Tracker, MPPT*) fotovoltaik dizinin voltajını sistemin geri kalan da elemanlarından ayıştıran bir katı hal aygıtıdır ve bu aygıt fotovoltaik dizinin voltajının daima maksimum güç noktasına eşit olmasını sağlar. HOMER, maksimum güç noktası takipçisinin sistemde etkin bir şekilde mevcut olduğunu varsayar.

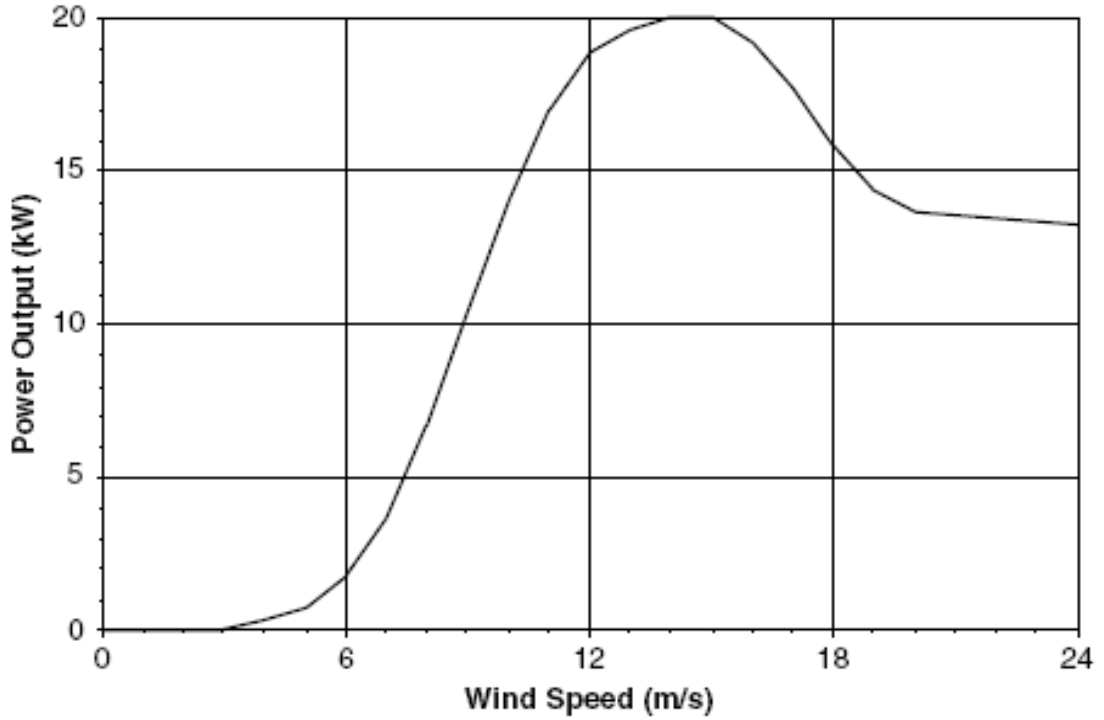
Fotovoltaik dizinin maliyetini tanımlamak için, kullanıcı, fotovoltaik dizinin başlangıç sermayesi maliyetini dolar biriminde, yenileme maliyetini dolar biriminde ve son olarak yıl başına işletme ve bakım maliyetini yine dolar biriminde belirtmelidir. Yenileme maliyeti, kullanıcının yıl olarak belirtebileceği fotovoltaik dizinin yaşam süresinin sonunda tamamen değiştirilen fotovoltaik dizinin maliyetidir. Varsayılan olarak yenileme maliyeti ile sermaye maliyeti birbirine eşittir fakat bu iki maliyet çeşitli sebeplerden dolayı farklılık gösterebilir.

5.5.3.2 Rüzgar türbini

HOMER, rüzgar türbinini, rotor göbeği yüksekliğindeki rüzgar hızına karşılık çıkış gücünün bir grafiği olan belirli bir güç eğrisine göre rüzgarın kinetik enerjisini aa veya da elektriğe dönüştüren bir aygıt olarak modeller. Şekil 5.12, örnek bir güç eğrisini gösterir. HOMER, güç eğrisinin, standart sıcaklık ve basınç koşullarına tekabül eden $1,225 \text{ kg/m}^3$ değerindeki standart hava yoğunluğunda uygulandığını varsayar.

HOMER, her bir saat için rüzgar türbininin çıkış gücünü dört adımdan oluşan bir süreçte hesaplar. İlk olarak, HOMER, rüzgar kaynağı verisine dayanarak her bir saat için rüzgar hızı ölçer aletin yüksekliğindeki ortalama rüzgar hızını belirler. İkinci olarak, HOMER, ya logaritmik yasanın yada güç yasasının kullanımı ile rüzgar türbininin rotor göbeği (*hub*) yüksekliğindeki rüzgar hızını hesaplar. Üçüncü olarak, HOMER, standart hava yoğunluğunu göz önünde tutarak rotor göbeği (*hub*) yüksekliğindeki bu rüzgar hızında rüzgar türbininin çıkış gücünü hesaplamak için bu rüzgar türbininin güç eğrisine başvurur. Dördüncü olarak ise, HOMER, bu çıkış gücü

değerini gerçek hava yoğunluğunun standart hava yoğunluğuna bir oranı olan hava yoğunluğu oranı ile çarpar. HOMER, bölge yüksekliğindeki hava yoğunluğu oranını Birleşik Devletler Standart Atmosferi'nin (*U.S. Standard Atmosphere*) kullanımı ile hesaplar. HOMER, hava yoğunluğu oranının yıl boyunca sabit olduğunu varsayar.



Şekil 5.12 : Örnek bir rüzgar türbini güç eğrisi.

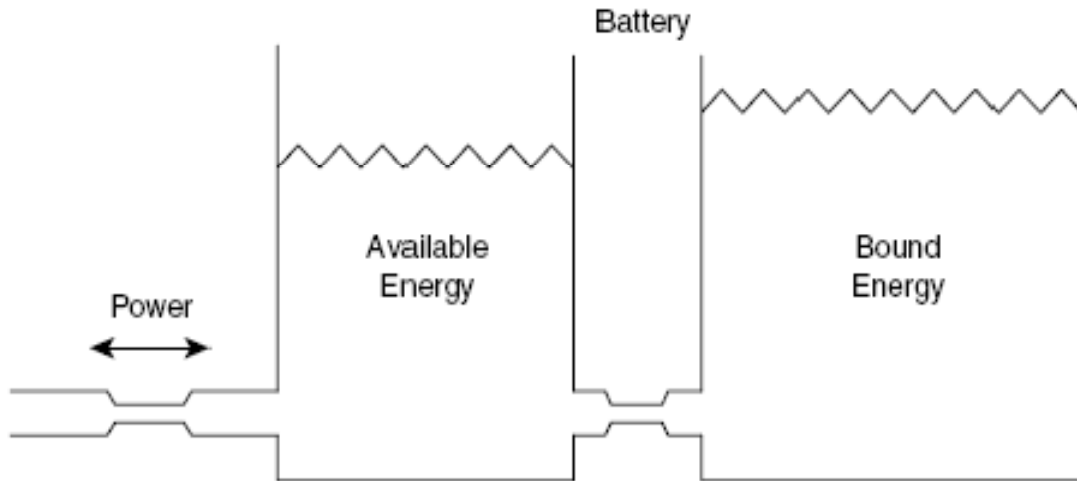
Rüzgar türbininin güç eğrisine ve rotor göbeği (*hub*) yüksekliğine ek olarak, kullanıcı, yıl olarak rüzgar türbininin beklenen yaşam süresini, dolar olarak ise rüzgar türbininin başlangıç sermayesi maliyetini, yenileme maliyetini ve yıllık işletme ve bakım maliyetini belirtmelidir.

5.5.3.3 Batarya grubu

Batarya grubu, bir veya daha fazla bataryanın bir araya getirilmesi ile oluşur. HOMER, tek bir bataryayı, batarya ne kadar çabuk şarj veya deşarj edilebilir, herhangi bir hasara sebep olmaksızın batarya ne kadar derin deşarj edilebilir ve bataryanın yenilenme ihtiyacından önce batarya boyunca ne kadar enerji dolanım yapabilir gibi durumlar odaklı sabit bir şarj-deşarj enerji verimliliğinde (*fixed round-trip energy efficiency*) da elektriğin belirli bir miktarını depolama yeteneğine sahip bir donanım olarak modeller. HOMER, bataryanın özelliklerinin bataryanın yaşam süresi boyunca sabit kaldığını ve sıcaklık gibi dış etkenlerden etkilenmediğini varsayar.

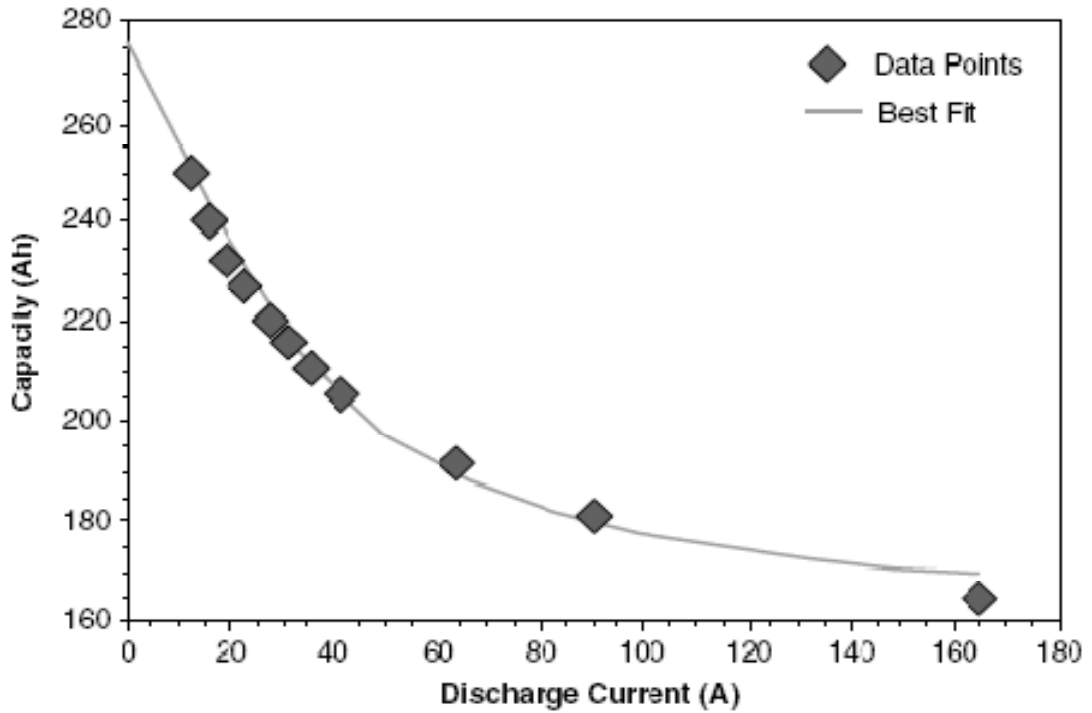
HOMER’de, bataryanın nominal gerilimi, kapasite eğrisi, yaşam süresi eğrisi, minimum şarj durumu ve şarj-deşarj verimliliği (*round-trip efficiency*) bataryanın başlıca fiziksel özellikleridir. Kapasite eğrisi, amper birimindedeşarj akımına karşılık ampersaat birimindedeşarj kapasitesini gösteren bir eğridir. Üreticiler, bu kapasite eğrisinin üzerindeki her bir noktayı, tamamen şarjlı bir bataryadan sabit bir akımda dışarıdeşarj edilebilen ampersaat miktarının ölçülmesi ile belirlerler. Kapasite, artandeşarj akımı ile azalır. Yaşam süresi eğrisi,deşarj derinliğine karşılık bataryanın dayanabildiğideşarj-şarj dolanımlarının sayısını gösteren bir eğridir. Bataryanın yetersizliğine kadarkideşarj-şarj dolanımlarının sayısı (*cycles to failure*), artandeşarj derinliği ile azalır. Minimum şarj durumu, kalıcı hasardan kaçınmak için bataryanın bu şarj durumunun altınadeşarj edilmemesi gereken bir şarj durumudur. Sistem simülasyonunda, HOMER, bataryanın bu limitten daha derinedeşarj olmasına izin vermez. Şarj-deşarj verimliliği, tekrar bataryadan geri çekilebilecek olan bataryada depolanan enerjinin yüzdesini belirtmektedir.

Bataryanın maksimum kabul edilebilir şarj veyadeşarj oranını hesaplamak için, HOMER, Şekil 5.13’de gösterildiğigibi bataryaya iki tanklı bir sistem gibi davranan kinetik batarya modelini kullanır. Kinetik batarya modeline göre, bataryanın enerji depolama kapasitesinin bir bölümü şarj veyadeşarj için hemen kullanılabilir durumdadır fakat geri kalan bölümü ise kimyasal olarak engellenir. Kullanılabilir enerji ve engellenen enerji arasındaki dönüştürme oranı iki tank arasındaki yükseklik farkına bağlıdır. Kullanılabilir tankın ve engellenen tankın birleştirilmiş büyüklüğü bataryanın maksimum kapasitesini oluşturmaktadır. Kapasite oranı, kullanılabilir tankın büyüklüğünün iki tankın birleştirilmiş büyüklüğüne oranıdır.



Şekil 5.13 : Kinetik batarya modeli kavramı.

Kinetik batarya modeli, Şekil 5.14’de gösterilen örnek gibi tipik bir batarya kapasite eğrisinin biçimini açıklamaktadır. Yüksek deşarj oranlarında kullanılabilir tank hızlı bir şekilde boşalır ve kullanılabilir tank tamamen boşalmadan önce engellenen enerjinin çok az bir kısmı kullanılabilir enerjiye dönüştürülebilir, bu andan itibaren ise batarya yüksek deşarj oranına daha fazla dayanamayabilir ve tamamen deşarj olmuş halde görünür. Daha yavaş deşarj oranlarında daha fazla engellenen enerji kullanılabilir tank tamamen boşalmadan önce kullanılabilir enerjiye dönüştürülebilir ve bu sebeple de görünür kapasite artmaktadır. HOMER, kinetik batarya modelinin üç parametresini hesaplamak için bataryanın deşarj eğrisi üzerinde bir eğri uydurma işlemi gerçekleştirir. Şekil 5.14’de bulunan *best fit* çizgisi bu eğri uydurmaya karşılık gelmektedir.

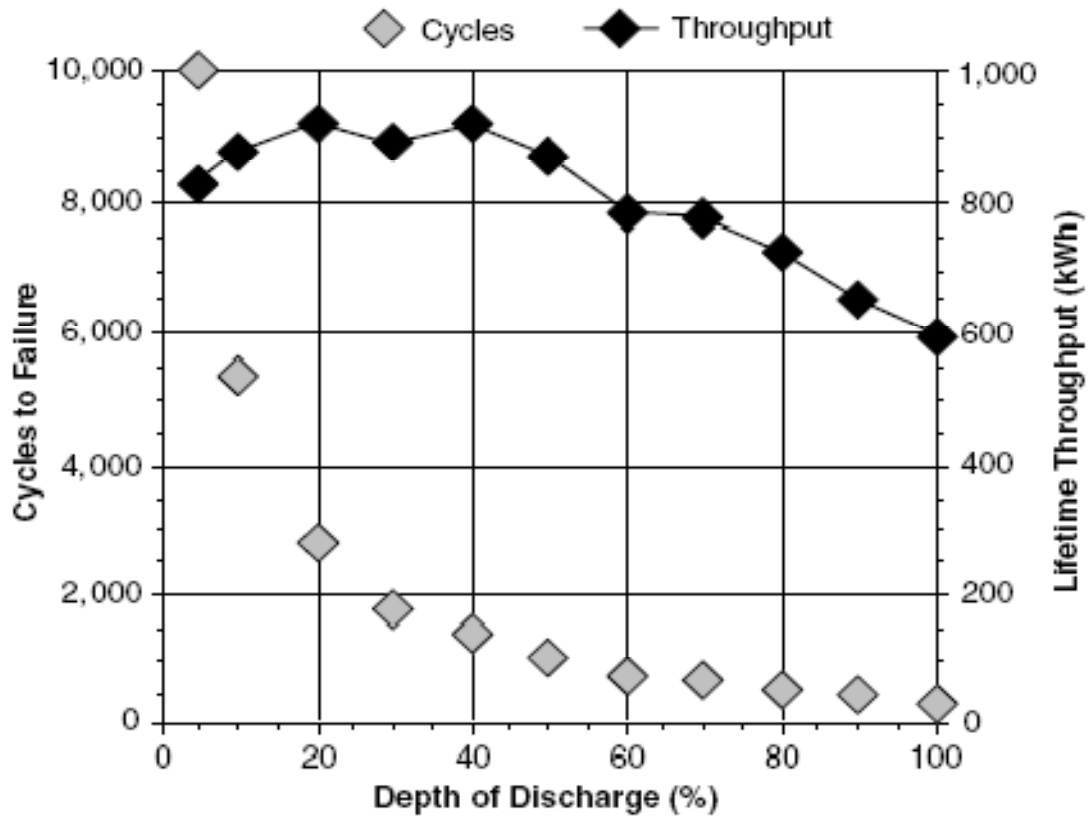


Şekil 5.14 : Batarya kapasite eğrisi.

Bataryayı tek tanklı bir sistem yerine iki tanklı bir sistem olarak modellemek iki etkiye sahiptir. İlk etki, bataryanın birdenbire tamamen şarj veya deşarj edilemeyeceği ve tam bir şarjın asimptotik olarak sifıra yaklaşan bir şarj akımında sonsuz bir zaman miktarı gerektireceği anlamına gelmektedir. İkinci etki, bataryanın şarj ve deşarj olabilmesinin sadece bataryanın şimdiki şarj durumuna bağlı olmadığı bundan başka bataryanın yakın zamandaki şarj ve deşarj geçmişlerine de bağlı olduğu anlamına gelmektedir. Hızlı bir şekilde %80 şarj durumuna şarj edilmiş bir batarya hızlı bir şekilde %80’e deşarj edilmiş aynı bataryadan daha yüksek bir deşarj

oranına sahip olabilecektir çünkü bu bataryanın kullanılabilir tankı diğer aynı bataryanın kullanılabilir tankına göre daha yüksek bir seviyeye sahip olacaktır. HOMER, iki tanktaki seviyeleri her bir saat takip eder ve etkilerin her ikisini de modeller.

Şekil 5.15, tipik bir batarya yaşam süresi eğrisini göstermektedir. Bataryanın yetersizliğine kadarki deşarj-şarj dolanımlarının sayısı (*cycles to failure*), artan deşarj derinliği ile keskin bir şekilde azalmaktadır. Bu eğri üzerindeki her bir nokta için yaşam süresinceki enerji miktarı (*lifetime throughput*) (bataryanın yetersizliğinden önce batarya boyunca dolanım yapan enerji miktarı), dolanım sayısının, deşarj derinliğinin, bataryanın nominal voltajının ve bataryanın maksimum kapasitesinin çarpımının bulunması ile hesaplanabilir. Şekil 5.15’de siyah benekler olarak görülen yaşam süresinceki enerji miktarı eğrisi (*lifetime throughput curve*), çok daha zayıf bir deşarj derinliği bağımlılığını göstermektedir. HOMER, yaşam süresinceki enerji miktarının deşarj derinliğinden bağımsız olduğu varsayımını yapmaktadır. HOMER’in yaşam süresinceki enerji miktarı için önerdiği değer minimum şarj durumu üzerindeki yaşam süresi eğrisi üzerinde bulunan noktaların ortalamasıdır fakat kullanıcı, bu değeri, daha fazla veya daha az ölçülü olması için değiştirebilir.



Şekil 5.15 : Batarya yaşam süresi eğrisi.

Yaşam süresinceki enerji miktarının deşarj derinliğinden bağımsız olduğu varsayımı, çeşitli şarj-deşarj dolanımlarının derinlikleri dikkate alınmak zorunda olunmaksızın batarya grubu boyunca dolanım yapan enerji miktarının izlenmesi ile HOMER'in batarya grubunun yaşam süresini basit bir şekilde tahmin edebileceği anlamını taşımaktadır. HOMER, yıl olarak batarya grubunun yaşam süresini aşağıdaki eşitliğin kullanımı ile hesaplar.

$$R_{batt} = \min \left(\frac{N_{batt} Q_{lifetime}}{Q_{thrpt}}, R_{batt,f} \right) \quad (5.3)$$

Bu eşitlikte, N_{batt} batarya grubunda bulunan bataryaların sayısını, $Q_{lifetime}$ tek bir bataryanın yaşam süresinceki enerji miktarını, Q_{thrpt} yıllık enerji miktarını (bir sene içerisinde batarya grubu boyunca dolanım yapan toplam enerji miktarı) ve $R_{batt,f}$ bataryanın bekleme konumunda yaşam süresini (dolanım yapan enerji miktarına bakılmaksızın maksimum yaşam süresi) tanımlamaktadır.

Kullanıcı, dolar olarak batarya grubunun sermaye maliyetini, yenileme maliyetini ve yıl başına işletme ve bakım maliyetini belirtmelidir. Batarya grubunun istenildiğinde kullanılabilen (*dispatchable*) bir enerji kaynağı olması sebebiyle, HOMER, diğer istenildiğinde kullanılabilen (*dispatchable*) enerji kaynakları ile karşılaştırma yapabilmek için batarya grubunun sabit enerji maliyetini ve marjinal enerji maliyetini hesaplamaktadır. Jeneratörün aksine batarya grubunu işletme ile ilgili herhangi bir maliyet yoktur ve bu nedenle batarya grubunun sabit enerji maliyeti sıfırdır. Batarya grubunun marjinal enerji maliyeti için, HOMER, bataryanın aşınma maliyetinin (batarya grubu boyunca dolanım yapan enerjinin kilowattsaaati başına maliyet) ve bataryanın enerji maliyetinin (batarya grubunda depolanan enerjinin ortalama maliyeti) toplamını kullanmaktadır. HOMER, bataryanın aşınma maliyetini aşağıdaki eşitliğin kullanımı ile hesaplar.

$$C_{bw} = \frac{C_{rep,batt}}{N_{batt} Q_{lifetime} \sqrt{\eta_{rt}}} \quad (5.4)$$

Bu eşitlikte, $C_{rep,batt}$ dolar olarak batarya grubunun yenilenme maliyetini, N_{batt} batarya grubunda bulunan bataryaların sayısını, $Q_{lifetime}$ tek bir bataryanın yaşam süresinceki enerji miktarını (kWh) ve η_{rt} şarj-deşarj verimliliğini tanımlamaktadır.

HOMER, simülasyonun her bir saati için batarya enerji maliyetini, batarya grubunu şarj etmenin o güne kadarki toplam maliyetinin batarya grubuna aktarılan o güne

kadarki toplam enerji miktarına bölünmesi ile hesaplamaktadır. Bir *dispatch* stratejisi olan *load following* stratejisi altında batarya grubu yalnızca üretim fazlası elektrik tarafından şarj edilir, bu sebeple batarya grubunu şarj etmek ile ilgili maliyet daima sıfırdır. Ancak yine bir *dispatch* stratejisi olan *cycle charging* stratejisi altında ise batarya grubunu şarj etme özel amacı için bir jeneratör ekstra elektrik üretecektir (ve bu nedenle fazladan yakıt tüketecektir), bu sebeple batarya grubunu şarj etmek ile ilgili maliyet sıfır olmayacaktır. *Dispatch* stratejileri, fiziksel modelleme bölümünde yer alan sistem *dispatch* alt bölümünde daha ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.

5.5.3.4 Şebeke

HOMER, şebekeyi, mikro enerji sisteminin bu şebekeden aa elektrik satın alabileceği ve bu şebekeye aa elektrik satabileceği bir eleman olarak modellemektedir. Şebekeden satın alınan enerjinin maliyeti, faturalama döneminde satın alınan enerji miktarına dayalı enerji bedelini (*energy charge*) ve faturalama dönemi içerisinde maksimum talebe dayalı kapasite bedelini (*demand charge*) içerebilir. HOMER, *grid power price* terimini şebekeden satın alınan enerji için elektrik şirketinin talep ettiği ücrete yönelik olarak (kilowattsaat başına dolar) ve *demand rate* terimini ise maksimum şebeke enerjisi talebi için elektrik şirketinin talep ettiği ücrete yönelik olarak (ay başına kilowatt başına dolar) kullanmaktadır. Üçüncü bir terim olan *sellback rate* terimi ise şebekeye satılan enerji için elektrik şirketinin ödediği ücreti (kilowattsaat başına dolar) belirtmektedir.

HOMER kullanıcısı, her biri farklı *grid power price*, *demand rate* ve *sellback rate* değerlerine sahip olabilecek maksimum 16 ayrı oranı tanımlayabilir ve programlayabilir. Oranların programlanması, aya, günün saatine ve hafta içine/hafta sonuna göre değişiklik gösterebilir. Örneğin, HOMER, Temmuz ve Ağustos'da hafta içlerinin öğleden sonraları pahalı bir oranın, Haziran ve Eylül'de hafta içlerinin öğleden sonraları ve Haziran'dan Eylül'e kadar hafta sonlarının öğleden sonraları orta düzeyli bir oranın ve diğer tüm zamanlarda pahalı olmayan bir oranın uygulandığı bir durumu modelleyebilir.

HOMER, ayrıca, faturalama dönemi boyunca net şebeke satın alımlarına dayalı olarak (satışların satın alımlardan çıkarılması) sayesinde elektrik şirketinin müşteriden ücret talep edebildiği bir fatura anlaşması olan *net metering* terimini de modelleyebilir. *Net metering* altında eğer faturalama dönemi boyunca satın alımlar

satışları geçiyor ise tüketici, elektrik şirketine, net şebeke satın alımlarının (*net grid purchases*) şebeke enerji maliyeti (*grid power cost*) ile çarpılması sonucu oluşacak bir miktarda ücret ödemesi gerçekleştirir. Eğer faturalama dönemi boyunca satışlar satın alımları geçiyor ise elektrik şirketi, tüketiciye, net şebeke satışlarının (*net grid sales*) (satın alımların satışlardan çıkarılması) *sellback rate* değeri ile çarpılması sonucu oluşacak bir miktarda ücret ödemesi gerçekleştirir. Faturalama dönemi, bir ay veya bir sene olabilir. *Net metering*'in birden çok orana uygulandığı olağan olmayan bir durumda, HOMER, net şebeke satın alımlarını (*net grid purchases*) her bir oran için ayrı ayrı takip eder.

İki değişken, enerjiyi iletmek ve enerjiyi almak için şebekenin kapasitesini tanımlamaktadır. Maksimum enerji satışı (*maximum power sale or sale capacity*), enerji sisteminin şebekeye enerji satabildiği maksimum oranı tanımlamaktadır. Eğer elektrik şirketi enerjinin geri satışına izin vermiyor ise kullanıcı bu değeri sıfır olarak belirlemelidir. Maksimum şebeke kapasitesi (*maximum grid demand or purchase capacity*), şebekeden alınabilen maksimum enerji miktarını tanımlamaktadır. Ayrıca, maksimum şebeke kapasitesi, kapasite bedellerinin etkilerinden dolayı HOMER'de bir karar değişkeni olarak tanımlanmaktadır. HOMER, enerji sistemini nasıl kontrol edeceği konusunda saatten saate olan kararlarında *demand rate*'i dikkate almamakta ve her bir simülasyonun sonunda kapasite bedelini (*demand charge*) basit bir şekilde hesaplamaktadır. Sonuç olarak, şebeke bağlantılı bir jeneratör modellenirken HOMER kapasite bedellerini korumak için jeneratörü etkinleştirmeyecektir. Fakat, yük maksimum şebeke kapasitesini her aştığında HOMER jeneratörü etkinleştirecektir. Bu sebeple, maksimum şebeke kapasitesi sistemin çalışmasını ve ekonomisini etkileyen bir kontrol parametresi gibi davranmaktadır. Çünkü, maksimum şebeke kapasitesi bir karar değişkeni olup kullanıcı bunun için birden çok değer girebilir ve HOMER bu birden çok değer arasından optimum olanını bulabilir.

Kullanıcı, ayrıca, şebekeden enerji alımının sonucu olan altı adet kirletici maddenin emisyonlarının ve şebekeye enerji satışının sonucu olan altı adet kirletici maddenin önüne geçilen emisyonlarının hesaplanması için şebeke emisyonları katsayılarını (*grid emissions coefficients*) belirtebilir. Her bir şebeke emisyonu katsayısı, tüketilen şebeke elektriğinin kilowattsaati başına yayılan kirletici maddenin gramı (g/kWh) birimine sahiptir.

HOMER, şebekenin sabit enerji maliyetini ve marjinal enerji maliyetini hesaplar çünkü şebeke istenildiğinde kullanılabilen (*dispatchable*) bir enerji kaynağıdır. Şebekenin sabit enerji maliyeti sıfırdır, marjinal enerji maliyeti ise şebeke enerjisi fiyatı (*grid power price*) ile emisyon cezalarından kaynaklanan maliyetin toplamına eşittir. Uygulanabilir oran değiştikçe şebeke enerjisi fiyatı saatten saate değişebilir, bu sebeple şebekenin marjinal enerji maliyeti de saatten saate değişebilir. Bu durum, HOMER'in sistem davranış simülasyonu üzerinde önemli etkilere sahip olabilir. Örneğin, HOMER, şebeke enerjisinin maliyeti jeneratör enerjisinin maliyetini aştığı zaman yüksek şebeke enerjisi fiyatı zamanları boyunca sadece bir jeneratörü çalıştırmayı seçebilir.

5.5.3.5 Dönüştürücü

Dönüştürücü, elektrik enerjisini evirme (*inversion*) olarak adlandırılan bir işlem ile da'dan aa'ya ve/veya doğrultma (*rectification*) olarak adlandırılan bir işlem ile aa'dan da'ya dönüştüren bir donanımdır. HOMER, *solid-state* ve *rotary* olmak üzere iki dönüştürücü çeşidini modelleyebilir. Bir karar değişkeni olan dönüştürücü büyüklüğü, da enerjisinin evirilmesi ile donanımın üretebildiği maksimum aa enerji miktarı anlamına gelen evirici kapasitesini (*inverter capacity*) belirtmektedir. Kullanıcı, aa enerjisinin doğrultulması ile donanımın üretebildiği maksimum da enerji miktarı anlamına gelen doğrultucu kapasitesini (*rectifier capacity*) evirici kapasitesinin bir yüzde değeri olarak belirtebilir. Bu sebeple, doğrultucu kapasitesi ayrı bir karar değişkeni değildir. HOMER, evirici ve doğrultucu kapasitelerinin donanımın sadece kısa bir zaman periyodu için dayanabildiği *surge* kapasiteler değil, donanımın gerektiği sürece dayanabildiği *continuous* kapasiteler olduklarını varsaymaktadır.

HOMER kullanıcısı, eviricinin jeneratör veya şebeke gibi başka bir aa enerji kaynağı ile paralel olarak çalışıp çalışmayacağını belirtebilir. Bunu yapmak, bazı eviricilerin sahip olmadığı bir yetenek olan eviriciyi aa frekansa senkronize etme işlemi gerektirmektedir. Dönüştürücünün son fiziksel özellikleri, HOMER'in sabit olarak varsaydığı evirme ve doğrultma verimleridir. Dönüştürücünün ekonomik özellikleri ise, dolar olarak sermaye maliyeti, yenileme maliyeti, yıl başına işletme ve bakım maliyeti ve yıl olarak beklenen yaşam süresidir.

5.5.4 Sistem dispatch

Her bir elemanın davranışının modellenmesine ek olarak, HOMER, bu elemanların bir sistem olarak birlikte nasıl çalıştıklarını da simüle etmelidir. Bu durum, hangi jeneratörler hangi güç seviyesinde çalışmalı, bataryaların şarj veya deşarj edilip edilmeyeceği ve şebekeden enerji satın alınıp alınmayacağı veya şebekeye enerji satılıp satılmayacağı hususlarında saat be saat kararlar gerektirir.

5.5.4.1 Çalışma rezervi

Çalışma rezervi (*operating reserve*), elektrik yükündeki ve yenilenebilir enerji kaynağındaki değişkenliğe rağmen güvenilir elektrik arzının sürdürülmesini sağlayan bir güvenlik payı oluşturur. Aslında, her gerçek mikro enerji sistemi daima biraz çalışma rezervi miktarı sağlamalıdır çünkü aksi durumda elektrik yükü bazen sistemin çalışma kapasitesinin üzerinde dalgalanacak ve bu sebeple bir kesinti meydana gelecektir.

Herhangi belirli bir anda enerji sisteminin sağladığı çalışma rezervi miktarı, elektrik yükünün çalışma kapasitesinden çıkarılması ile elde edilen değere eşittir. Örneğin, 80 kW büyüklüğünde bir dizel jeneratörün elektrik yükünü beslediği basit bir dizel sistemi göz önüne alalım. Bu sistemde, eğer yük 55 kW büyüklüğünde ise dizel jeneratör 55 kW büyüklüğünde elektrik üretecek ve 25 kW büyüklüğünde çalışma rezervi sağlayacaktır. Başka bir ifadeyle, yük birdenbire 25 kW büyüklüğünde artsa bile sistem yükü besleyebilecektir. HOMER’de, modelci gerekli olan çalışma rezervi miktarını belirtebilir ve HOMER, en azından bu miktarda bir çalışma rezervi sağlayacak şekilde sistemi simüle eder.

Her bir saat için, HOMER, gerekli olan çalışma rezervi miktarını bu saatteki birincil yükün, yıllık azami birincil yükün, bu saatteki fotovoltaik güç çıkışının ve bu saatteki rüzgar güç çıkışının belirli oranlarının toplamı olarak hesaplar. Modelci, kısa bir periyotta yükün veya yenilenebilir güç çıkışının tahmini olarak ne kadar dalgalanacağını ve sistemin çalışmasını nasıl planladığını göz önünde tutarak bu oranları belirtebilir. Çok daha değişken yük ve yenilenebilir güç çıkışı içeren ve çok daha ihtiyatlı bir şekilde çalışması gereken bir sistemde, modelci çok daha yüksek oranlar belirtmelidir. HOMER, farklı güvenilirlik seviyelerine erişmek amacıyla gerekli olan çalışma rezervi miktarını belirlemek için herhangi bir girişimde

bulunmaz sadece her bir saat için sistemin sağlamak zorunda bırakıldığı çalışma rezervi miktarını hesaplamak için modelcinin tanımlamalarını kullanır.

HOMER, gerekli olan çalışma rezervi miktarını hesaplar hesaplamaz en azından bu miktarda bir çalışma rezervi sağlayacak şekilde sistemi çalıştırmak için girişimde bulunur. Çalışma rezervini göz önünde tutmaksızın bunu yapmak, sistemi gerekli olduğundan daha farklı bir şekilde (daha yüksek bir maliyette) çalıştırmayı gerektirebilir. Örneğin, kullanıcının, gerekli olan çalışma rezervi miktarını saatlik yükün yüzde 10'unun ve rüzgar güç çıkışının yüzde 50'sinin toplamı olarak tanımladığı bir rüzgar-dizel sistemini göz önüne alalım. Bu sistemde, yük birdenbire %10 artsa ve rüzgar güç çıkışı birdenbire %50 azalsa bile HOMER çalışan jeneratörler ile yükü beslemeye devam edebilir. Yine bu sistemde, yükün 140 kW büyüklüğünde ve rüzgar güç çıkışının 80 kW büyüklüğünde olduğu bir saatte gerekli olan çalışma rezervi miktarı 54 kW (14 kW+40 kW) büyüklüğünde olacaktır. Bu sebeple, dizel jeneratörler, çalışma kapasitesinin en azından 114 kW büyüklüğünde olması için 60 kW büyüklüğünde elektrik ve 54 kW büyüklüğünde çalışma rezervi sağlamalıdır. Eğer çalışma rezervi göz önünde tutulmazsa, HOMER, 60 kW büyüklüğünde bir dizel jeneratörün yeterli olacağını varsayacaktır.

HOMER, hem istenildiğinde kullanılabilen (*dispatchable*) hem de istenildiğinde kullanılamayan (*nondispatchable*) enerji kaynaklarının çalışma kapasitesi sağladıklarını varsayar. İstenildiğinde kullanılabilen (*dispatchable*) bir enerji kaynağı üretebildiği maksimum enerji miktarına eşit bir miktarda çalışma kapasitesi sağlar. Bir jeneratör için bu değer, eğer jeneratör çalışıyorsa jeneratörün nominal kapasitesine eğer jeneratör çalışmıyorsa sıfıra eşittir. Şebeke için bu değer, maksimum şebeke kapasitesine (*maximum grid demand*) eşittir. Batarya için ise bu değer, şarj durumuna ve yakın zamandaki şarj-deşarj geçmişine bağlı olan bataryanın o andaki maksimumdeşarj enerjisine eşittir. İstenildiğinde kullanılabilen (*dispatchable*) enerji kaynaklarının aksine istenildiğinde kullanılamayan (*nondispatchable*) bir enerji kaynağının (fotovoltaik dizi, rüzgar türbini, hidro türbin) çalışma kapasitesi, bu kaynağın üretebildiği maksimum enerji miktarına değil o andaki ürettiği enerji miktarına eşittir.

Pek çok şebeke bağlantılı sistem için çalışma rezervi kavramı sistemin çalışması üzerinde bir etkiye sahip değildir çünkü genellikle şebeke kapasitesi gerekli olan çalışma rezervi miktarını karşılamak için fazlasıyla yeterlidir. Çalışma kapasitesi

sağlamak için etkinleştirilmek zorunda olan ve sabit maliyetlere de maruz kalan jeneratörün aksine şebeke her zaman çalışır durumdadır ve bu sebeple şebekenin kapasitesi (genellikle yüke nazaran çok daha büyük) sistem için daima kullanılabilir. Benzer şekilde, çalışma rezervi büyük batarya gruplarına sahip olan bağımsız sistemler üzerinde genellikle sıfır veya küçük bir etkiye sahiptir çünkü batarya kapasitesi sistem için sıfır sabit maliyetle daima kullanılabilir. Bütün bunlara rağmen, HOMER, bu gibi sistemler için yine de çalışma rezervini hesaplar ve takip eder.

Eğer bir sistemin yükü beslemeye ve gerekli olan çalışma rezervini sağlamaya gücü yetmez ise, HOMER, bu eksikliği kapasite eksikliği (*capacity shortage*) olarak kaydeder. HOMER, bu gibi eksikliklerin toplam miktarını bir yıl üzerinden hesaplar ve kapasite eksikliği oranını bulmak için ise toplam yıllık kapasite eksikliğini toplam yıllık elektrik yüküne böler. Modelci, izin verilebilir maksimum yıllık kapasite eksikliği oranını belirtebilir. HOMER, kapasite eksikliği oranı bu kısıtlamayı aşan herhangi bir sistemi mümkün olmayan olarak seçim dışı bırakır.

5.5.4.2 İstenildiğinde kullanılabilen (dispatchable) sistem elemanlarının kontrolü

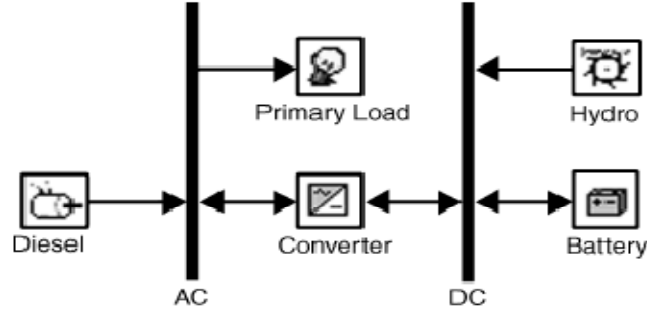
Yılın her bir saati için, HOMER, istenildiğinde kullanılamayan (*nondispatchable*) yenilenebilir enerji kaynaklarının kendi başlarına elektrik yükünü besleyebilme, gerekli olan çalışma rezervini sağlayabilme ve termal yükü besleyebilme gücüne sahip olup olmayacaklarını belirler. Eğer istenildiğinde kullanılamayan (*nondispatchable*) yenilenebilir enerji kaynakları bu güce sahip değilse, HOMER, yükleri beslemek ve gerekli olan çalışma rezervini sağlamak için istenildiğinde kullanılabilen (*dispatchable*) enerji kaynaklarının (jeneratör, batarya grubu, şebeke, buhar kazanı) nasıl en iyi şekilde kullanılacağını belirler. Her bir saat için istenildiğinde kullanılabilen (*dispatchable*) enerji kaynaklarının nasıl kullanılacağını belirlenmesi işlemi HOMER'in simülasyon mantığının en karmaşık kısmıdır. İstenildiğinde kullanılamayan (*nondispatchable*) yenilenebilir enerji kaynakları karmaşık sistem modellemesi gerektirmelerine rağmen kendilerini modellemek oldukça basittir çünkü kontrol mantığı gerektirmezler ve elde edilebilir yenilenebilir kaynağa doğrudan karşılık olarak basit bir şekilde enerji üretirler. İstenildiğinde kullanılabilen (*dispatchable*) enerji kaynaklarını modellemek ise çok

daha zordur çünkü bunlar, yenilenebilir enerji kaynaklarının sürekli olmayışını telafi etmek ve düzgün bir şekilde arz ve talebi dengelemek için kontrol edilmek zorundadırlar.

HOMER'in izlediği temel prensip maliyetin minimize edilmesidir. HOMER, her bir istenildiğinde kullanılabilen (*dispatchable*) enerji kaynağının ekonomisini saat başına dolar biriminde sabit maliyet ve kilowattsaat başına dolar biriminde enerjinin marjinal maliyeti olmak üzere iki değer ile temsil eder. Bu değerler, herhangi bir saatte herhangi bir enerji kaynağı ile enerji üretimi ile ilgili tüm maliyetleri temsil ederler. Bu maliyet değerlerinin kullanımı ile, HOMER, en düşük maliyette elektrik yükünü besleyebilen, gerekli olan çalışma rezervini sağlayabilen ve termal yükü besleyebilen istenildiğinde kullanılabilen (*dispatchable*) enerji kaynaklarının kombinasyonunu arar. Yükleri besleyebilmek ve çalışma rezervi miktarını sağlayabilmek HOMER'de en önemli durumdur ve bu durum, kapasite eksikliğinden kaçınmak için HOMER'in herhangi bir maliyeti kabul edeceği anlamına gelir. Fakat, yükleri eşit olarak besleyebilen istenildiğinde kullanılabilen (*dispatchable*) enerji kaynaklarının kombinasyonları arasından, HOMER, bunu en düşük maliyette yapan bir kombinasyonu seçer.

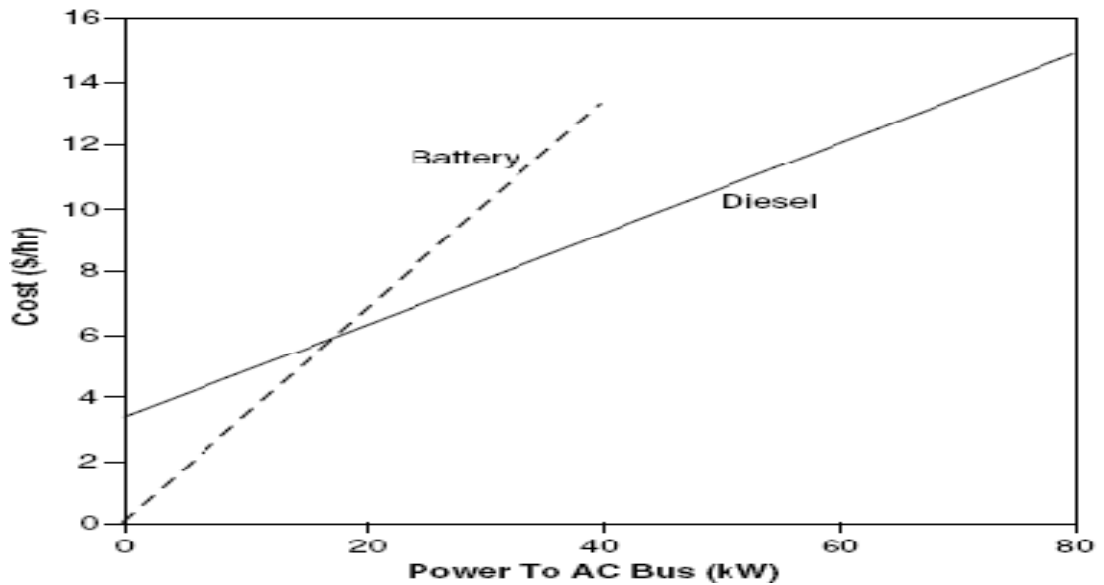
Örneğin, Şekil 5.16'da gösterilen hidro-dizel-batarya sistemini göz önüne alalım. Bu sistem, batarya grubu ve dizel jeneratör olmak üzere iki adet istenildiğinde kullanılabilen (*dispatchable*) enerji kaynağı içerir. Net yük her negatif olduğunda (hidro türbinin çıkış gücü yükü beslemek için yeterli olduğunda), üretim fazlası enerji batarya grubunu şarj eder. Fakat net yük her pozitif olduğunda, sistem, yükü beslemek için ya dizel jeneratörü çalıştırmalı ya bataryayı deşarj etmeli yada her ikisini de gerçekleştirmelidir. Bu üç alternatifin arasından yapılacak olan seçimde, HOMER, her bir kaynağın aa net yükü besleyebilme ve gerekli olan çalışma rezervini sağlayabilme yeteneğini ve bunları gerçekleştirmesinin maliyetini dikkate alır. Eğer dizel jeneratör çalışmaz duruma programlanırsa veya dizel jeneratörün yakıtı tükenirse bu dizel jeneratör aa yüke enerji sağlayabilme yeteneğine sahip olamaz. Aksi takdirde, bu dizel jeneratör kendi nominal kapasitesine kadarki herhangi bir aa enerji miktarını sağlayabilir. Bataryanın aa yükü besleyebilme ve çalışma rezervi miktarını sağlayabilme yeteneği, bataryanın o anki deşarj kapasitesi (bataryanın şarj durumuna ve yakın zamandaki şarj-deşarj geçmişine bağlıdır) ve aa-da dönüştürücünün verimi ve kapasitesi tarafından kısıtlanır. Eğer hem batarya grubu

hem de dizel jeneratör net yükü besleyebilme ve çalışma rezervi miktarını sağlayabilme gücüne sahip ise, HOMER, bunların sabit enerji maliyetlerine ve marjinal enerji maliyetlerine dayanarak hangisinin kullanılacağına karar verir.



Şekil 5.16 : Hidro-dizel-batarya sistemi.

Şekil 5.17, dizel jeneratör kapasitesinin 80 kW büyüklüğünde olduğu ve bataryanın aa baraya dönüştürme kayıplarından sonra 40 kW büyüklüğüne kadar enerji sağlayabildiği olası bir maliyet senaryosunu gösterir. Bu senaryo, bataryanın marjinal enerji maliyetinin dizel jeneratörün marjinal enerji maliyetini geçmesi bakımından tipik bir örnektir. Fakat dizel jeneratörün sabit maliyetinden dolayı, batarya, küçük aa enerji miktarlarını dizel jeneratörden daha ucuza sağlayabilir. Böyle bir durumda, kesişme noktası 20 kW civarında olacaktır. Bu sebeple eğer net yük 20 kW değerinden daha az olur ise, HOMER, bataryanın deşarj edilmesi yolu ile yükü besleyecektir. Eğer net yük 20 kW değerinden daha büyük ise, HOMER, batarya yükü besleyebilme gücüne sahip olsa bile bataryanın yerine jeneratör ile yükü besleyecektir.



Şekil 5.17 : Enerji maliyeti karşılaştırması.

HOMER, sistem konfigürasyonuna bakılmaksızın aynı maliyet-temelli *dispatch* mantığı kullanır. Birden çok jeneratör içeren bir sistem simüle edilirken, HOMER, yükü çok daha ucuza besleyebilen ve gerekli olan çalışma rezervi miktarını çok daha ucuza sağlayabilen jeneratörlerin kombinasyonunu seçecektir. Hem ısı hem de elektrik sağlayan şebeke bağlantılı bir mikrotürbin simüle edilirken ise, HOMER, bir buhar kazanı ile ısı üreten ve şebekeden elektrik satın alan alternatifine nazaran her çalıştırıldığında tasarruf edecek bir mikrotürbini kullanacaktır.

HOMER'in simülasyonu, sistem denetleyicisinin toplam yaşam döngüsü maliyetini minimize edecek bir şekilde sistemi çalıştıracağına HOMER tarafından varsayılması altında idealize edilir halbuki gerçek bir sistem denetleyicisi bunu gerçekleştiremeyebilir. Fakat, HOMER'in “ekonomik olarak optimum” kriteri, sayesinde farklı sistem konfigürasyonlarının karşılaştırıldığı kullanışlı bir referans hattı vazifesi görür.

5.5.4.3 Dispatch strateji

Önceki bölümde tanımlanan ekonomik *dispatch* mantığı yükleri beslemek için enerjinin üretimini yönetir ve bu nedenle HOMER'in modellediği tüm sistemlere uygulanır. Fakat, hem bir batarya grubu hem de bir jeneratör içeren sistemler için jeneratörün batarya grubunu şarj edip etmeyeceği ve şarj edecek ise nasıl şarj edeceği olan sistem çalışmasının ekstra bir yönü ortaya çıkar. Batarya şarj etme mantığı basit ekonomik prensipler üzerine dayandırılmaz çünkü batarya grubunu şarj etme değerini hesaplamak için deterministik bir yol yoktur. Herhangi bir saatte bataryayı şarj etme değeri ileriki saatlerde ne olacağına bağlıdır. Örneğin, bir rüzgar-dizel-batarya sisteminde, batarya grubunu bir saat dizel jeneratör enerjisi ile şarj etmek sonradan gelen bazı saatlerde dizel jeneratörün çalıştırılmasını önlemek için sisteme izin veriyor ise bunu gerçekleştirmek oldukça değerli olacaktır. Fakat, sistem sonradan gelen saatlerde batarya grubunu tamamen şarj etmek için gereğinden çok daha fazla rüzgar enerjisine maruz kalıyor ise batarya grubunu bir saat dizel jeneratör enerjisi ile şarj etmek hiç de değerli olmayacaktır. Bu durumda, batarya grubuna aktarılan herhangi bir dizel jeneratör enerjisi boşa harcanmış olacaktır çünkü rüzgar enerjisi zaten batarya grubunu tamamen şarj ediyor olacaktır.

Optimum batarya şarj etme stratejisini belirlemek için anlaşılması güç olasılık mantığını kullanmak yerine HOMER iki basit strateji sağlamaktadır ve kullanıcının

herhangi belirli bir durumda hangisinin daha iyi olduğunu görmesi için bunların her ikisinin de modellenmesine izin vermektedir. Bu *dispatch* stratejileri *load following* ve *cycle charging* olarak adlandırılırlar. *Load following* stratejisi altında, jeneratör yükü beslemek için sadece yeterli derecede enerji üretir ve batarya grubunu şarj etmez. *Load following* stratejisi, yenilenebilir enerji miktarı yüksek olan sistemlerde optimum olma eğilimini gösterir. *Cycle charging* stratejisi altında, jeneratör her çalışmaya başladığında kendisinin maksimum nominal kapasitesinde çalışır ve üretim fazlası elektrik enerjisi ile batarya grubunu şarj eder. *Cycle charging* stratejisi, yenilenebilir enerji miktarı düşük olan veya hiç olmayan sistemlerde optimum olma eğilimini gösterir. HOMER, *dispatch* stratejiye bir karar değişkeni olarak davranır ve modelci belirli bir durumda hangi stratejinin optimum olduğunu belirlemek için her iki stratejiyi de kolaylıkla simüle edebilir.

Dispatch strateji, her bir saat hangi istenildiğinde kullanılabilen (*dispatchable*) enerji kaynaklarının çalışacağı konusunda önceki bölümde tanımlanan kararları etkilemez. Eğer *load following* stratejisi uygulanırsa, belirli bir saatte HOMER'in çalıştırmak için seçtiği jeneratörler yükü beslemek için sadece yeterli derecede enerji üreteceklerdir. Eğer *cycle charging* stratejisi uygulanırsa, bu jeneratörler kendilerinin nominal güçlerinde veya üretim fazlası enerjiye sebep olmadan kendilerinin nominal güçlerine mümkün olduğunca yakın bir güçte çalışacaklardır.

Şarj ayar noktası durumu (*setpoint state of charge*) olarak adlandırılan isteğe bağlı bir kontrol parametresi *cycle charging* stratejisine uygulanabilir. Eğer modelci bu parametreyi uygulamayı seçerse jeneratör batarya grubunu şarj etmeye başlar başlamaz batarya grubu şarj ayar noktası durumuna ulaşana kadar jeneratör batarya grubunu şarj etmeye devam etmelidir. Aksi takdirde, HOMER, yükü beslemeye başlar başlamaz bataryayı deşarj etmeyi seçebilir. Şarj ayar noktası durumu, bataryanın, minimum şarj durumu civarında maruz kalınan derin olmayan şarj-deşarj dolanımlarından kaçınmasına yardım eder. Gerçek sistemlerde, bu gibi durumlar batarya ömrü için zararlıdır.

5.5.4.4 Yük önceliği

HOMER, sistem tarafından üretilen elektrik enerjisinin nasıl pay edileceği hususunda ayrı bir kararlar kümesi uygulamaktadır. Hem bir aa baranın hem de bir da baranın var olması bu kararları biraz karmaşık hale getirir. HOMER, bir baradaki üretilen

elektriğin ilk olarak aynı baradaki birincil yükü, ikinci olarak karşı baradaki birincil yükü, üçüncü olarak aynı baradaki ertelenebilir yükü, dördüncü olarak karşı baradaki ertelenebilir yükü beslemek için, beşinci olarak batarya grubunu şarj etmek için, altıncı olarak şebeke satışları için, yedinci olarak elektrolizeri beslemek için ve son olarak da opsiyonel olarak termal yükü besleyen boşaltıcı yük (*dump load*) için kullanılacağını varsayar.

5.6 Ekonomik Modelleme

Ekonomi, hem HOMER'in simülasyon işleminde, ki bu süreçte HOMER toplam net bugünkü maliyeti minimize edecek bir şekilde sistemi çalıştırır, hem de HOMER'in optimizasyon işleminde, ki bu süreçte HOMER en düşük toplam net bugünkü maliyete sahip olan sistem konfigürasyonunu arar, bütünleyici bir rol oynar. Bu bölümde, yaşam döngüsü maliyetinin, ki bununla farklı sistem konfigürasyonlarının ekonomileri karşılaştırılabilir, neden uygun bir ölçü olduğu, ekonomik başarımların ölçüsü olarak HOMER'in neden toplam net bugünkü maliyeti kullandığı ve toplam net bugünkü maliyeti HOMER'in nasıl hesapladığı anlatılmıştır.

Yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynakları genellikle önemli ölçüde farklı maliyet karakteristiklerine sahiptirler. Yenilenebilir enerji kaynakları yüksek başlangıç sermayesi maliyetine ve düşük işletme maliyetine sahip olma eğilimini gösterirler, oysaki geleneksel yenilenemeyen enerji kaynakları düşük başlangıç sermayesi maliyetine ve yüksek işletme maliyetine sahip olma eğilimini gösterirler. HOMER'in optimizasyon işleminde, yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynaklarının değişken miktarlarını içeren çok çeşitli sistem konfigürasyonlarının ekonomilerini HOMER çok defa karşılaştırmak zorundadır. Adil olabilmek için, bu gibi karşılaştırmalar hem sermaye maliyetini hem de işletme maliyetini hesaba katmak zorundadırlar. Yaşam döngüsü maliyet analizi, sistemin yaşam süresi içerisinde meydana gelen tüm maliyetleri kapsamaktadır.

HOMER, toplam net bugünkü maliyeti (*Total Net Present Cost, Total NPC*), bir sistemin yaşam döngüsü maliyetini temsil etmek için kullanır. Toplam net bugünkü maliyet, iskonto oranının kullanımı ile bugüne iskonto edilmiş gelecekteki nakit akışları ile birlikte proje yaşam süresi içerisinde meydana gelen tüm maliyetleri ve gelirleri bugünün doları olarak toplu ödenen bir para miktarı olarak özetleyen bir parametredir. Modelci, iskonto oranını ve proje yaşam süresini belirtebilir. Toplam

net bugünkü maliyet, başlangıç inşaatı maliyetini, eleman yenileme maliyetini, bakım maliyetini, yakıt maliyetini, şebekeden satın alınan enerjinin maliyetini ve kirletici maddelerin emisyonlarından dolayı kaynaklanan para cezaları gibi çeşitli maliyetleri içerebilir. Gelirler, şebekeye satılan enerjiden elde edilen geliri ve proje yaşam süresinin sonunda meydana gelen herhangi bir hurda değeri içerebilirler. Toplam net bugünkü maliyette, maliyetler pozitif olarak ve gelirler negatif olarak değerlendirilirler. Bu, net bugünkü değerin tersidir. Sonuç olarak, toplam net bugünkü maliyet sadece işaret olarak net bugünkü değerden farklıdır.

HOMER, proje yaşam süresi boyunca tüm fiyatların aynı oranda yükseldiğini varsayar. Bu varsayım ile birlikte, gelecekteki nakit akışları bugüne iskonto edilirken nominal faiz oranının yerine reel faiz oranının (enflasyon ayarlı) basit bir şekilde kullanımı ile enflasyon analizin dışında bir faktör olarak bırakılabilir. Bu sebeple, HOMER kullanıcısı, nominal faiz oranından enflasyon oranının çıkarılmasıyla elde edilen değere yaklaşık olarak eşit bir değerde olan reel faiz oranını girmelidir. HOMER’de yer alan tüm maliyetler, bu maliyetlerin sabit dolar fiyatı açısından tanımlandığı anlamına gelen gerçek maliyetlerdir.

Sistemin her bir elemanı için, modelci, sıfırıncı yılda meydana gelen başlangıç sermayesi maliyetini, elemanın kendi yaşam süresinin sonunda yenilenmeye ihtiyaç duyduğu her zaman meydana gelen yenilenme maliyetini ve proje yaşam süresinin her bir yılında meydana gelen işletme ve bakım maliyetini belirtmelidir. Kullanıcı bir çok elemanın yaşam süresini yıl olarak belirtebilir fakat HOMER jeneratörün ve bataryanın yaşam sürelerini hesaplar. Bir elemanın yenilenme maliyeti birkaç sebepten dolayı bu elemanın başlangıç sermayesi maliyetinden farklı olabilir. Örneğin, modelci, bir rüzgar türbini gövdesinin (*nacelle*) 15 yıl sonra yenilenmeye ihtiyaç duyacağını fakat kulenin (*tower*) ve temelin (*foundation*) projenin ömrü süresince kullanılmaya devam edileceğini varsayabilir. Bu durumda, yenilenme maliyeti başlangıç sermayesi maliyetinden oldukça daha küçük olacaktır. Fon sağlayan kuruluşlar veya indirimli programlar bir fotovoltaik dizinin başlangıç sermayesi maliyetinin bir kısmını veya hepsini karşılayabilirler fakat yenilenme maliyetinin hiçbirini karşılamayabilirler. Bu durumda, yenilenme maliyeti başlangıç sermayesi maliyetinden daha büyük olacaktır. Var olan bir dizel sistemin donanım iyileştirmesi analiz edilirken dizel motorun başlangıç sermayesi maliyeti sıfır olacaktır fakat yenilenme maliyeti sıfır olmayacaktır.

HOMER, proje yaşam süresinin sonunda her bir elemanın hurda değerini aşağıdaki eşitliğin kullanımı ile hesaplar.

$$S = C_{rep} \frac{R_{rem}}{R_{comp}} \quad (5.5)$$

Bu eşitlikte, S hurda değerini, C_{rep} elemanın yenilenme maliyetini, R_{rem} elemanın kalan ömrünü ve R_{comp} elemanın yaşam süresini tanımlamaktadır. Örneğin, eğer proje yaşam süresi 20 yıl ve fotovoltaik dizinin yaşam süresi de 20 yıl ise proje yaşam süresinin sonunda fotovoltaik dizinin hurda değeri sıfır olacaktır çünkü bu durumda fotovoltaik dizinin kalan ömrü olmayacaktır. Diğer taraftan, eğer fotovoltaik dizinin yaşam süresi 30 yıl ise 20 yıllık proje yaşam süresinin sonunda fotovoltaik dizinin hurda değeri kendisinin yenilenme maliyetinin üçte biri kadarı olacaktır.

Her bir eleman için, HOMER, elemanın yıllık maliyetini bulabilmek için bu elemanın sermaye maliyetini, yenilenme maliyetini, bakım maliyetini, yakıt maliyetini, hurda değerini, diğer maliyetlerini ve gelirlerini birleştirir. HOMER, sistemin toplam yıllık maliyetini bulabilmek için her bir elemanın yıllık maliyetini ve kirletici maddelerin emisyonlarından dolayı kaynaklanan cezalar gibi çeşitli maliyetleri toplar. Bu değer yani sistemin toplam yıllık maliyeti önemli bir değerdir çünkü HOMER toplam net bugünkü maliyet ve enerjinin bir değere getirilmiş maliyeti (*Levelized Cost of Energy, Levelized COE*) gibi sistem için önemli olan iki esas ekonomik başarımlar ölçüsünü hesaplamak için bu değeri kullanır.

HOMER, toplam net bugünkü maliyeti aşağıdaki eşitliğin kullanımı ile hesaplar.

$$C_{NPC} = \frac{C_{ann,tot}}{CRF(i, R_{proj})} \quad (5.6)$$

Bu eşitlikte, $C_{ann,tot}$ toplam yıllık maliyeti, i yıllık reel faiz oranını (iskonto oranı), R_{proj} proje yaşam süresini ve $CRF(\cdot)$ aşağıdaki eşitliğin kullanımı ile hesaplanan amortisman faktörünü (*capital recovery factor*) tanımlamaktadır.

$$CRF(i, N) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (5.7)$$

Bu eşitlikte, i yıllık reel faiz oranını ve N yıl sayısını tanımlamaktadır.

HOMER, enerjinin bir değere getirilmiş maliyetini aşağıdaki eşitliğin kullanımı ile hesaplar.

$$COE = \frac{C_{ann,tot}}{E_{prim} + E_{def} + E_{grid,sales}} \quad (5.8)$$

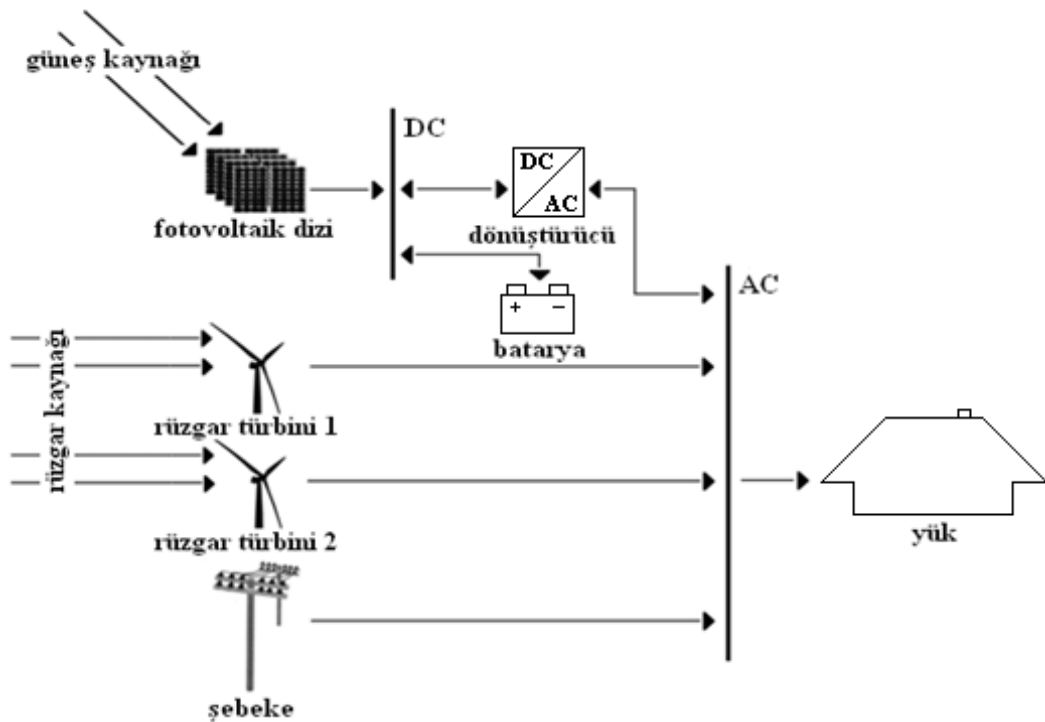
Bu eşitlikte, $C_{ann,tot}$ toplam yıllık maliyeti, E_{prim} sistemin yıl başına beslediği birincil yükün toplam miktarını, E_{def} sistemin yıl başına beslediği ertelenebilir yükün toplam miktarını ve $E_{grid,sales}$ yıl başına şebekeye satılan enerji miktarını tanımlamaktadır. Eşitlik (5.8)'de yer alan payda, yıl başına sistemin ürettiği kullanışlı enerjinin toplam miktarının bir ifadesidir. Bu sebeple, enerjinin bir değere getirilmiş maliyeti, sistem tarafından üretilen kullanışlı elektrik enerjisinin kilowattsaati başına olan ortalama maliyettir.

Enerjinin bir değere getirilmiş maliyeti, ki bununla farklı sistemlerin maliyetleri karşılaştırılabilir, çoğu kez uygun bir ölçü olmasına rağmen HOMER birincil ekonomik başarımlar ölçüsü olarak enerjinin bir değere getirilmiş maliyeti yerine toplam net bugünkü maliyeti kullanır. Örneğin, optimizasyon işleminde HOMER sistem konfigürasyonlarını enerjinin bir değere getirilmiş maliyeti yerine toplam net bugünkü maliyete göre sıralar. Bu durum, enerjinin bir değere getirilmiş maliyeti tanımının tartışılabilir olmasından bir yana da toplam net bugünkü maliyet tanımının tartışılabilir olmamasından kaynaklanmaktadır. Enerjinin bir değere getirilmiş maliyeti için HOMER'in kullandığı formülde yer alan paydanın geliştirilmesinde, bir miktar karşılanmamış yüke (*unmet load*) izin verildiği zaman farklı olabilecek toplam elektrik talebi yerine sistemin bilfiil beslediği elektrik yükü miktarı kullanılmıştır. Ayrıca yine bu formülde yer alan paydanın geliştirilmesinde, termal enerji ihmal edilmiş fakat kullanışlı enerji üretimi olarak şebekeye enerji satışı dikkate alınmıştır. Bu kararların her biri kısmen gelişigüze, aynı zamanda enerjinin bir değere getirilmiş maliyetinin tanımı da kısmen gelişigüze. Zira, toplam net bugünkü maliyet bu gibi tanımsal belirsizlik sıkıntısı çekmez ve birincil ekonomik başarımlar ölçüsü olarak daha uygundur.

6. ÖRNEK BİR HİBRİD ENERJİ SİSTEMİNİN HOMER İLE MODELLENMESİ

6.1 Örnek Hibrid Enerji Sisteminin Tanımlanması

HOMER’de modellenecek olan bir hibrid enerji sistemi içerisinde birçok farklı enerji sistemini barındırabilir çünkü bu hibrid enerji sistemini oluşturacak nicelik veya büyüklük olarak tanımlanması gereken elemanlar için birden fazla değer belirtmek mümkündür. Bu çalışmada modellenecek olan örnek hibrid enerji sistemi şebeke bağlantılı rüzgar-güneş tabanlı bir hibrid enerji sistemi olup bu hibrid enerji sistemi de içerisinde birçok farklı enerji sistemini barındıracaktır. Bir başka ifadeyle modellenecek olan bu örnek hibrid enerji sistemi, nicelik olarak her biri iki değer içeren iki adet rüzgar türbini, şebeke bağlantısı, yük, büyüklük olarak dört değer içeren dönüştürücü, büyüklük olarak beş değer içeren fotovoltaik dizi ve nicelik olarak dört değer içeren batarya grubu barındıracaktır. Bu örnek hibrid enerji sisteminin şematik şekli ise Şekil 6.1’de gösterilmiştir.



Şekil 6.1 : Örnek hibrid enerji sisteminin şematik şekli.

6.2 Örnek Hibrid Enerji Sisteminin İncelenen Bölgesi

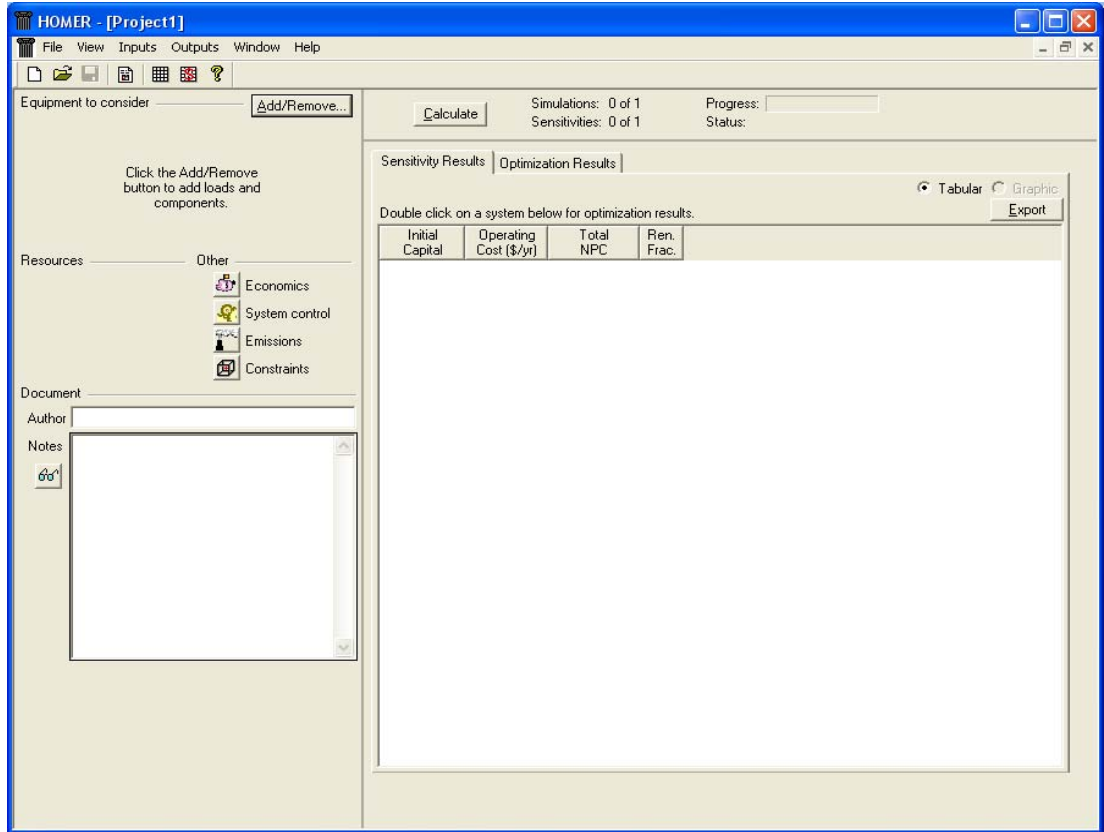
HOMER’de modellenecek olan örnek hibrid enerji sisteminde bulunan rüzgar kaynağının ve güneş kaynağının bir bölgeye ihtiyacı vardır. Yük olarak Gebze’de bulunan orta ölçekli bir sanayi tesisi belirlenmiştir. Dolayısıyla rüzgar kaynağı ve güneş kaynağı için incelenecek olan bölge bu sanayi tesisinin bulunduğu bölge olacaktır bir başka ifadeyle rüzgar kaynağı ve güneş kaynağı için bu sanayi tesisinin bulunduğu noktanın enlem ve boylam koordinatları dikkate alınacaktır. Gebze’de yani incelenecek olan bölgede bulunan bu sanayi tesisinin *Google Earth* aracılığı ile çeşitli uzaklıklardan çekilmiş fotoğrafları ise Şekil 6.2’de gösterilmiştir.



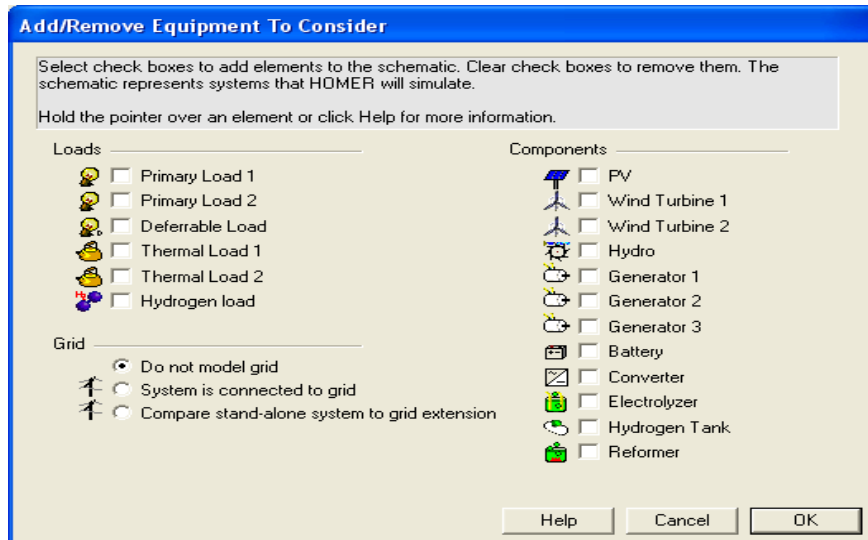
Şekil 6.2 : Örnek hibrid enerji sisteminin incelenen bölgesi.

6.3 HOMER'in Açılış Penceresi

HOMER programının açılış penceresi Şekil 6.3'de gösterilmiştir. HOMER'in açılış penceresinde bulunan *add/remove* butonuna tıklanılması ile açılan *add/remove* penceresi ise Şekil 6.4'de gösterilmiştir. Kullanıcı, herhangi bir elemanı, yükü ve şebeke bağlantı biçimini bu pencere sayesinde ekleyebilir veya kaldırabilir.



Şekil 6.3 : HOMER programının açılış penceresi.



Şekil 6.4 : Add/Remove penceresi.

6.4 Örnek Hibrid Enerji Sisteminin Modellenmesinde İzlenilecek Yol Haritası

Örnek hibrid enerji sisteminin modellenmesi sırasında izlenilecek yol haritasını maddeler halinde belirtmek istersek bu maddeleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Örnek hibrid enerji sistemini oluşturan elemanların modellenmesi
- Örnek hibrid enerji sisteminde kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarının modellenmesi
- Örnek hibrid enerji sistemi ile ilgili diğer kriterlerin modellenmesi

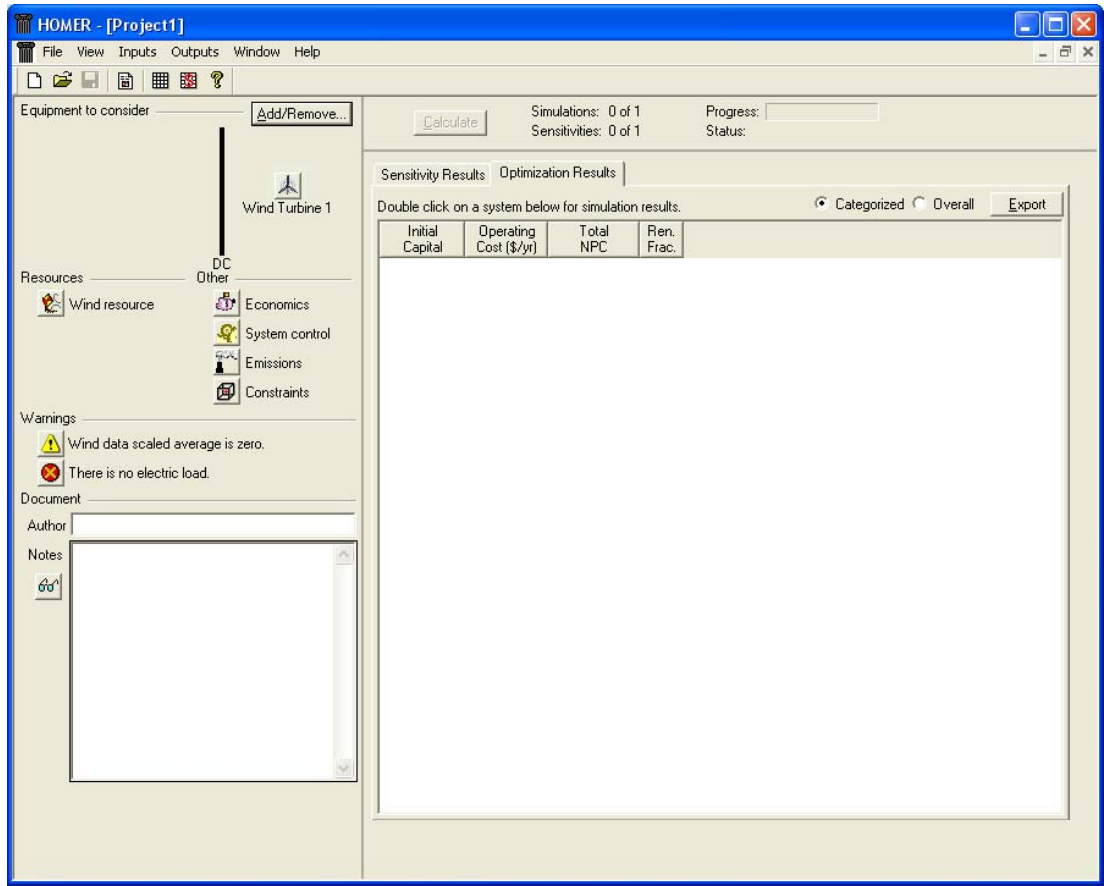
6.4.1 Örnek hibrid enerji sistemini oluşturan elemanların modellenmesi

6.4.1.1 Rüzgar türbinlerinin modellenmesi

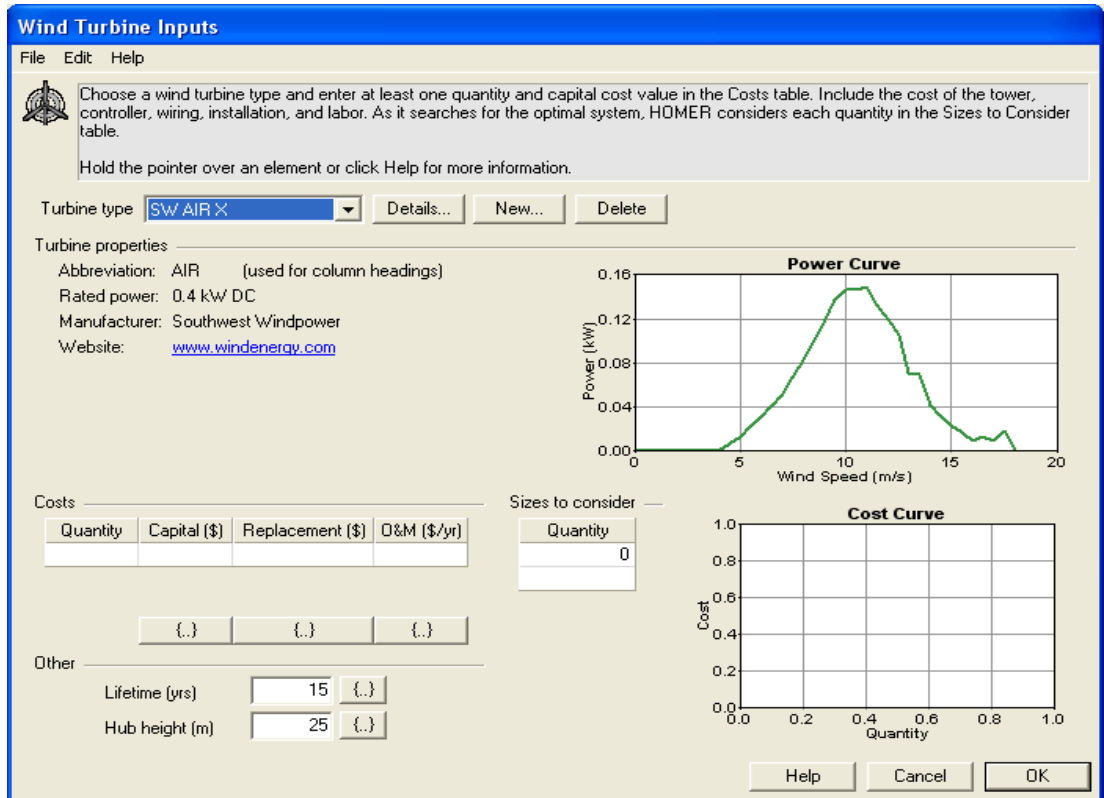
HOMER programı, *add/remove* penceresinden de görülebildiği üzere en fazla iki farklı rüzgar türbininin modellenmesine izin vermektedir. Ancak, kullanıcı, herhangi bir rüzgar türbinini modellerken istediği değer veya değerlerde rüzgar türbini sayısını belirtebilir. Modellemek istediğimiz bu örnek hibrid enerji sisteminde de iki farklı rüzgar türbinine yer verilmiştir.

Birinci rüzgar türbininin modellenmesi

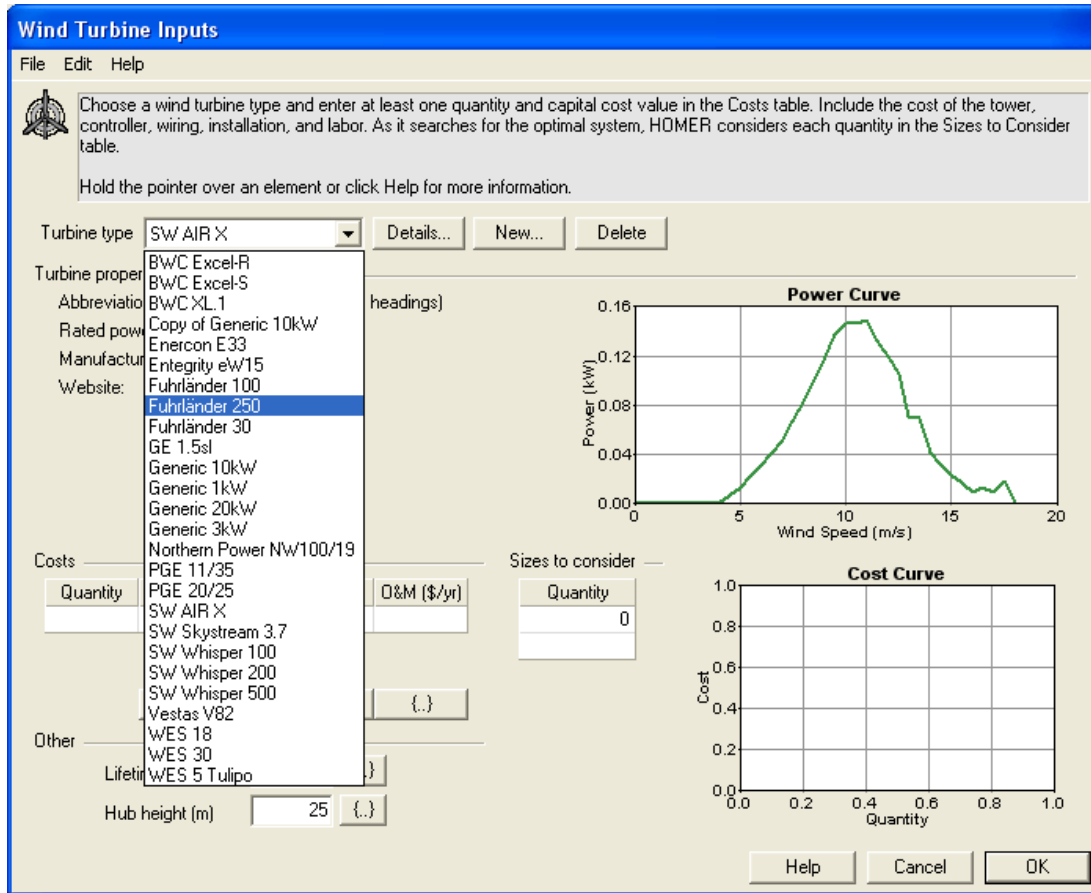
- Modellemek istediğimiz örnek hibrid enerji sisteminde bulunan birinci rüzgar türbininin HOMER'e eklenmesi işlemi, *add/remove* penceresinde *components* başlığı altında bulunan elemanlardan *wind turbine 1* kutucuğunun seçilmesi ve daha sonra *OK* butonuna tıklanılması ile gerçekleştirilir. Birinci rüzgar türbininin eklenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü Şekil 6.5'de gösterilmiştir.
- Birinci rüzgar türbininin eklenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntüde *wind turbine 1* ikonuna tıklanılması ile açılan *wind turbine inputs* penceresi Şekil 6.6 ve Şekil 6.7'de gösterilmiştir.



Şekil 6.5 : Birinci rüzgar türbininin eklenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü.



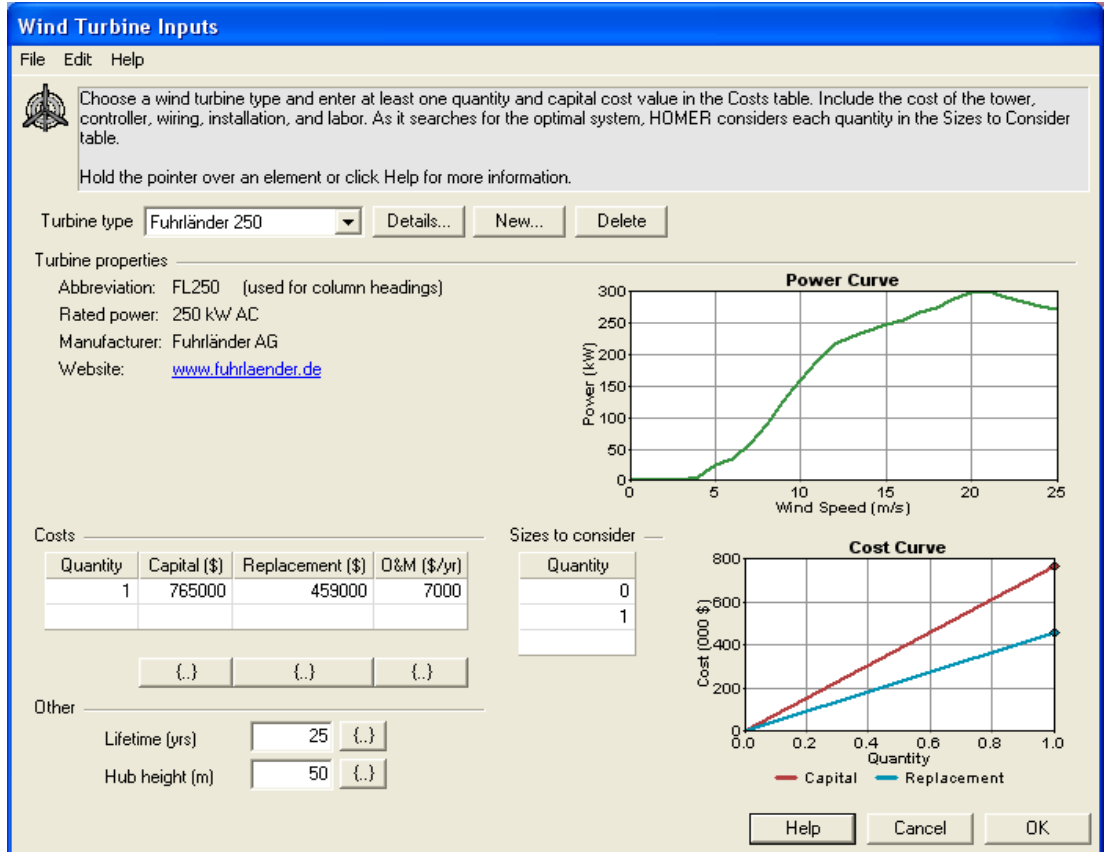
Şekil 6.6 : Wind turbine inputs penceresi.



Şekil 6.7 : Wind turbine inputs penceresi.

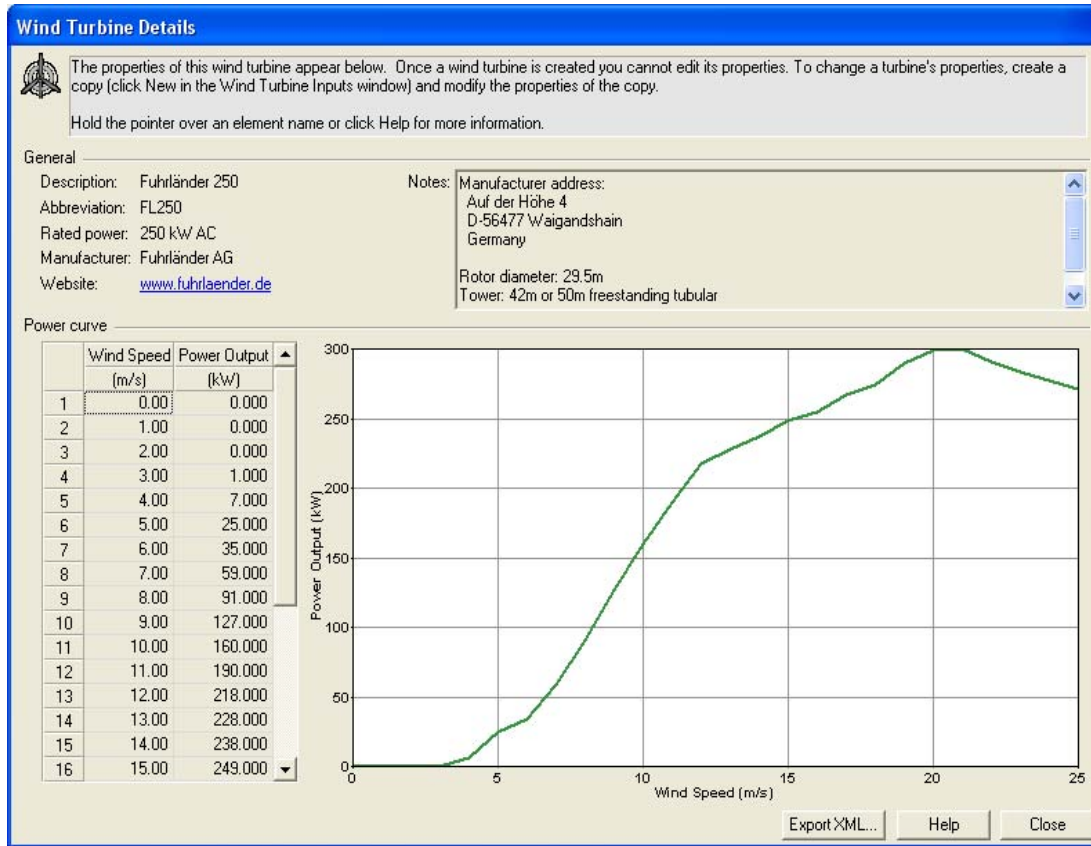
- Modellemek istediğimiz örnek hibrid enerji sisteminde birinci rüzgar türbini olarak Şekil 6.7’de *wind turbine inputs* penceresinde görülen HOMER’in rüzgar türbini kütüphanesinden Fuhrländer 250 isimli rüzgar türbini seçilmiştir. Fuhrländer 250 isimli rüzgar türbinine ait teknik bilgilere Ek A bölümünden ulaşılabilir.
- *Wind turbine inputs* penceresinde *costs* başlığı altında bulunan değerlerde *quantity* (nicelik) 1, *capital* (sermaye maliyeti) \$765.000 USD, *replacement* (yenileme maliyeti) \$459.000 USD ve *o&m* (işletme ve bakım maliyeti) \$7.000 USD/yıl olarak belirlenmiştir [33]. Bu değerlerin girilmesinden sonra oluşacak olan tablo, bir adet Fuhrländer 250 isimli rüzgar türbininin sermaye maliyetinin \$765.000 USD, yenileme maliyetinin \$459.000 USD ve işletme ve bakım maliyetinin ise \$7.000 USD/yıl olacağını anlatacaktır. *Sizes to consider* başlığı altında bulunan *quantity* (nicelik) sırasıyla 0 ve 1 olarak belirlenmiştir. Bu iki değer her biri tahmin edileceği üzere farklı sayıdaki rüzgar türbinini temsil etmektedir. Bu iki değer girilmesinden sonra oluşacak olan tablo, HOMER’in, bu iki farklı sayıdaki rüzgar türbininin her birini gerçekleştirilecek olan simülasyonlarda ayrı ayrı dikkate alacağını anlatacaktır.

- *Wind turbine inputs* penceresinde *other* başlığı altında bulunan değerlerde *lifetime* (yaşam süresi) 25 yıl ve *hub height* (rotor göbeğinin yerden yüksekliği) 50 metre olarak belirlenmiştir.
- Bu gerçekleştirilen adımlardan sonra *wind turbine inputs* penceresinin elde edilen görüntüsü Şekil 6.8’de gösterilmiştir.

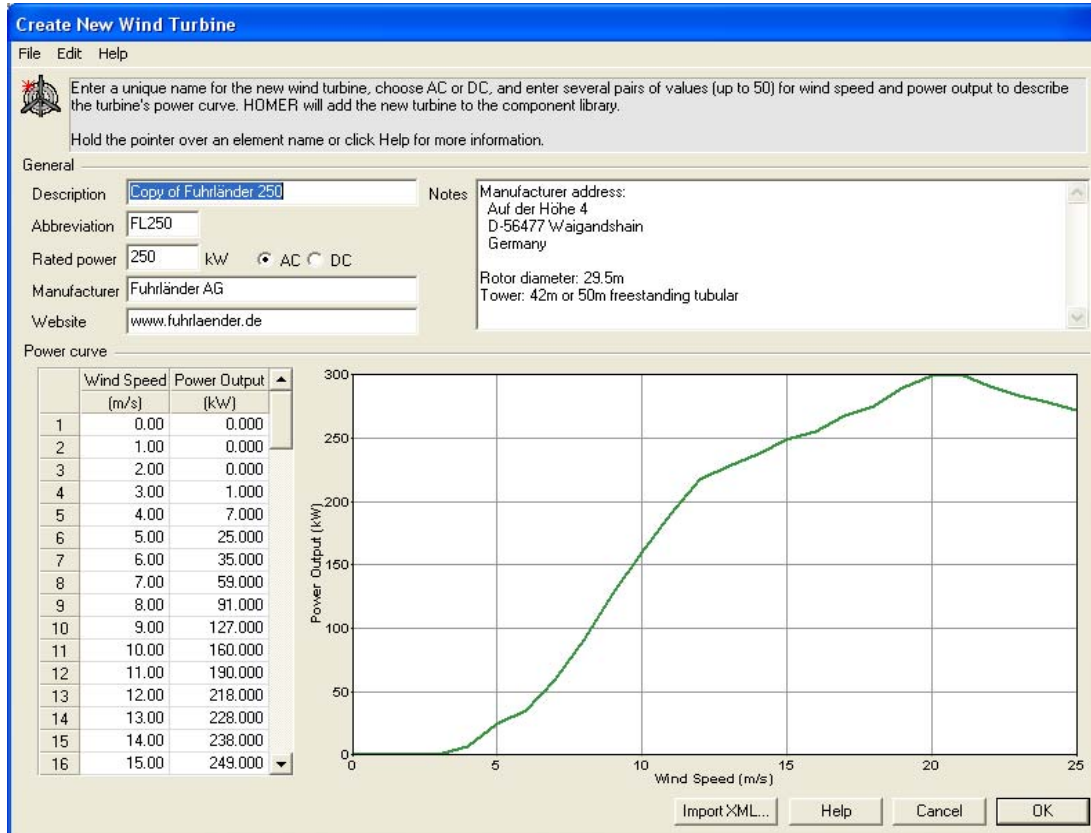


Şekil 6.8 : *Wind turbine inputs* penceresinin elde edilen görüntüsü.

- *Wind turbine inputs* penceresinde bulunan *details* butonuna tıklanıldığı zaman seçilmiş olan rüzgar türbinine ait bazı bilgiler içeren *wind turbine details* penceresi açılmaktadır. Fuhrländer 250 isimli rüzgar türbinine ait çeşitli bilgileri içeren *wind turbine details* penceresi ise Şekil 6.9’da gösterilmiştir. *Wind turbine inputs* penceresinde bulunan *new* butonuna tıklanıldığı zaman açılan *create new wind turbine* penceresi, kullanıcıya, yeni bir rüzgar türbini tanımlama ve bunu HOMER’in rüzgar türbini kütüphanesine ekleme olanağı tanımaktadır. Fuhrländer 250 isimli rüzgar türbinine ait *create new wind turbine* penceresi ise Şekil 6.10’da gösterilmiştir. *Wind turbine inputs* penceresinde bulunan *delete* butonu ise seçilmiş olan rüzgar türbinini HOMER’in rüzgar türbini kütüphanesinden silmek için kullanılmaktadır.

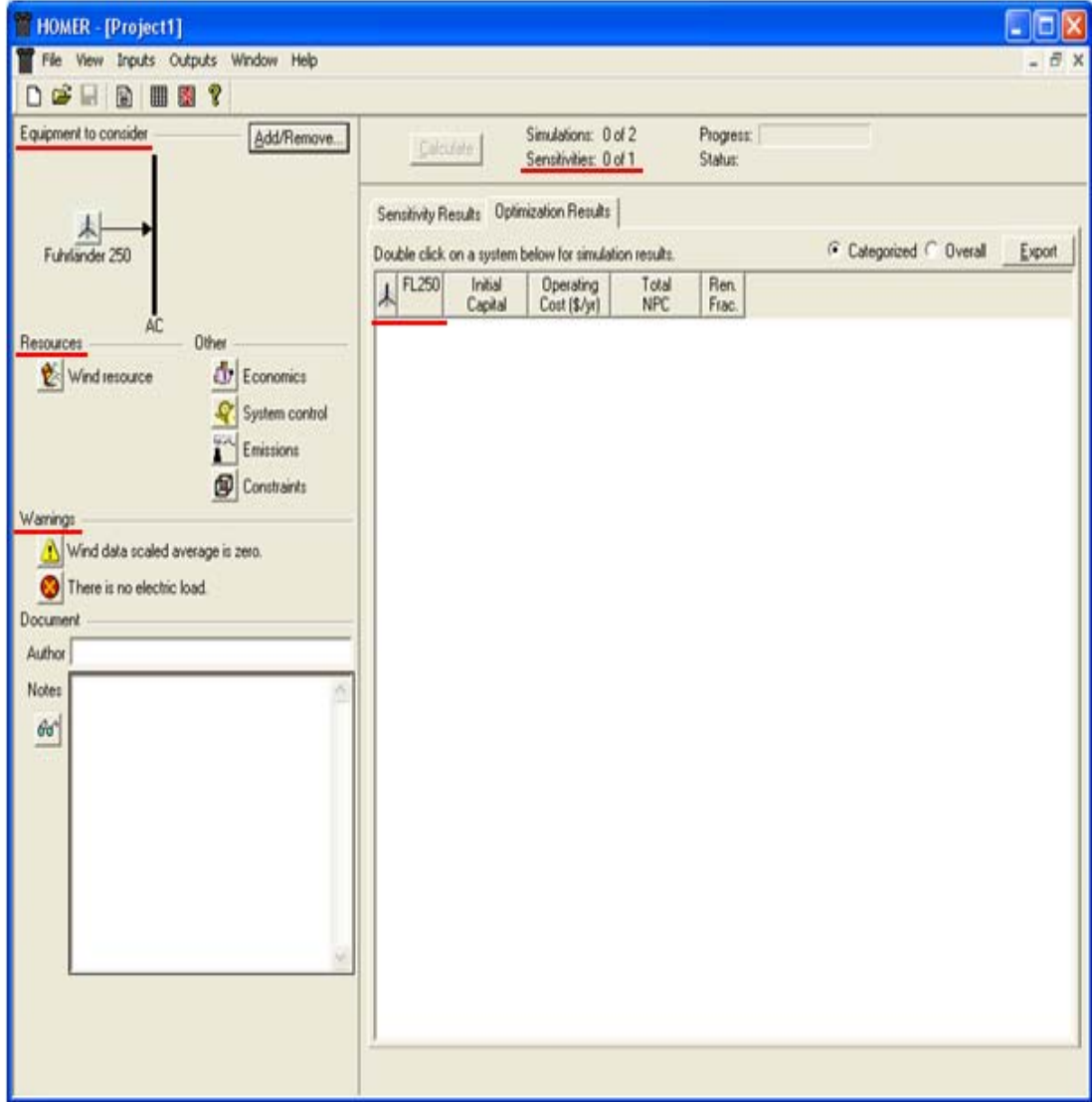


Şekil 6.9 : Fuhrlander 250 isimli rüzgar türbinine ait *wind turbine details* penceresi.



Şekil 6.10 : Fuhrlander 250 isimli rüzgar türbinine ait *create new wind turbine* penceresi.

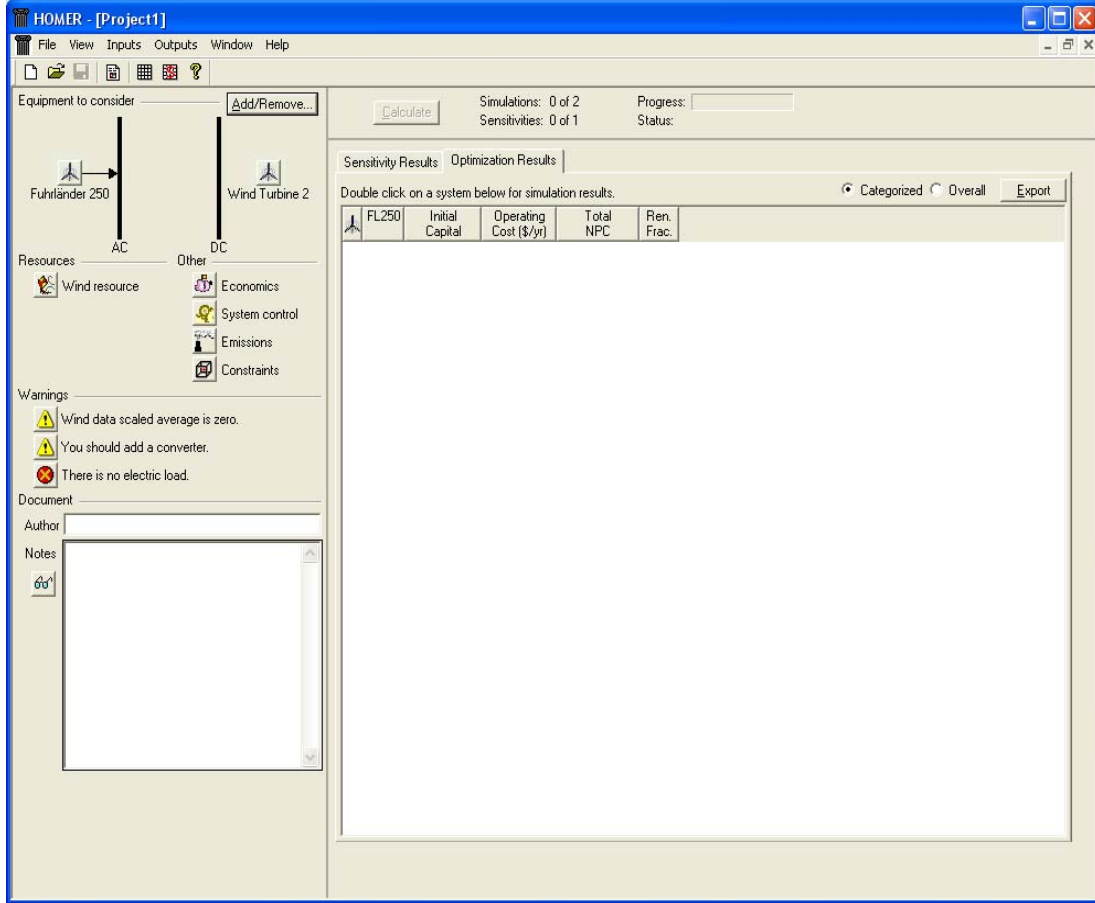
- *Wind turbine inputs* penceresinin gerçekleştirilen adımlardan sonra elde edilen görüntüsünde *OK* butonuna tıklanılması ile birinci rüzgar türbininin modellenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü Şekil 6.11'de gösterilmiştir.



Şekil 6.11 : Birinci rüzgar türbininin modellenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü.

İkinci rüzgar türbininin modellenmesi

- Modellemek istediğimiz örnek hibrid enerji sisteminde bulunan ikinci rüzgar türbininin HOMER'e eklenmesi işlemi, *add/remove* penceresinde *components* başlığı altında bulunan elemanlardan *wind turbine 2* kutucuğunun seçilmesi ve daha sonra *OK* butonuna tıklanılması ile gerçekleştirilir. İkinci rüzgar türbininin eklenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü Şekil 6.12'de gösterilmiştir.

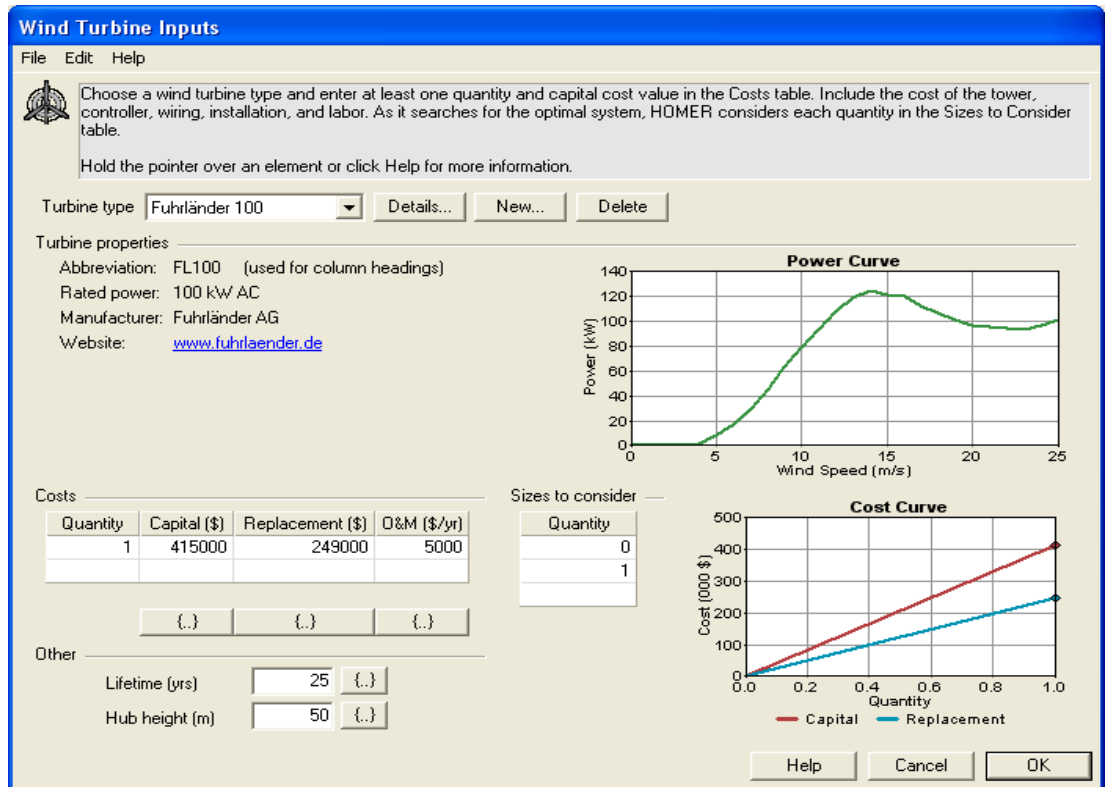


Şekil 6.12 : İkinci rüzgar türbininin eklenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü.

- Modellemek istediğimiz örnek hibrid enerji sisteminde ikinci rüzgar türbini olarak *wind turbine 2* ikonuna tıklanılması ile açılan *wind turbine inputs* penceresinde bulunan HOMER'in rüzgar türbini kütüphanesinden Fuhrländer 100 isimli rüzgar türbini seçilmiştir. Fuhrländer 100 isimli rüzgar türbinine ait teknik bilgilere Ek B bölümünden ulaşılabilir.
- *Wind turbine 2* ikonuna tıklanılması ile açılan *wind turbine inputs* penceresinde *costs* başlığı altında bulunan değerlerde *quantity* (nicelik) 1, *capital* (sermaye maliyeti) \$415.000 USD, *replacement* (yenileme maliyeti) \$249.000 USD ve *o&m* (işletme ve bakım maliyeti) \$5.000 USD/yıl olarak belirlenmiştir [33]. Bu değerlerin girilmesinden sonra oluşacak olan tablo, bir adet Fuhrländer 100 isimli rüzgar türbininin sermaye maliyetinin \$415.000 USD, yenileme maliyetinin \$249.000 USD ve işletme ve bakım maliyetinin ise \$5.000 USD/yıl olacağını anlatacaktır. *Sizes to consider* başlığı altında bulunan *quantity* (nicelik) sırasıyla 0 ve 1 olarak belirlenmiştir. Bu iki değer her biri tahmin edileceği üzere farklı sayıdaki rüzgar türbinini temsil etmektedir. Bu iki değer girilmesinden sonra oluşacak olan tablo,

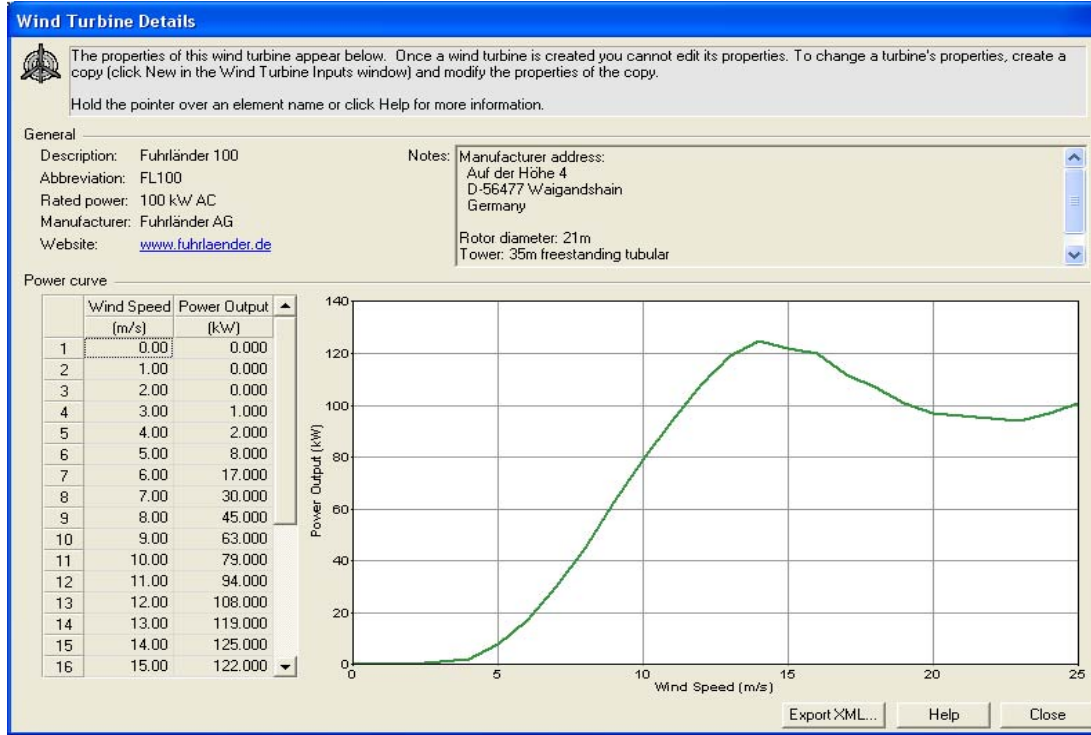
HOMER'in, bu iki farklı sayıdaki rüzgar türbininin her birini gerçekleştirecek olan simülasyonlarda ayrı ayrı dikkate alacağını anlatacaktır.

- *Wind turbine 2* ikonuna tıklanılması ile açılan *wind turbine inputs* penceresinde *other* başlığı altında bulunan değerlerde *lifetime* (yaşam süresi) 25 yıl ve *hub height* (rotor göbeğinin yerden yüksekliği) 50 metre olarak belirlenmiştir.
- Bu gerçekleştirilen adımlardan sonra *wind turbine 2* ikonuna tıklanılması ile açılan *wind turbine inputs* penceresinin elde edilen görüntüsü Şekil 6.13'de gösterilmiştir.

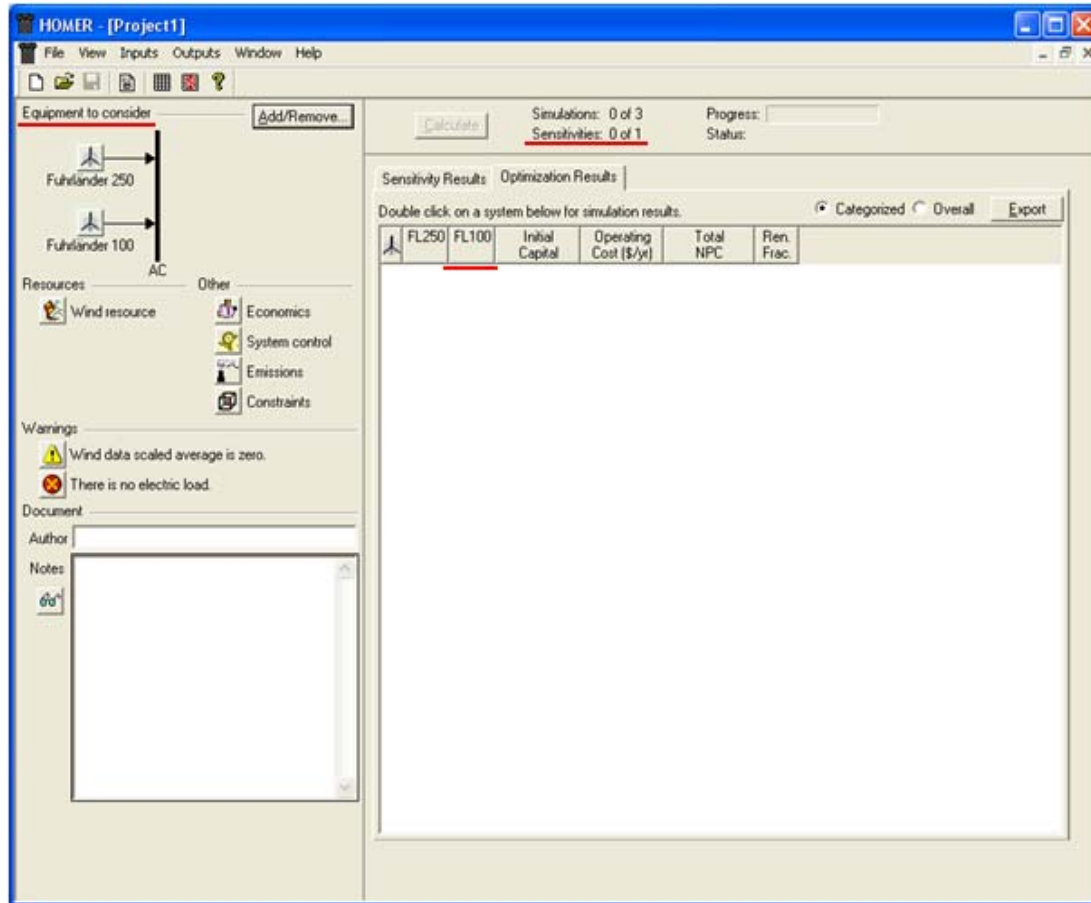


Şekil 6.13 : *Wind turbine 2* ikonuna tıklanılması ile açılan *wind turbine inputs* penceresinin elde edilen görüntüsü.

- *Wind turbine 2* ikonuna tıklanılması ile açılan *wind turbine inputs* penceresinde bulunan *details* butonuna tıklanıldığı zaman seçilmiş olan rüzgar türbinine ait bazı bilgiler içeren *wind turbine details* penceresi açılmaktadır. Fuhrländer 100 isimli rüzgar türbinine ait çeşitli bilgileri içeren *wind turbine details* penceresi ise Şekil 6.14'de gösterilmiştir.
- *Wind turbine 2* ikonuna tıklanılması ile açılan *wind turbine inputs* penceresinin gerçekleştirilen adımlardan sonra elde edilen görüntüsünde *OK* butonuna tıklanılması ile ikinci rüzgar türbininin modellenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü Şekil 6.15'de gösterilmiştir.



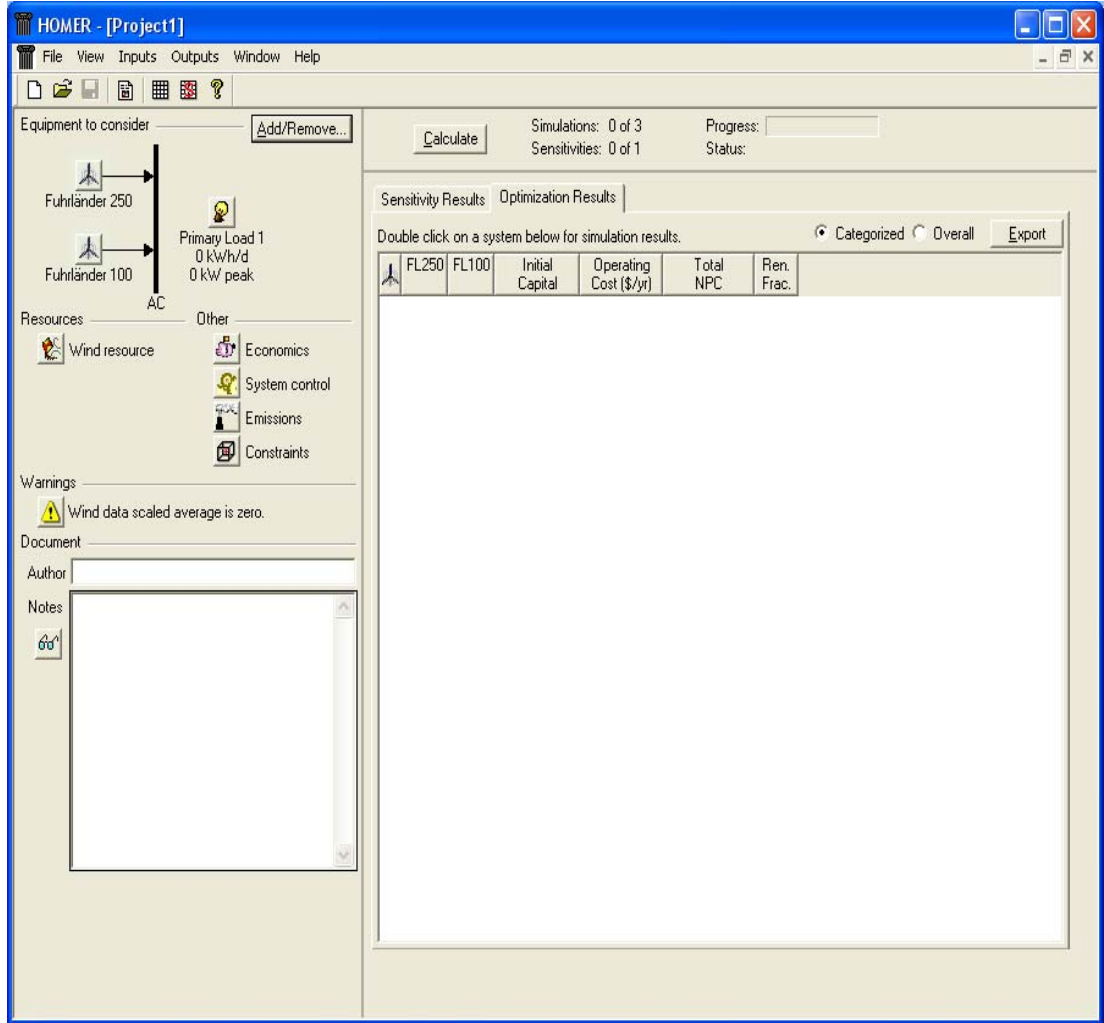
Şekil 6.14 : Fuhrländer 100 isimli rüzgar türbinine ait *wind turbine details* penceresi.



Şekil 6.15 : İkinci rüzgar türbininin modellenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü.

6.4.1.2 Yükün modellenmesi

• Modellemek istediğimiz örnek hibrid enerji sisteminde bulunan yükün HOMER’e eklenmesi işlemi, *add/remove* penceresinde *loads* başlığı altında bulunan yüklerden *primary load 1* kutucuğunun seçilmesi ve daha sonra *OK* butonuna tıklanılması ile gerçekleştirilir. Yükün eklenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER’in açılış penceresinde oluşan görüntü şekil 6.16’da gösterilmiştir.



şekil 6.16 : Yükün eklenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER’in açılış penceresinde oluşan görüntü.

- Yükün eklenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER’in açılış penceresinde oluşan görüntüde *primary load 1* ikonuna tıklanılması ile açılan *primary load inputs* penceresi şekil 6.17’de gösterilmiştir.
- Yükün aylık ortalama elektrik enerjisi ihtiyaı 50.000 kWh olup dolayısıyla yükün günlük ortalama elektrik enerjisi ihtiyaı 1.667 kWh’e denk gelmektedir. Bu durum, yükün saatlik ortalama 69,5 kW’lık bir güce ihtiyaı olduğunu da göstermektedir.

Primary Load Inputs

File Edit Help

Choose a load type (AC or DC), enter 24 hourly values in the load table, and enter a scaled annual average. Each of the 24 values in the load table is the average electric demand for a single hour of the day. HOMER replicates this profile throughout the year unless you define different load profiles for different months or day types. For calculations, HOMER uses scaled data: baseline data scaled up or down to the scaled annual average value.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Label: Primary Load 1 Load type: ☒ AC ☐ DC Data source: ☒ Enter daily profile(s) ☐ Import time series data file Import File...

Baseline data

Month: January Day type: Weekday

Hour	Load (kW)
00:00 - 01:00	0.000
01:00 - 02:00	0.000
02:00 - 03:00	0.000
03:00 - 04:00	0.000
04:00 - 05:00	0.000
05:00 - 06:00	0.000
06:00 - 07:00	0.000
07:00 - 08:00	0.000
08:00 - 09:00	0.000
09:00 - 10:00	0.000
10:00 - 11:00	0.000
11:00 - 12:00	0.000

Random variability

Day-to-day: 15 % Time-step-to-time-step: 20 %

Scaled annual average (kW/h/d): 0

	Baseline	Scaled
Average (kW/h/d)	0.00	0.00
Average (kW)	0.00	0.00
Peak (kW)	0.00	0.00
Load factor	1.00	1.00

Efficiency Inputs...

Plot... Export... Help Cancel OK

Daily Profile

DMap

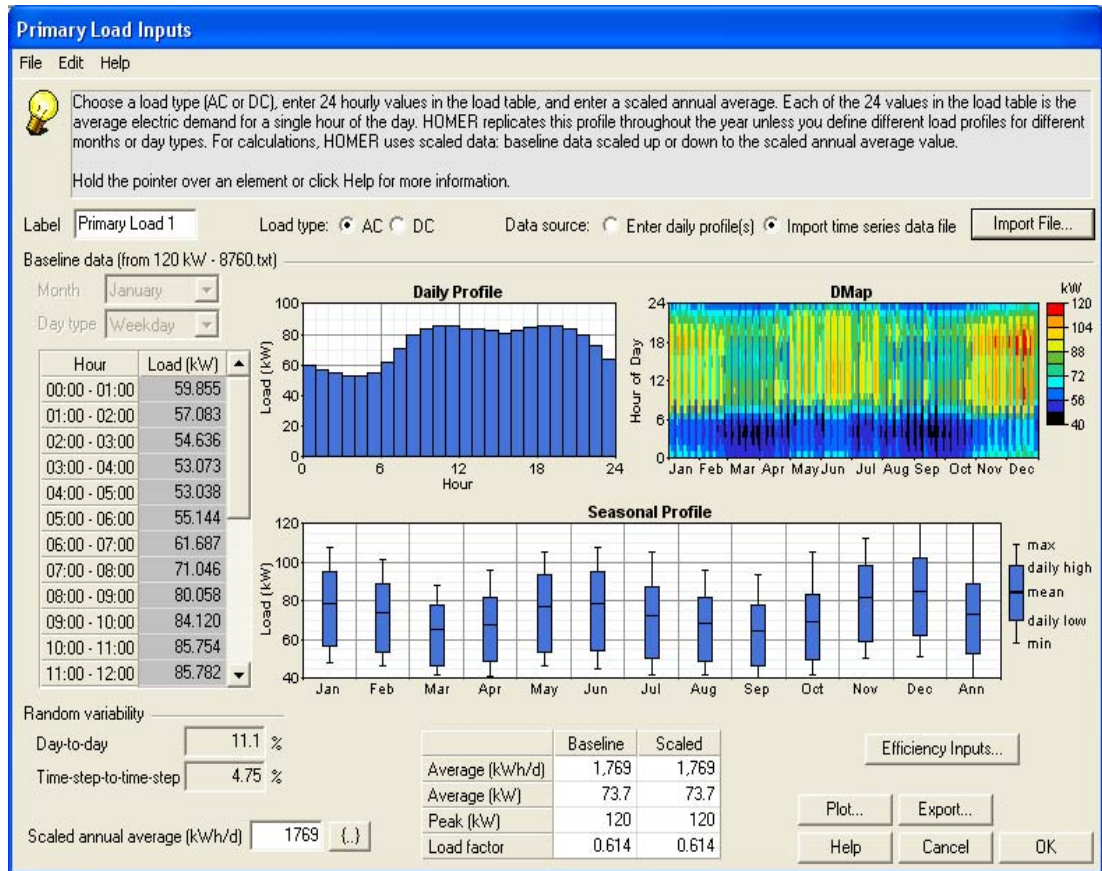
Seasonal Profile

Şekil 6.17 : Primary load inputs penceresi.

- Primary load inputs penceresinde load type kısmında yük tipi olarak ac (aa) seçeneği seçilmiştir.
- HOMER’de, yükün modellenenbilmesi için kullanılabilecek iki yol bulunmaktadır. Primary load inputs penceresinde data source kısmında enter daily profile(s) seçeneğinin temsil ettiği birinci yolda ya yılın her bir ayına ait ortalama günlük yük profili belirtilmelidir (her bir ayın hafta içi ve hafta sonu için farklı ortalama günlük yük profilleri belirtilebilir) yada sadece tek bir ortalama günlük yük profili belirtilmelidir (yıl boyunca sadece bu ortalama günlük yük profili dikkate alınır). HOMER, bütün işlemlerini yıl boyunca saatlik bazda gerçekleştirdiği için yükün modellenmesi için kullanılan bu birinci yolda belirtilen ortalama günlük yük profili veya profilleri HOMER tarafından 8.760 saatin (bir yıl içerisinde bulunan saat sayısı) her birine karşılık gelen 8.760 adet yük değerine dönüştürülür. HOMER tarafından oluşturulacak olan bu saatlik yük verisini daha gerçekçi bir hale getirebilmek için primary load inputs penceresinde random variability başlığı altında bulunan day-to-day ve time-step-to-time-step özellikleri kullanılarak bu saatlik yük verisine rastgelelik eklenebilir. Burada, day-to-day özelliği birbiri ardına gelen günlük yük ortalamalarındaki standart sapmayı ve time-step-to-time-step özelliği saatlik yük

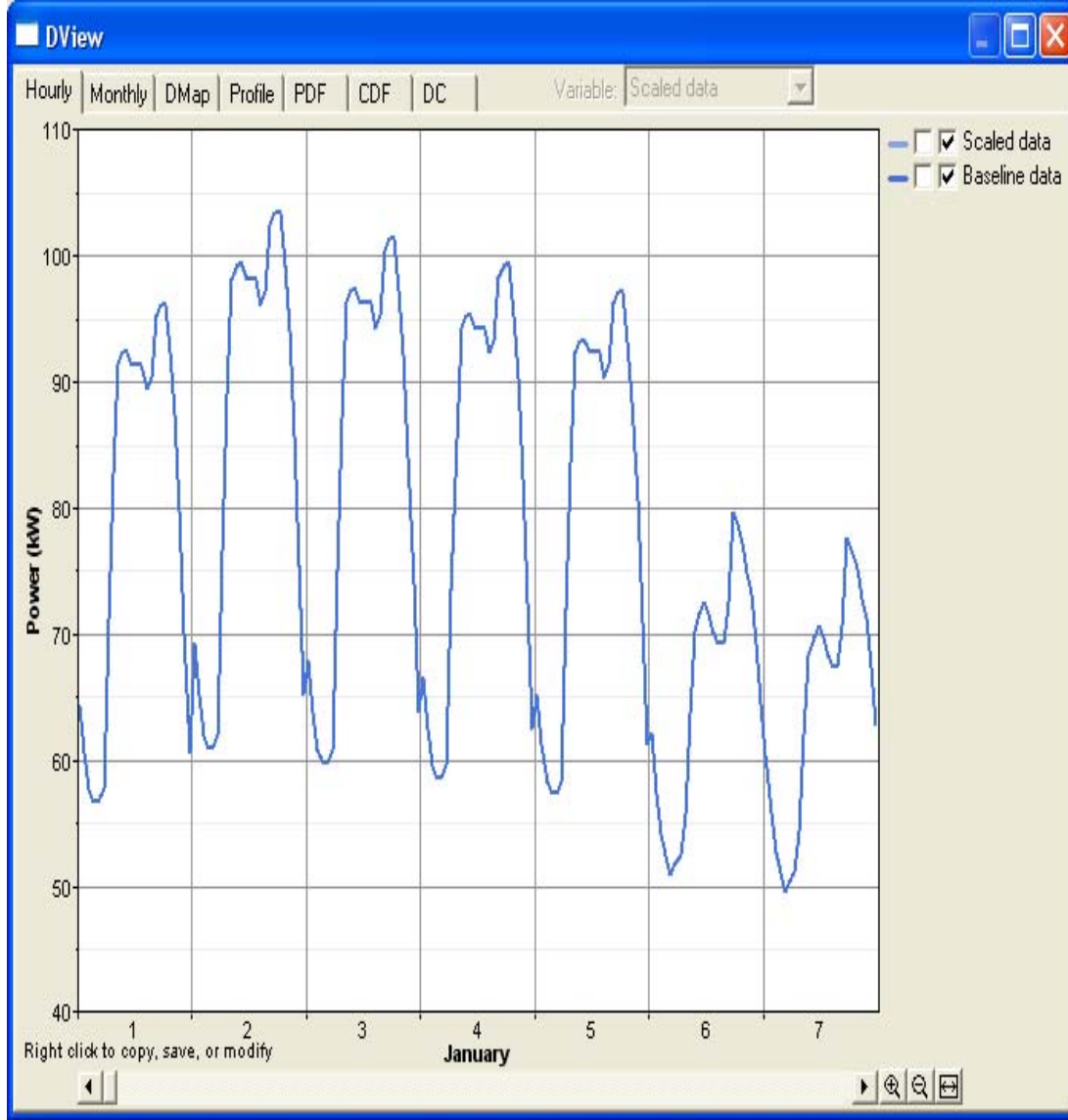
verisi ve ortalama günlük yük profili arasında bulunan farktaki standart sapmayı belirtmektedir. *Primary load inputs* penceresinde *data source* kısmında *import time series data file* seçeneğinin temsil ettiği ikinci yolda ise daha önceden elde edilmiş olan saatlik yük verisi *import file* butonu kullanılarak HOMER’e aktarılmalıdır. Bu çalışmada, *primary load inputs* penceresinde *data source* kısmında *import time series data file* seçeneğinin temsil ettiği ikinci yol kullanılmış olup gerekli olan saatlik yük verisi ise bir MATLAB programı aracılığı ile elde edilmiştir. Bu MATLAB programına Ek C bölümünden ulaşılabilir. Bu MATLAB programının çalıştırılabilmesi için saatlik azami yük değerinin girilmesi gereklidir. Bu sebeple, MATLAB programından yükün yukarıda verilen elektrik enerjisi ihtiyacı ile örtüşecek saatlik yük verisini elde edebilmek için bu saatlik azami yük değeri 120 kW olarak belirlenmiştir. Sonuçta elde edilmiş olan saatlik yük verisi *import time series data file* seçeneğinin temsil ettiği bu ikinci yolda *import file* butonu kullanılarak HOMER’e aktarılmıştır.

- Bu gerçekleştirilen adımlardan sonra *primary load inputs* penceresinin elde edilen görüntüsü Şekil 6.18’de gösterilmiştir.



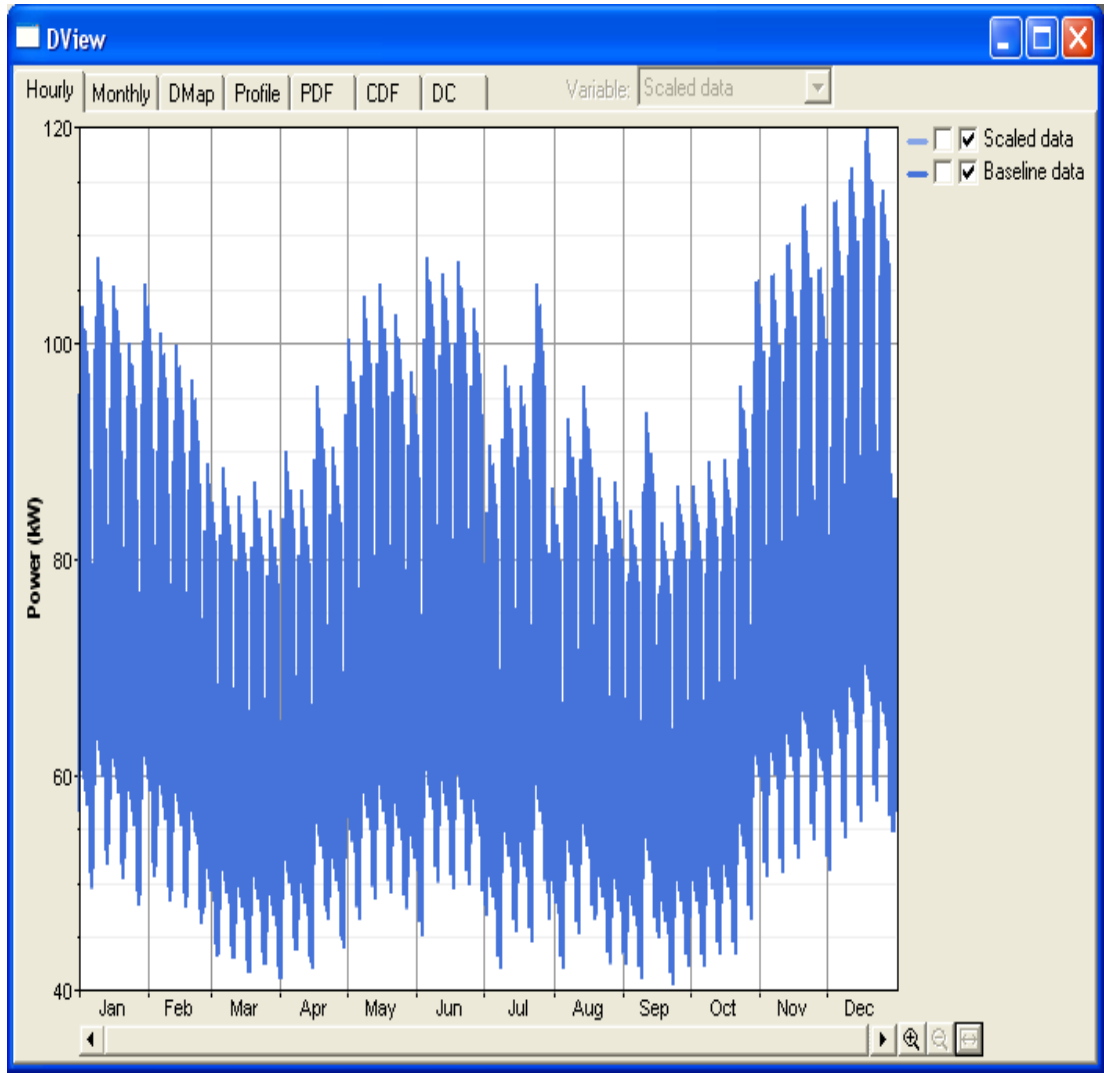
Şekil 6.18 : *Primary load inputs* penceresinin elde edilen görüntüsü.

• *Primary load inputs* penceresinde bulunan *plot* butonuna tıklanılması ile açılacak olan *dview* penceresi vasıtasıyla yük ile ilgili birçok grafiğe ulaşılabilir. Bu *dview* penceresinin açılış görüntüsü Şekil 6.19’da gösterilmiştir.



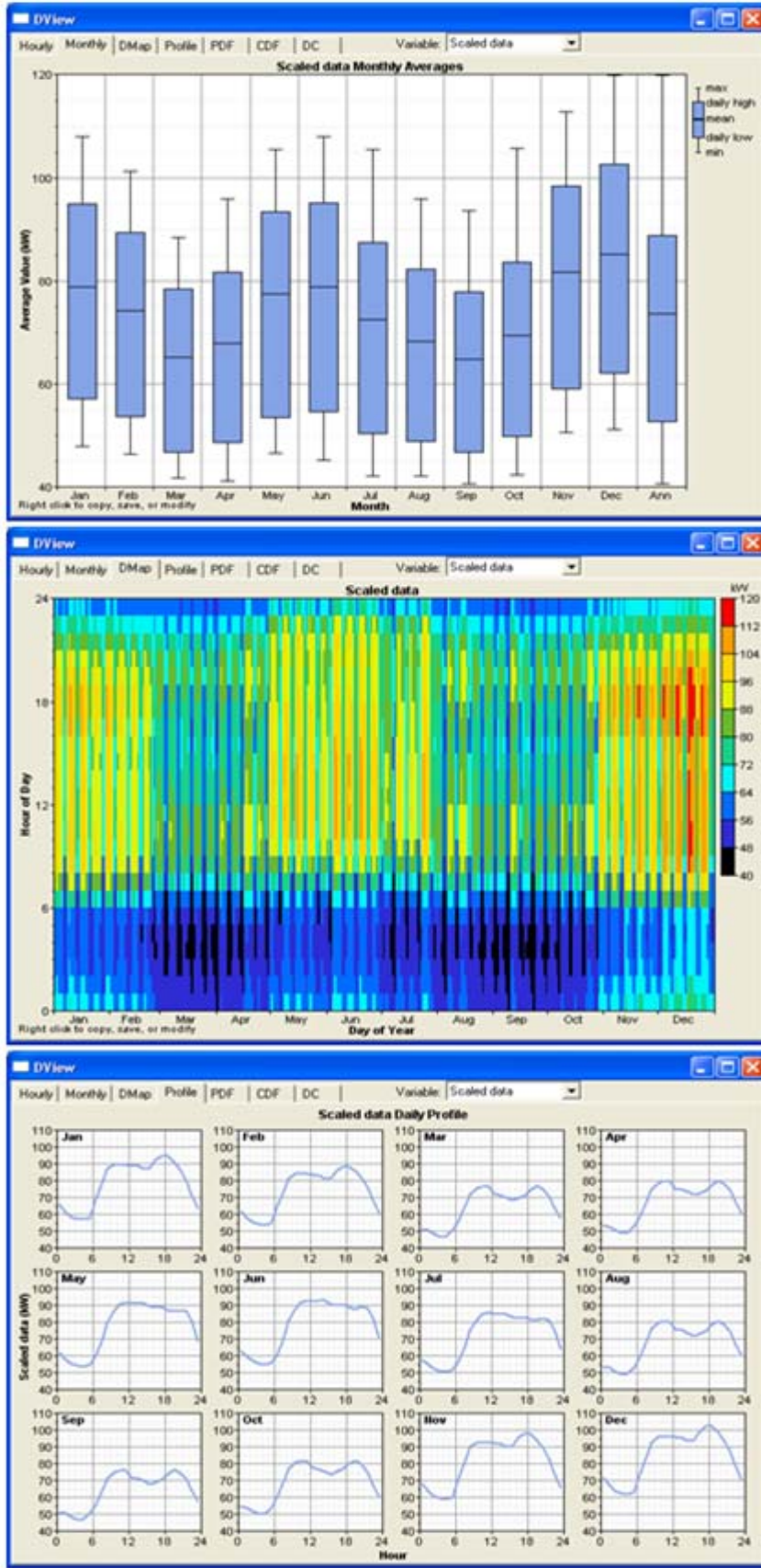
Şekil 6.19 : *Dview* penceresinin açılış görüntüsü.

Bu *dview* penceresinin açılış görüntüsü ilk olarak *hourly* başlığına ait grafiği göstermektedir. *Hourly* başlığı altında bulunan bu grafik vasıtası ile kaydırma çubuğu kullanılarak yılın her bir gününe ait yük eğrisine, yakınlaştırma butonu kullanılarak yıl içerisindeki herhangi bir günün saatlik yük eğrisine ve uzaklaştırma butonu kullanılarak ise ilk önce aylık yük eğrilerine daha sonra yıllık yük eğrisine ulaşılabilir. *Dview* penceresinde *hourly* başlığı altında görülebilecek en önemli grafiklerden birisi olan yıllık yük eğrisi Şekil 6.20’de gösterilmiş olup bu eğriye tüm veriyi gösterecek şekilde yakınlaştırma butonu kullanılarak doğrudan ulaşılabilir.

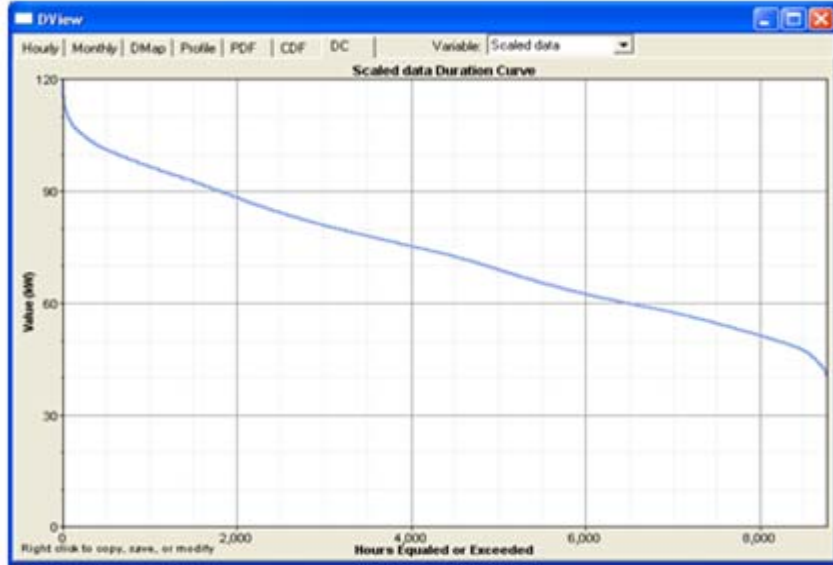
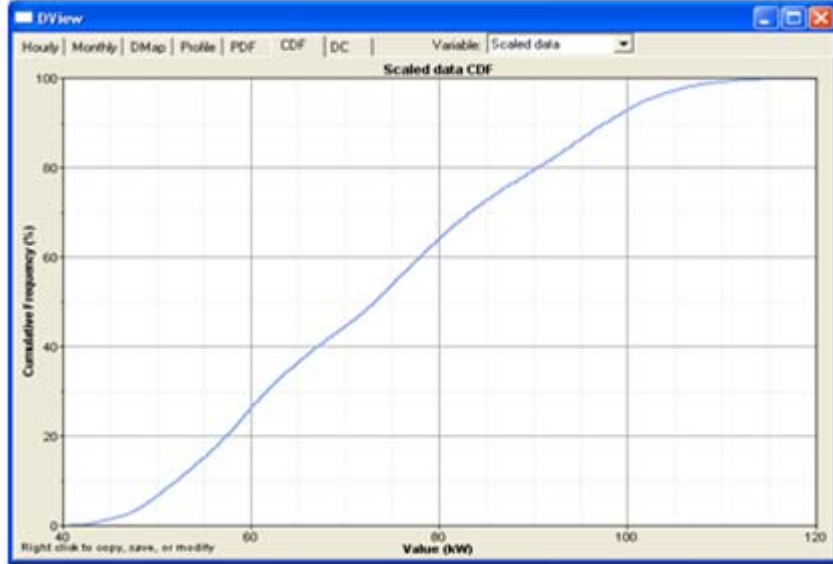


Şekil 6.20 : Yıllık yük eğrisi.

Dview penceresinden görüntülenebilecek yük ile ilgili diğer grafikler Şekil 6.21’de gösterilmiştir. *Monthly* başlığı altında bulunan grafik her bir ayın ortalama yük değerini, her bir ayın maksimum ve minimum saatlik yük değerlerini, her bir ayın en yüksek ve en düşük günlük ortalama yük değerlerini, yıllık ortalama yük değerini, yılın maksimum ve minimum saatlik yük değerlerini, ayların en yüksek günlük ortalama yük değerlerinin ortalamasını ve ayların en düşük günlük ortalama yük değerlerinin ortalamasını göstermektedir. *Dmap* başlığı altında bulunan grafik saatlik yük verisini gösteren bir grafik çeşidi olup bu grafikte yılın her bir saati, bu saatin yük değerine göre renklendirilmiş bir dikdörtgen ile temsil edilmektedir. *Profile* başlığı altında bulunan grafik yıl içerisindeki her bir ayın ortalama günlük yük profilini, *PDF* başlığı altında bulunan grafik yükün olasılık dağılımını, *CDF* başlığı altında bulunan grafik yükün birikimli dağılımını ve *DC* başlığı altında bulunan grafik ise yükün süre eğrisini göstermektedir.

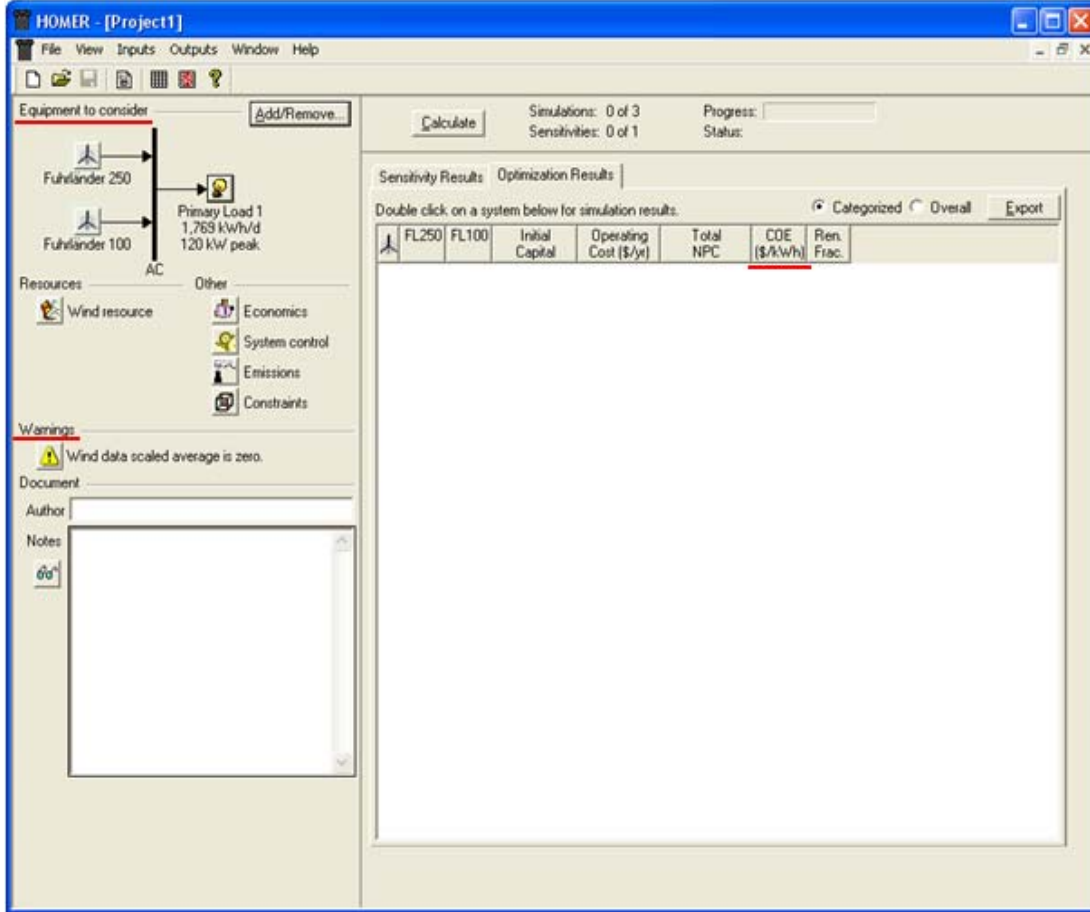


Şekil 6.21 : Dview penceresinden görüntülenebilecek yük ile ilgili diğer grafikler : (a) Aylık yük verisi. (b) Saatlik yük verisi. (c) Her bir ayın ortalama günlük yük profili. (d) Yükün olasılık dağılımı. (e) Yükün birikimli dağılımı. (f) Yükün süre eğrisi.



Şekil 6.21 : (devam) Dview penceresinden görüntülenebilecek yük ile ilgili diğer grafikler : (a) Aylık yük verisi. (b) Saatlik yük verisi. (c) Her bir ayın ortalama günlük yük profili. (d) Yükün olasılık dağılımı. (e) Yükün birikimli dağılımı. (f) Yükün süre eğrisi.

- *Primary load inputs* penceresinin gerçekleştirilen adımlardan sonra elde edilen görüntüsünde *OK* butonuna tıklanılması ile yükün modellenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü Şekil 6.22'de gösterilmiştir.

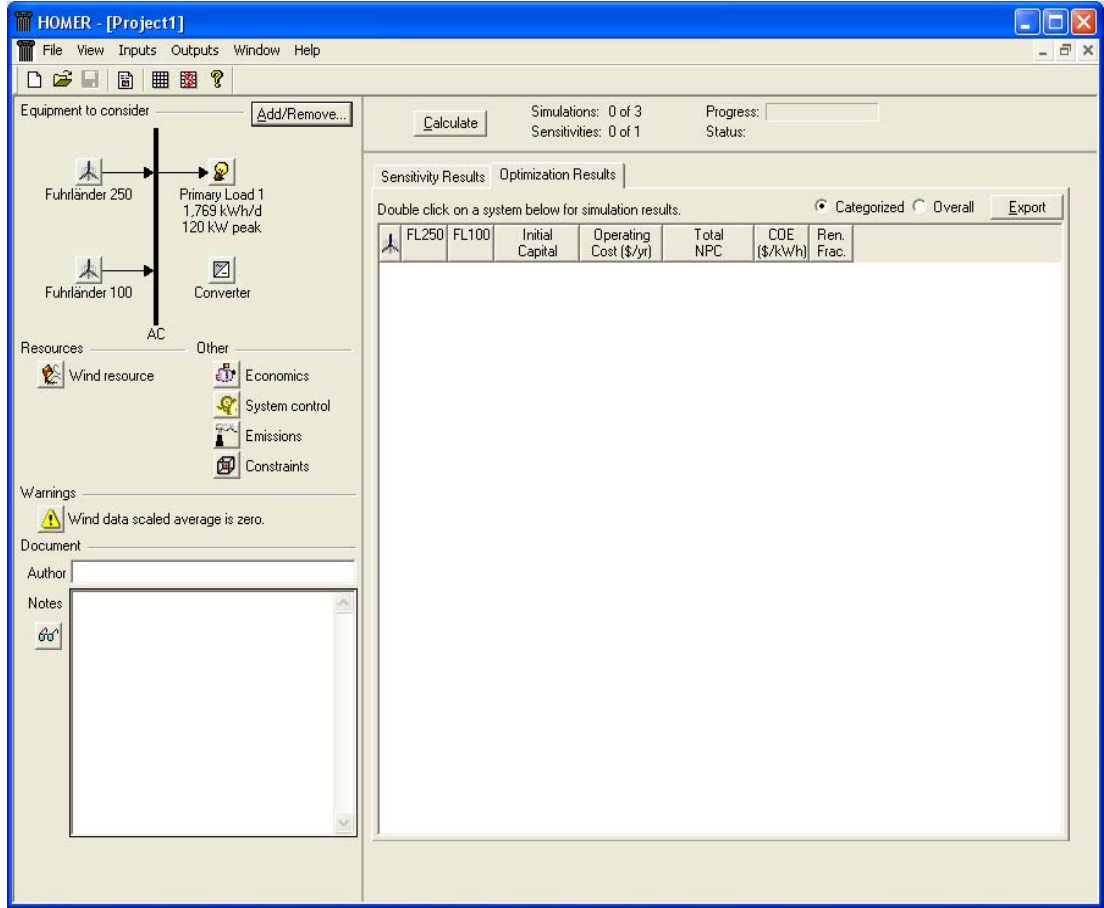


Şekil 6.22 : Yükün modellenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü.

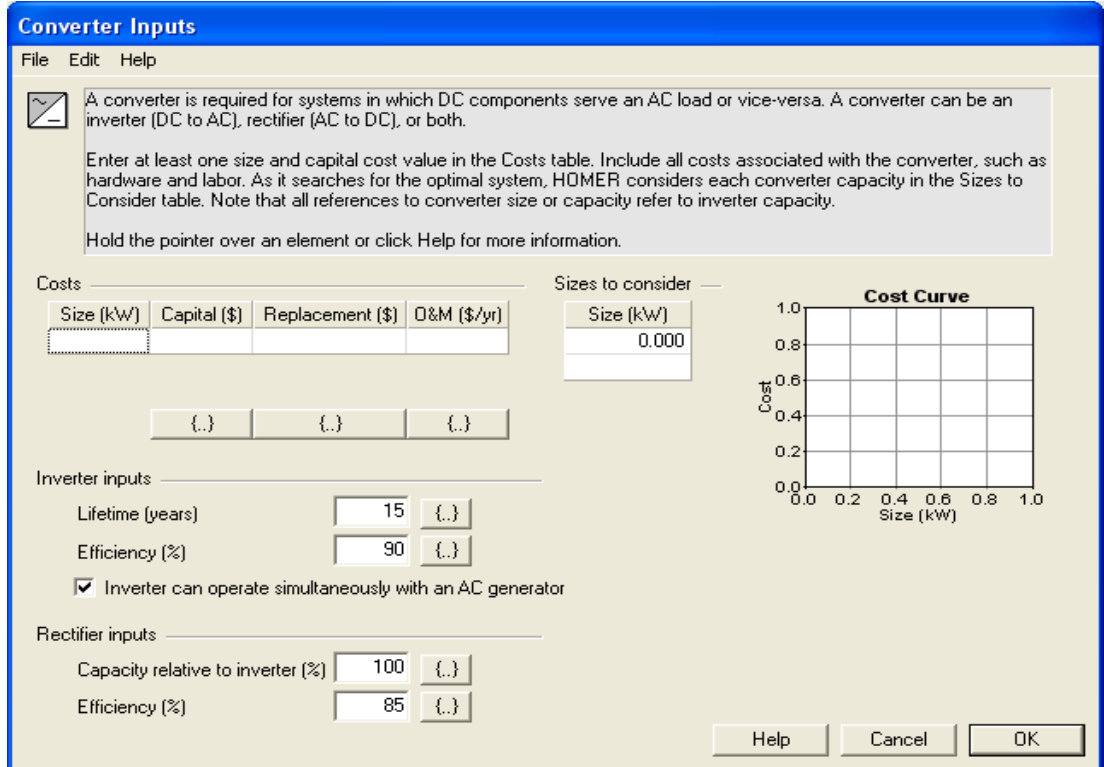
6.4.1.3 Dönüştürücünün modellenmesi

- Modellemek istediğimiz örnek hibrid enerji sisteminde bulunan dönüştürücünün HOMER'e eklenmesi işlemi, *add/remove* penceresinde *components* başlığı altında bulunan elemanlardan *converter* kutucuğunun seçilmesi ve daha sonra *OK* butonuna tıklanılması ile gerçekleştirilir. Dönüştürücünün eklenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü Şekil 6.23'de gösterilmiştir.

- Dönüştürücünün eklenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntüde *converter* ikonuna tıklanılması ile açılan *converter inputs* penceresi Şekil 6.24'de gösterilmiştir.



Şekil 6.23 : Dönüştürücünün eklenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü.



Şekil 6.24 : Converter inputs penceresi.

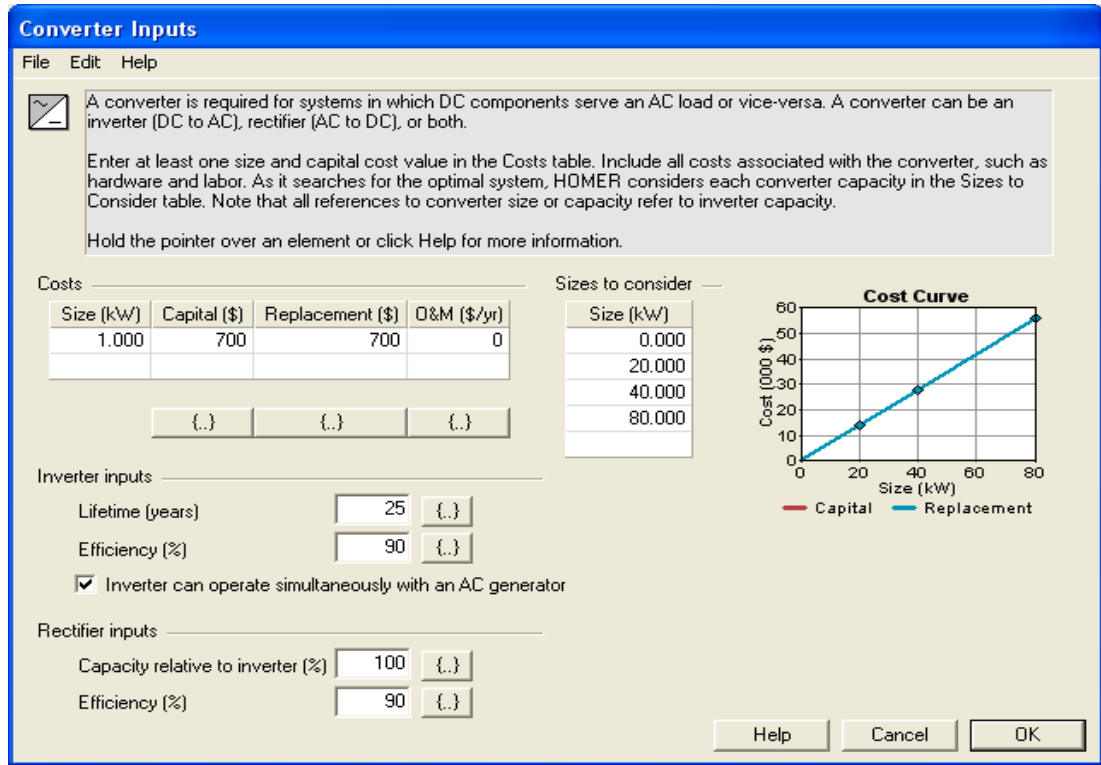
- *Converter inputs* penceresinde *costs* başlığı altında bulunan değerlerde *size* (büyüklük) 1 kW, *capital* (sermaye maliyeti) \$700 USD, *replacement* (yenileme maliyeti) \$700 USD ve *o&m* (işletme ve bakım maliyeti) \$0 USD/yıl olarak belirlenmiştir [34]. Bu değerlerin girilmesinden sonra oluşacak olan tablo, 1 kW büyüklüğündeki bir dönüştürücünün sermaye maliyetinin \$700 USD, yenileme maliyetinin \$700 USD ve işletme ve bakım maliyetinin ise \$0 USD/yıl olacağını anlatacaktır. *Sizes to consider* başlığı altında bulunan *size* (büyüklük) sırasıyla 0, 20, 40 ve 80 kW olarak belirlenmiştir. Bu değerlerin her biri tahmin edileceği üzere farklı büyüklükteki bir dönüştürücüyü temsil etmektedir. Bu değerlerin girilmesinden sonra oluşacak olan tablo, HOMER'in, bu dört farklı büyüklükteki dönüştürücünün her birini gerçekleştirecek olan simülasyonlarda ayrı ayrı dikkate alacağını anlatacaktır.

- *Converter inputs* penceresinde *inverter inputs* başlığı altında bulunan eviriciye ait değerlerde *lifetime* (yaşam süresi) 25 yıl ve *efficiency* (verimlilik) %90 olarak belirlenmiştir. *Inverter inputs* başlığı altında bulunan *inverter can operate simultaneously with an ac generator* seçeneğinin ise eğer evirici aynı zamanda bir aa jeneratör gibi çalışabiliyorsa işaretlenmesi çalışmıyorsa işaretlenmemesi gerekir, bu çalışmada ise bu seçenek işaretlenmiştir.

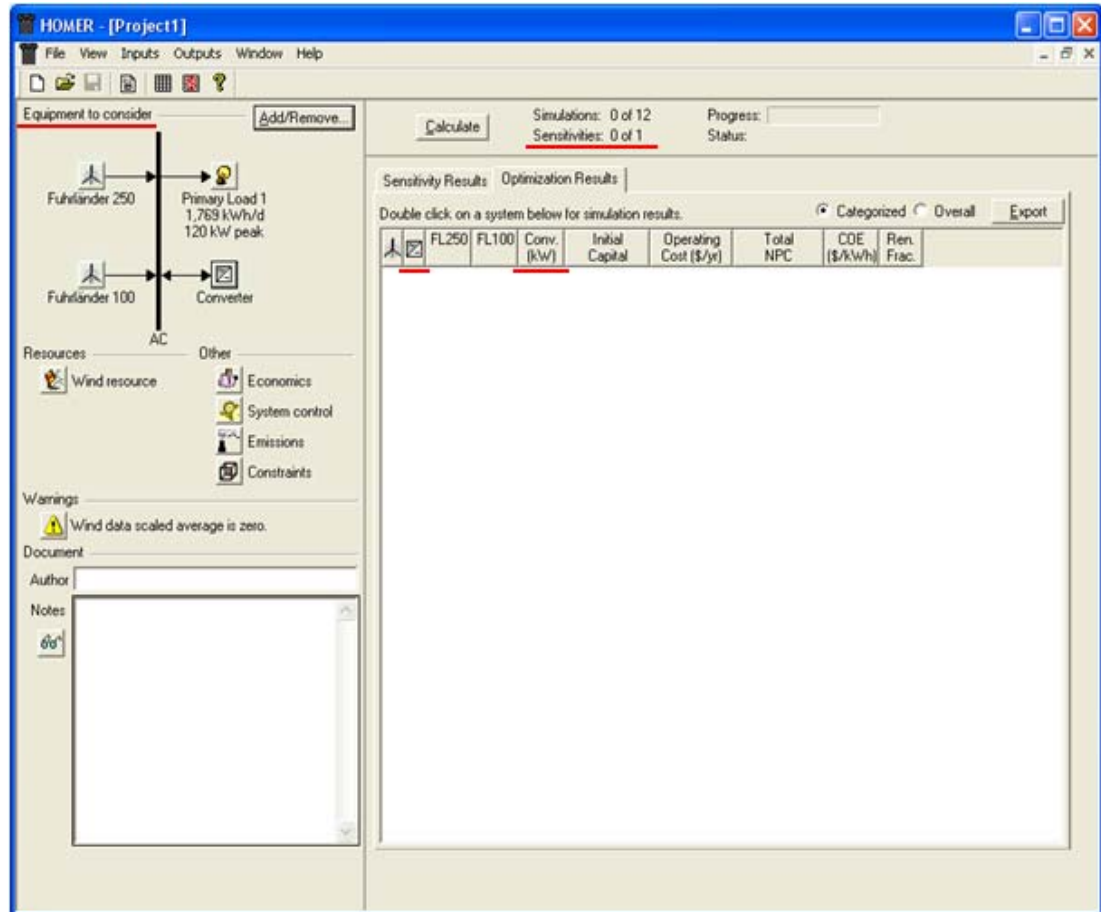
- *Converter inputs* penceresinde *rectifier inputs* başlığı altında bulunan doğrultucuya ait değerlerde *capacity relative to inverter* %100 ve *efficiency* (verimlilik) %90 olarak belirlenmiştir. Buradaki *capacity relative to inverter* değeri, doğrultucunun kapasitesinin eviricinin kapasitesinin ne kadarı olduğunu tanımlamaktadır.

- Bu gerçekleştirilen adımlardan sonra *converter inputs* penceresinin elde edilen görüntüsü Şekil 6.25'de gösterilmiştir.

- *Converter inputs* penceresinin gerçekleştirilen adımlardan sonra elde edilen görüntüsünde OK butonuna tıklanılması ile dönüştürücünün modellenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü Şekil 6.26'da gösterilmiştir.



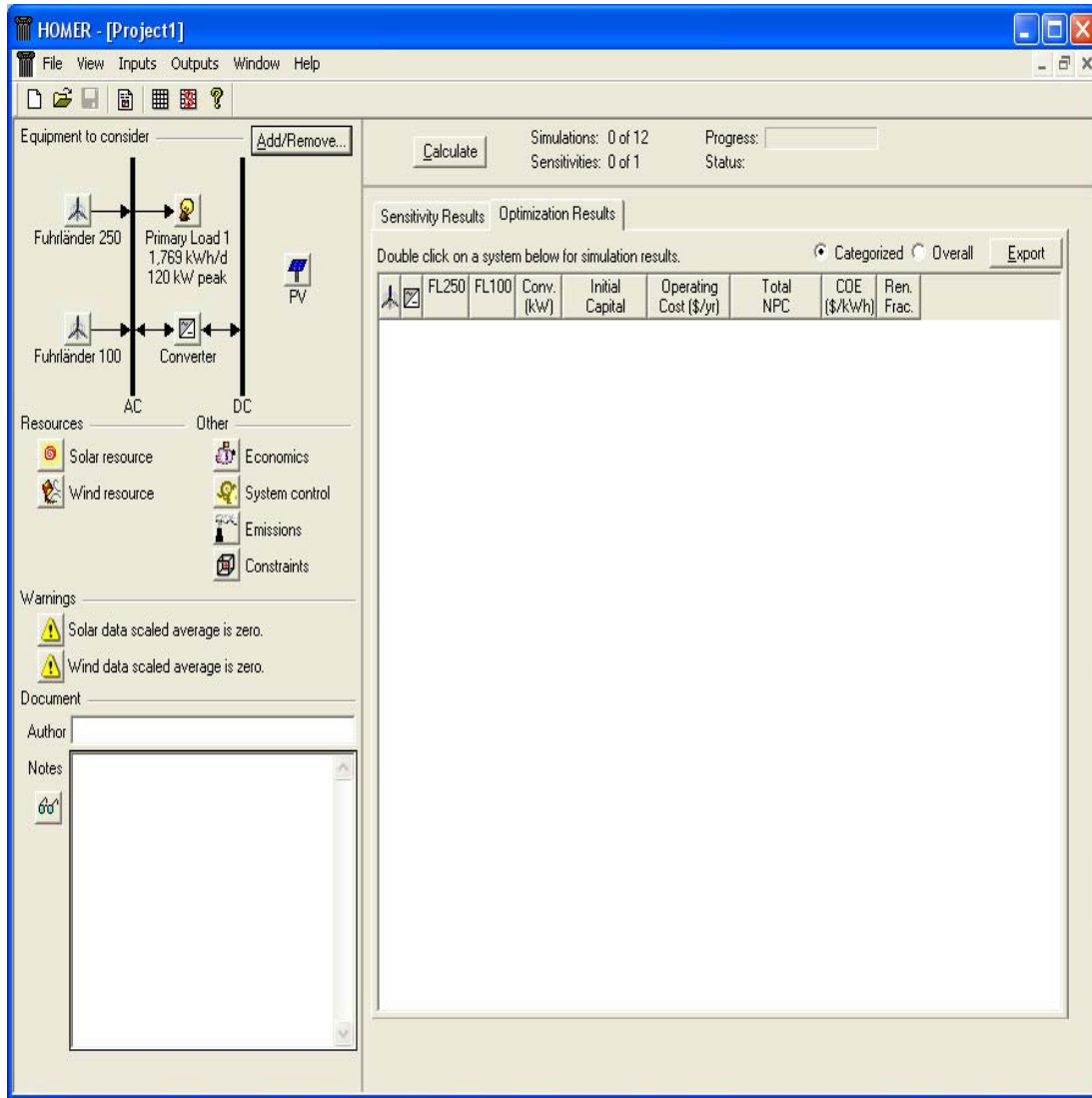
Şekil 6.25 : Converter inputs penceresinin elde edilen görüntüsü.



Şekil 6.26 : Dönüştürücünün modellenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü.

6.4.1.4 Fotovoltaik dizinin modellenmesi

• Modellemek istediğimiz örnek hibrid enerji sisteminde bulunan fotovoltaik dizinin HOMER'e eklenmesi işlemi, *add/remove* penceresinde *components* başlığı altında bulunan elemanlardan *pv* kutucuğunun seçilmesi ve daha sonra *OK* butonuna tıklanılması ile gerçekleştirilir. Fotovoltaik dizinin eklenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü Şekil 6.27'de gösterilmiştir.



Şekil 6.27 : Fotovoltaik dizinin eklenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü.

• Fotovoltaik dizinin eklenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntüde *pv* ikonuna tıklanılması ile açılan *pv inputs* penceresi Şekil 6.28 ve Şekil 6.29'da gösterilmiştir.

PV Inputs
File Edit Help

Enter at least one size and capital cost value in the Costs table. Include all costs associated with the PV (photovoltaic) system, including modules, mounting hardware, and installation. As it searches for the optimal system, HOMER considers each PV array capacity in the Sizes to Consider table.

Note that by default, HOMER sets the slope value equal to the latitude from the Solar Resource Inputs window.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Costs

Size (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)

{ } { } { }

Sizes to consider

Size (kW)
0.000

Cost Curve

Properties

Output current ☐ AC ☒ DC

Lifetime (years) { }

Derating factor (%) { }

Slope (degrees) { }

Azimuth (degrees W of S) { }

Ground reflectance (%) { }

Advanced

Tracking system

☐ Consider effect of temperature

Temperature coeff. of power (%/°C) { }

Nominal operating cell temp. (°C) { }

Efficiency at std. test conditions (%) { }

Help Cancel OK

Şekil 6.28 : PV inputs penceresi.

PV Inputs
File Edit Help

Enter at least one size and capital cost value in the Costs table. Include all costs associated with the PV (photovoltaic) system, including modules, mounting hardware, and installation. As it searches for the optimal system, HOMER considers each PV array capacity in the Sizes to Consider table.

Note that by default, HOMER sets the slope value equal to the latitude from the Solar Resource Inputs window.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Costs

Size (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)

{ } { } { }

Sizes to consider

Size (kW)
0.000

Cost Curve

Properties

Output current ☐ AC ☒ DC

Lifetime (years) { }

Derating factor (%) { }

Slope (degrees) { }

Azimuth (degrees W of S) { }

Ground reflectance (%) { }

Advanced

Tracking system

☐ Consider effect of temperature

Temperature coeff. of power (%/°C) { }

Nominal operating cell temp. (°C) { }

Efficiency at std. test conditions (%) { }

Help Cancel OK

Şekil 6.29 : PV inputs penceresi.

• *PV inputs* penceresinde *costs* başlığı altında bulunan değerlerde *size* (büyüklük) 1 kW, *capital* (sermaye maliyeti) \$7.000 USD, *replacement* (yenileme maliyeti) \$7.000 USD ve *o&m* (işletme ve bakım maliyeti) \$0 USD/yıl olarak belirlenmiştir [34]. Bu değerlerin girilmesinden sonra oluşacak olan tablo, 1 kW büyüklüğündeki bir fotovoltaik dizinin sermaye maliyetinin \$7.000 USD, yenileme maliyetinin \$7.000 USD ve işletme ve bakım maliyetinin ise \$0 USD/yıl olacağını anlatacaktır. *Sizes to consider* başlığı altında bulunan *size* (büyüklük) sırasıyla 0, 10, 20, 40 ve 80 kW olarak belirlenmiştir. Bu değerlerin her biri tahmin edileceği üzere farklı büyüklükteki bir fotovoltaik diziyi temsil etmektedir. Bu değerlerin girilmesinden sonra oluşacak olan tablo, HOMER'in, bu beş farklı büyüklükteki fotovoltaik dizinin her birini gerçekleştirecek olan simülasyonlarda ayrı ayrı dikkate alacağını anlatacaktır.

• *PV inputs* penceresinde *properties* başlığı altında bulunan fotovoltaik diziye ait değerler aşağıda sırasıyla tanımlanmıştır.

➔ *Output current* (çıkış akımı) *dc* (da) olarak seçilmiştir.

➔ *Lifetime* (yaşam süresi) 25 yıl olarak belirlenmiştir.

➔ *Derating factor* (azalma faktörü), sıcaklık, kir, gölge, kar örtüsü ve eskime gibi etkiler sebebiyle fotovoltaik dizinin çıkış gücünde oluşacak kayıpların dikkate alınması ile fotovoltaik dizinin yeni çıkış gücünün ne olacağını tanımlanan çıkış gücünün yüzde değeri olarak ifade eden bir ölçeklendirme faktörüdür. Bu çalışmada, *derating factor* %90 olarak belirlenmiştir.

➔ *Slope* (eğim), konuşlandırılmış bir fotovoltaik panelin yatay düzleme göre konumunu belirten bir açı değeridir. 0° değerine sahip bir eğim fotovoltaik panelin yatay konumda bulunduğunu ve 90° değerine sahip bir eğim ise fotovoltaik panelin dik konumda bulunduğunu belirtmektedir. Sabit eğimli fotovoltaik bir panelde fotovoltaik panelin bulunduğu noktanın enlem değerine eşit olacak sabit eğim değeri, yıllık fotovoltaik enerji üretimini maksimize edecektir. Bu sebeple, eğer *pv inputs* penceresinde *advanced* başlığı altında bulunan *tracking system* kısmında sabit eğimli fotovoltaik panele karşılık gelen *no tracking* veya *vertical axis* seçeneği seçildiği zaman, HOMER, *slope* değerini fotovoltaik panelin konuşlandırılacağı noktanın enlem değeri olarak belirleyecektir. Buna rağmen, HOMER, *slope* değeri için başka bir açı değerinin girilmesine izin vermektedir. Eğer *tracking system* kısmında sabit

eğimli olmayan fotovoltaik panele karşılık gelen *horizontal axis* veya *two axis* seçeneği seçildiği zaman, HOMER, *slope* değeri için herhangi bir açı değerinin girilmesine izin vermeyecektir fakat her bir zaman adımında bu *slope* değerini hesaplayacaktır. Bu çalışmada *tracking system* kısmında *no tracking* seçeneği seçildiği için, HOMER, *slope* değerini örnek hibrid enerji sisteminin dolayısıyla fotovoltaik panelin incelenen bölgesinin enlem değeri olan $40,8833^\circ$ olarak belirlemiştir.

➔ *Azimuth* (güney açısı), fotovoltaik panelin baktığı yönü (güney, doğu, batı, kuzey) tanımlayan bir açı değeridir. *Azimuth* değeri, eğer fotovoltaik panel tam güneye doğru bakıyorsa 0° , tam doğuya doğru bakıyorsa -90° , tam batıya doğru bakıyorsa 90° ve tam kuzeye doğru bakıyorsa 180° olarak belirlenmektedir. Sabit bir yöne sahip olacak fotovoltaik panel hemen hemen her zaman ekvatora doğru yönlendirilmektedir. Bu durumda, kuzey yarımkürede bulunan fotovoltaik bir panel için *azimuth* değeri 0° , güney yarımkürede bulunan fotovoltaik bir panel için *azimuth* değeri 180° olarak belirlenmelidir. *Azimuth* değeri, eğer fotovoltaik panel yer yüzeyine yatay olarak (sıfır eğim) konuşlandırılmış ise önemsizdir. Eğer *pv inputs* penceresinde *advanced* başlığı altında bulunan *tracking system* kısmında *horizontal axis (monthly adjustment)*, *horizontal axis (weekly adjustment)*, *horizontal axis (daily adjustment)*, *vertical axis (continuous adjustment)* veya *two axis* seçeneklerinden biri seçildiği zaman, HOMER, *azimuth* değerinin girilmesine izin vermeyecektir fakat takip sistemi fotovoltaik paneli hareket ettirdikçe her bir zaman adımında bu *azimuth* değerini hesaplayacaktır. Bu çalışmada, örnek hibrid enerji sisteminde bulunan fotovoltaik panelin sabit bir yöne sahip olmasına karar verilmiş olduğundan ve bu fotovoltaik panelin incelenen bölgesi kuzey yarımkürede bulunduğundan dolayı *azimuth* değeri 0° olarak belirlenmiştir.

➔ *Ground reflectance*, yeryüzüne gelen güneş ışınımının yeryüzü tarafından yansıtılan yüzde değerini tanımlamaktadır. *Ground reflectance*, çim ile kaplı bir bölge için yaklaşık olarak %20 değerini, kar ile kaplı bir bölge için ise yaklaşık olarak %70 değerini almaktadır. *Ground reflectance* değeri eğimli bir fotovoltaik panelin üzerine gelen güneş ışınımının hesaplanmasında kullanılır fakat bu hesaplamada *ground reflectance* değeri çok az bir etkiye sahiptir. Bu çalışmada, *ground reflectance* değeri %40 olarak belirlenmiştir.

- *PV inputs* penceresinde *advanced* başlığı altında bulunan fotovoltaik diziye ait değerler aşağıda sırasıyla tanımlanmıştır.

➔ *Tracking system* (takip sistemi) kısmı, fotovoltaik panelin güneşi takip edip etmeyeceğini ve takip edecek ise ne tür bir takip sistemi kullanacağını belirlemek için kullanılmaktadır. *Tracking system* kısmı, fotovoltaik panelin herhangi bir takip sistemi kullanmayacağını belirten *no tracking* seçeneğini, yatay eksenli bir takip sistemi kullanacağını belirten *horizontal axis* seçeneğini, dikey eksenli bir takip sistemi kullanacağını belirten *vertical axis* seçeneğini ve hem yatay eksenli hem de dikey eksenli bir takip sistemi kullanacağını belirten *two axis* seçeneğini içermektedir. Bu çalışmada, *tracking system* kısmında *no tracking* seçeneği seçilmiştir.

➔ *Consider effect of temperature*, hücre sıcaklığı etkisinin fotovoltaik dizinin çıkış gücü üzerinde dikkate alınacağını veya alınmayacağını belirlemek için kullanılan bir seçeneği temsil etmektedir. Bu çalışmada, hücre sıcaklığı etkisinin fotovoltaik dizinin çıkış gücü üzerinde dikkate alınmasına karar verilmiş olup bunun sonucunda belirtilmesi gereken değerler aşağıda sırasıyla tanımlanmıştır.

■ *Temperature coefficient of power*, fotovoltaik dizinin çıkış gücünün hücre sıcaklığı ile nasıl değiştiğini gösteren bir katsayıdır. Bu katsayı negatif bir değere sahiptir çünkü fotovoltaik dizinin çıkış gücü artan hücre sıcaklığı ile azalmaktadır. Bu çalışmada, örnek hibrid enerji sisteminde bulunan fotovoltaik dizinin Solarex firmasının MSX-60 isimli fotovoltaik modüllerinden oluştuğu kabul edilmiş ve dolayısıyla *temperature coefficient of power* değeri bu fotovoltaik modülün veri sayfasından -0,5 %/°C olarak belirlenmiştir. MSX-60 isimli fotovoltaik modüle ait teknik bilgilere Ek D bölümünden ulaşılabilir.

■ *Nominal operating cell temperature*, 800 W/m² değerinde güneş ışınımı, 20 °C değerinde ortam sıcaklığı ve 1 m/s değerinde rüzgar hızı koşullarında fotovoltaik dizinin hücre sıcaklığını tanımlamaktadır. HOMER, *nominal operating cell temperature* değerini fotovoltaik dizinin hücre sıcaklığını hesaplamak için kullanılmaktadır. Bu çalışmada, *nominal operating cell temperature* değeri MSX-60 isimli fotovoltaik modülün veri sayfasından 47 °C olarak belirlenmiştir.

■ *Efficiency at standard test conditions*, standart test koşulları altında maksimum güç noktasında fotovoltaik dizinin güneş ışığını elektriğe dönüştürdüğü verimlilik olarak

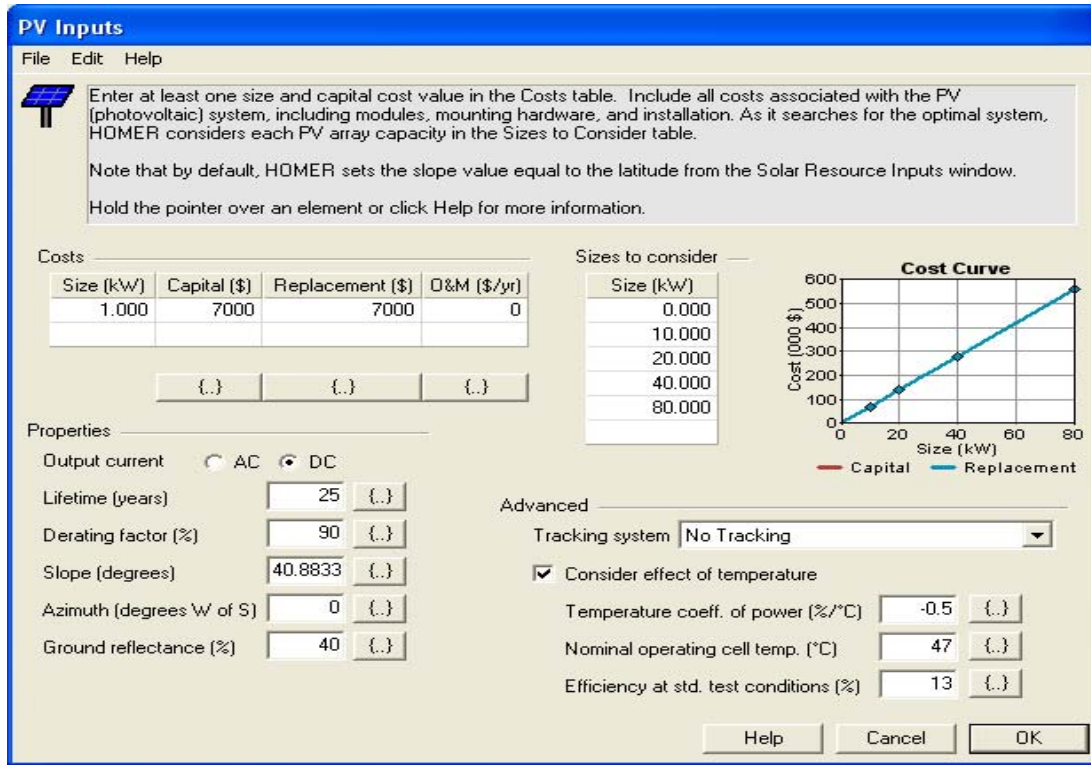
tanımlanmaktadır. HOMER, verim (*efficiency*) değerini fotovoltaik dizinin hücre sıcaklığını hesaplamak için kullanmaktadır. Yaygın olarak kullanılan fotovoltaik modüllerin veri sayfalarında bulunan verim (*efficiency*) değerleri hakkında HOMER'in yaratıcıları tarafından bilimsel ve geniş kapsamlı olmayan bir araştırma yapılmış ve bu araştırmanın sonucunda fotovoltaik modüllerin çeşitli türleri için standart test koşulları altında ortalama verim (*efficiency*) değerleri elde edilmiştir. Elde edilmiş olan bu ortalama verim (*efficiency*) değerleri ise Çizelge 6.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1 : Fotovoltaik modüllerin çeşitli türleri için ortalama verim (*efficiency*) değerleri.

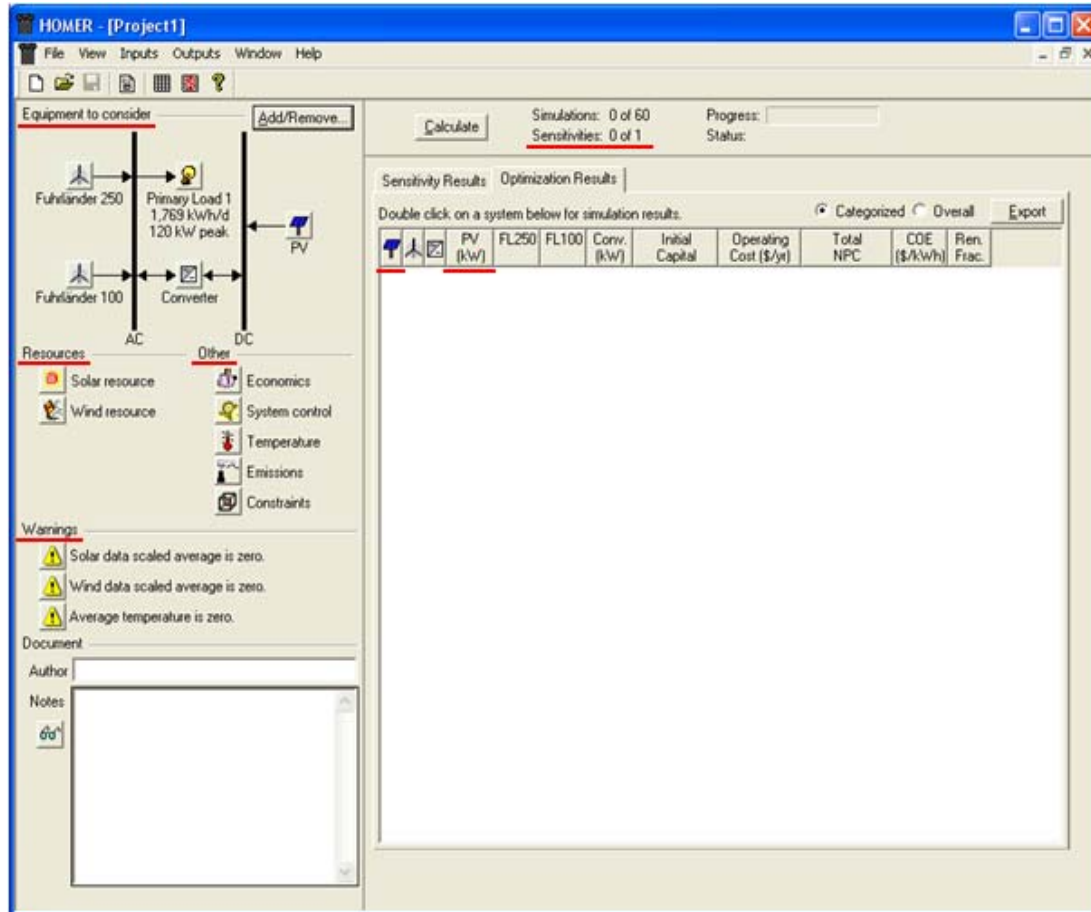
Fotovoltaik Modül Tipi <i>(PV Module Type)</i>	Araştırmadaki Modül Sayısı	STK Altında Verimin Ort. Değeri (%)
Çok kristalli silikon <i>(Polycrystalline silicon)</i>	10	13,0
Tek kristalli silikon <i>(Monocrystalline silicon)</i>	8	13,5
Tek kristalli/amorf silikon hibrid <i>(Monocrystalline/amorphous silicon hybrid)</i>	1	16,4
İnce film amorf silikon <i>(Thin film amorphous silicon)</i>	4	5,5
İnce film BİD <i>(Thin film CIS)</i>	1	8,2

Bu çalışmada, MSX-60 isimli fotovoltaik modülün veri sayfasından verim (*efficiency*) değerine ulaşamadığı fakat bu fotovoltaik modülün çok kristalli silikon yapılı olduğu öğrenildiği için Çizelge 6.1'in referans alınması ile MSX-60 isimli fotovoltaik modülün verim (*efficiency*) değeri %13 olarak belirlenmiştir.

- Bu gerçekleştirilen adımlardan sonra *pv inputs* penceresinin elde edilen görüntüsü Şekil 6.30'da gösterilmiştir.
- *PV inputs* penceresinin gerçekleştirilen adımlardan sonra elde edilen görüntüsünde OK butonuna tıklanılması ile fotovoltaik dizinin modellenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü Şekil 6.31'de gösterilmiştir.



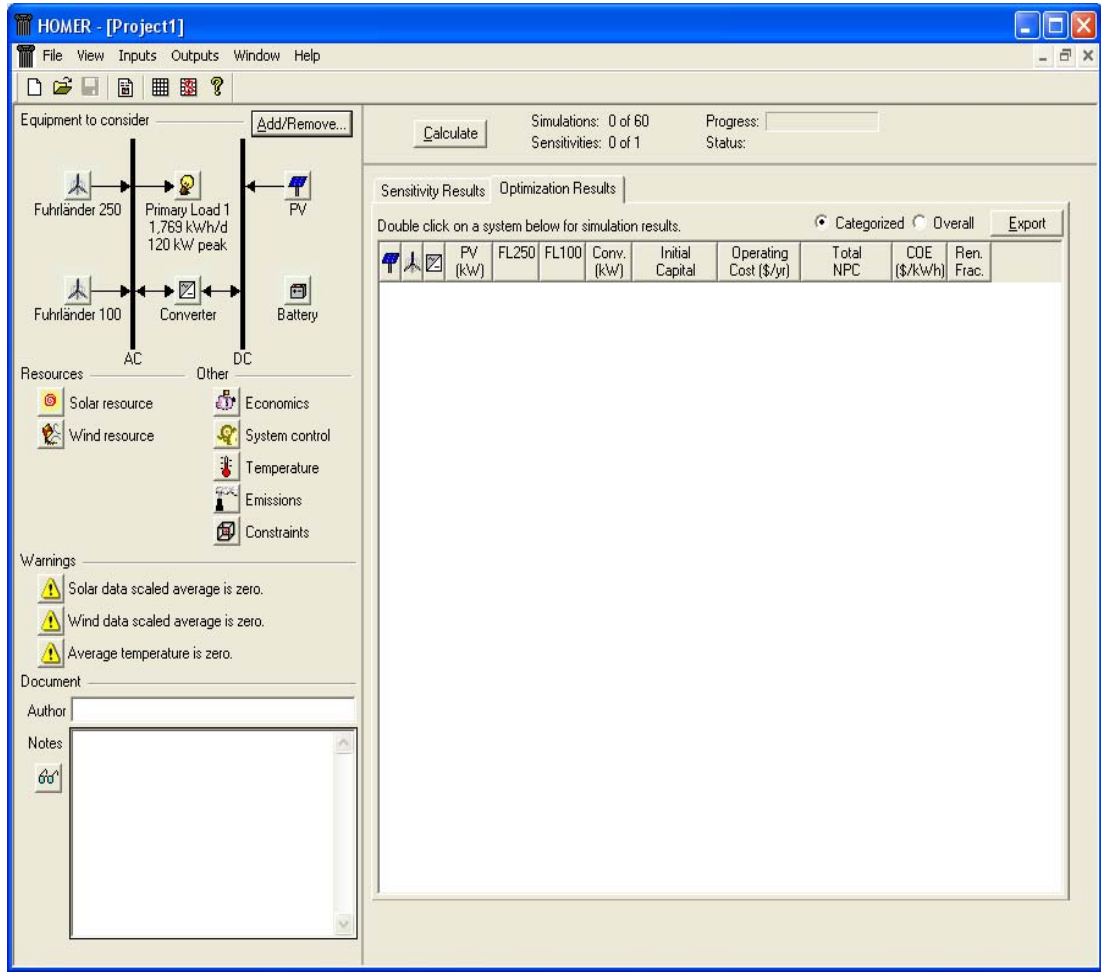
Şekil 6.30 : PV inputs penceresinin elde edilen görüntüsü.



Şekil 6.31 : Fotovoltaik dizinin modellenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü.

6.4.1.5 Bataryanın modellenmesi

• Modellemek istediğimiz örnek hibrid enerji sisteminde bulunan bataryanın HOMER'e eklenmesi işlemi, *add/remove* penceresinde *components* başlığı altında bulunan elemanlardan *battery* kutucuğunun seçilmesi ve daha sonra *OK* butonuna tıklanılması ile gerçekleştirilir. Bataryanın eklenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü Şekil 6.32'de gösterilmiştir.



Şekil 6.32 : Bataryanın eklenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü.

- Bataryanın eklenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntüde *battery* ikonuna tıklanılması ile açılan *battery inputs* penceresi Şekil 6.33 ve Şekil 6.34'de gösterilmiştir.
- Modellemek istediğimiz örnek hibrid enerji sisteminde batarya olarak Şekil 6.34'de *battery inputs* penceresinde görülen HOMER'in batarya kütüphanesinden Surrrette 4KS25P isimli batarya seçilmiştir. Surrrette 4KS25P isimli bataryaya ait teknik bilgilere Ek E bölümünden ulaşılabilir.

Battery Inputs

File Edit Help

Choose a battery type and enter at least one quantity and capital cost value in the Costs table. Include all costs associated with the battery bank, such as mounting hardware, installation, and labor. As it searches for the optimal system, HOMER considers each quantity in the Sizes to Consider table.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Battery type: **Surrette 4KS25P** Details... New... Delete

Battery properties

Manufacturer: Rolls/Surrette
Website: www.rollsbattery.com

Nominal voltage: 4 V
Nominal capacity: 1,900 Ah (7.6 kWh)
Lifetime throughput: 10,569 kWh

Costs

Quantity	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)

{.}

Sizes to consider

Batteries

0

Cost Curve

Advanced

Batteries per string: 1 (4 V bus)

☐ Minimum battery life (yr): 4 {..}

Help Cancel OK

Şekil 6.33 : Battery inputs penceresi.

Battery Inputs

File Edit Help

Choose a battery type and enter at least one quantity and capital cost value in the Costs table. Include all costs associated with the battery bank, such as mounting hardware, installation, and labor. As it searches for the optimal system, HOMER considers each quantity in the Sizes to Consider table.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Battery type: **Surrette 4KS25P** Details... New... Delete

Battery properties

Manufacturer: Rolls/Surrette
Website: www.rollsbattery.com

Nominal voltage: 4 V
Nominal capacity: 1,900 Ah (7.6 kWh)
Lifetime throughput: 10,569 kWh

Costs

Quantity	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)

{.}

Sizes to consider

Batteries

0

Cost Curve

Advanced

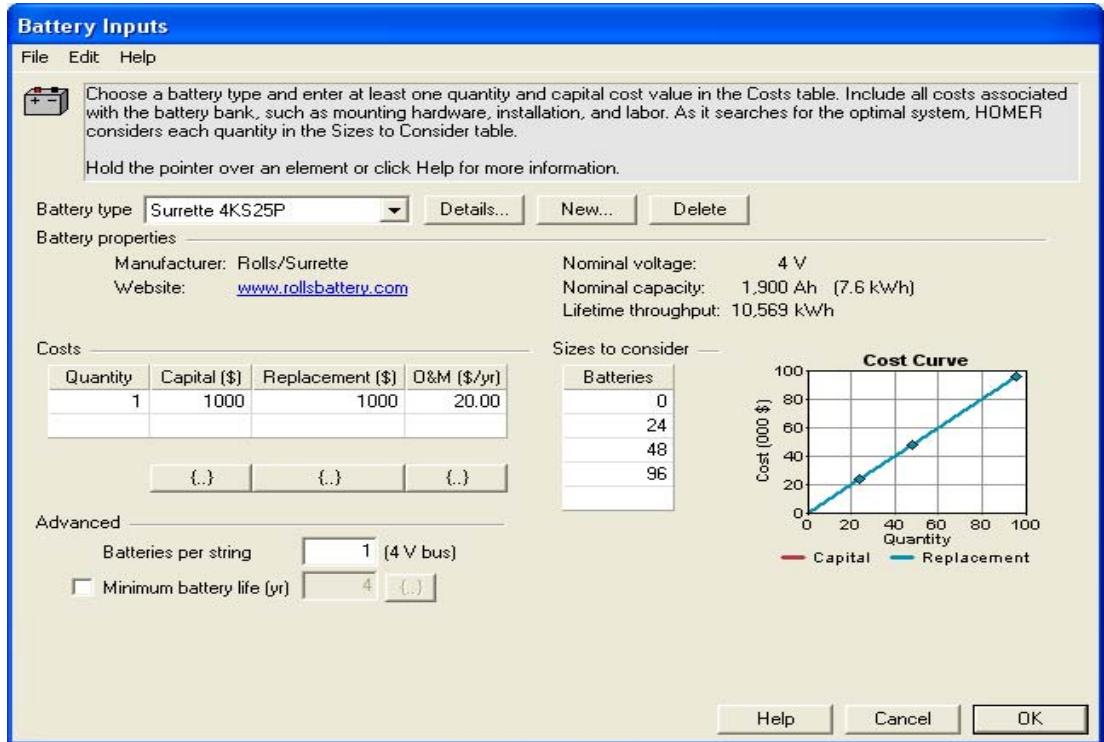
Batteries per string: 1 (4 V bus)

☐ Minimum battery life (yr): 4 {..}

Help Cancel OK

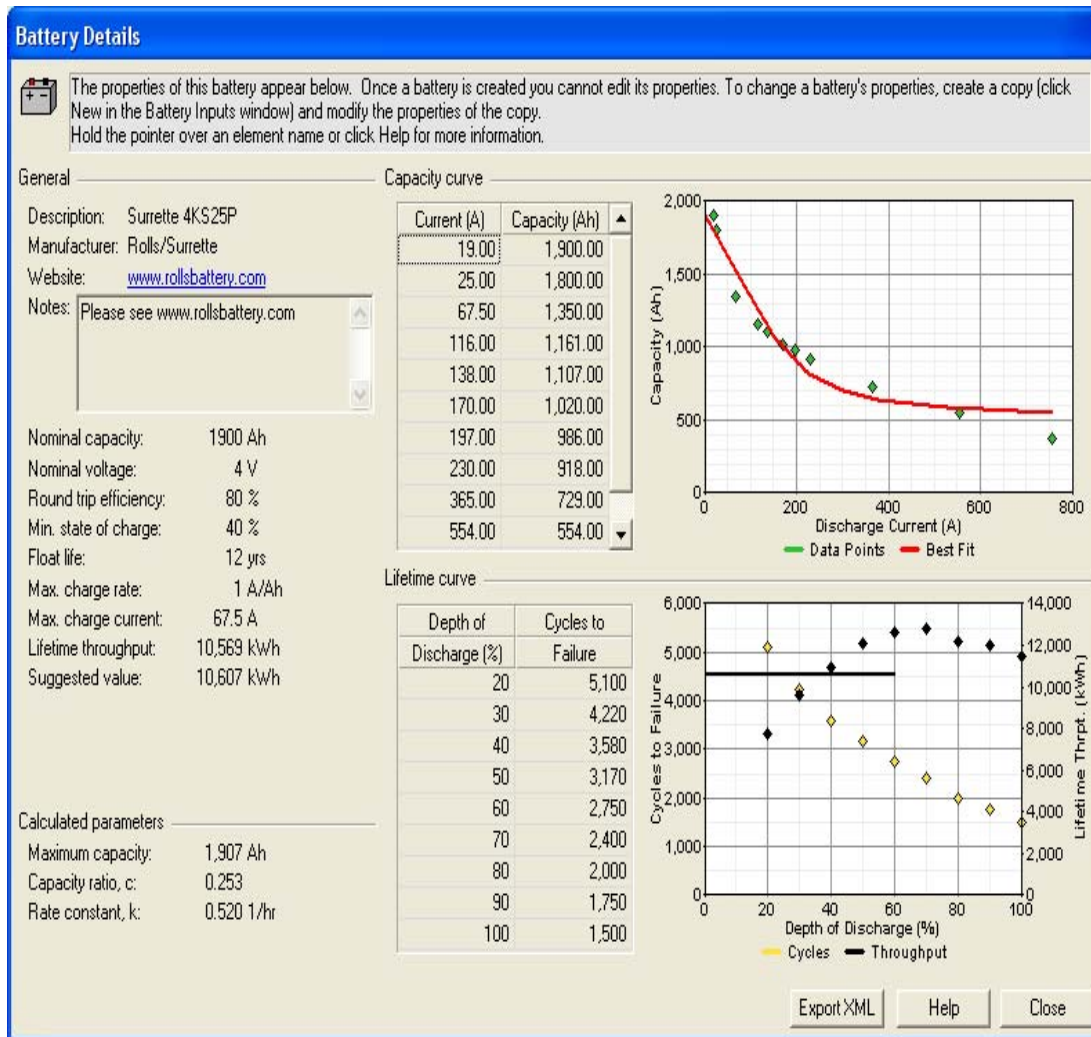
Şekil 6.34 : Battery inputs penceresi.

- *Battery inputs* penceresinde *costs* başlığı altında bulunan değerlerde *quantity* (nicelik) 1, *capital* (sermaye maliyeti) \$1.000 USD, *replacement* (yenileme maliyeti) \$1.000 USD ve *o&m* (işletme ve bakım maliyeti) \$20 USD/yıl olarak belirlenmiştir [35]. Bu değerlerin girilmesinden sonra oluşacak olan tablo, bir adet Surrette 4KS25P isimli bataryanın sermaye maliyetinin \$1.000 USD, yenileme maliyetinin \$1.000 USD ve işletme ve bakım maliyetinin ise \$20 USD/yıl olacağını anlatacaktır. *Sizes to consider* başlığı altında bulunan *batteries* sırasıyla 0, 24, 48 ve 96 olarak belirlenmiştir. Bu dört değer her biri tahmin edileceği üzere farklı sayıdaki bataryayı temsil etmektedir. Bu dört değer girilmesinden sonra oluşacak olan tablo, HOMER'in, bu dört farklı sayıdaki bataryanın her birini gerçekleştirecek olan simülasyonlarda ayrı ayrı dikkate alacağını anlatacaktır.
- *Battery inputs* penceresinde *advanced* başlığı altında bulunan değerlerde *batteries per string* (dizi başına batarya sayısı) ve *minimum battery life* (bataryanın yaşam süresinin alt sınır değeri, bu alt sınırı karşılamayan sistemler HOMER tarafından dikkate alınmazlar) için HOMER'in varsaydığı değerler (*batteries per string* için 1 ve *minimum battery life* için 4) değiştirilmeyerek kullanılmıştır.
- Bu gerçekleştirilen adımlardan sonra *battery inputs* penceresinin elde edilen görüntüsü Şekil 6.35'de gösterilmiştir.

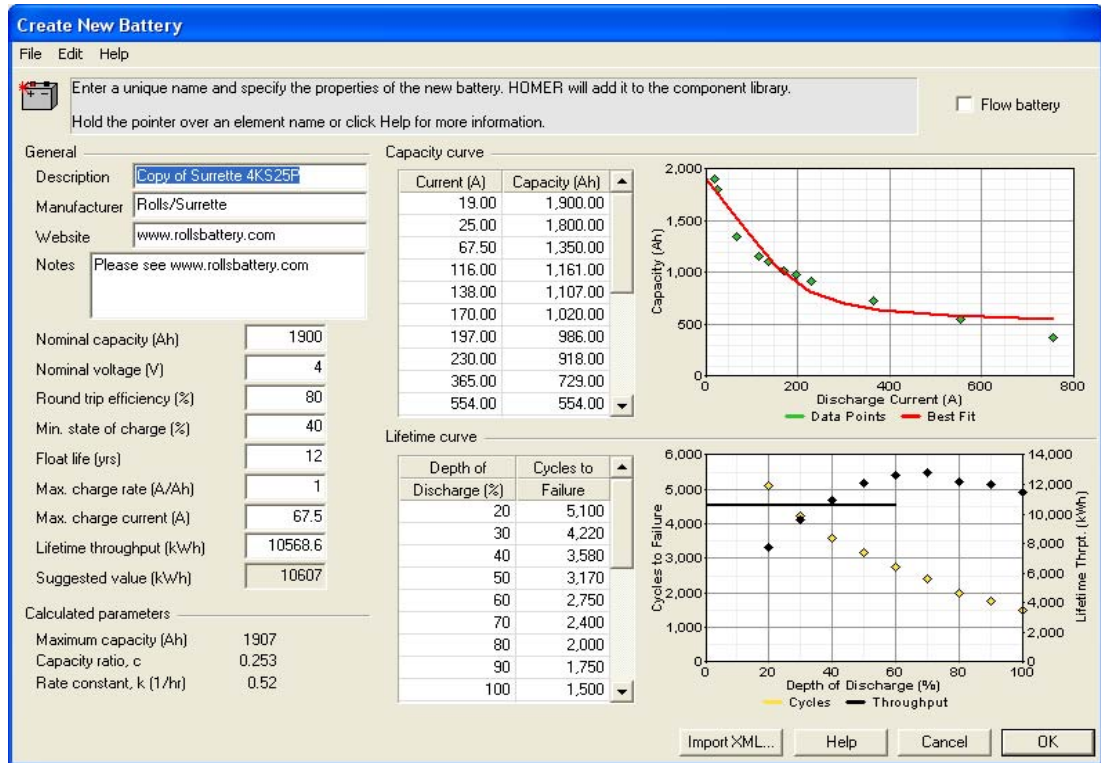


Şekil 6.35 : *Battery inputs* penceresinin elde edilen görüntüsü.

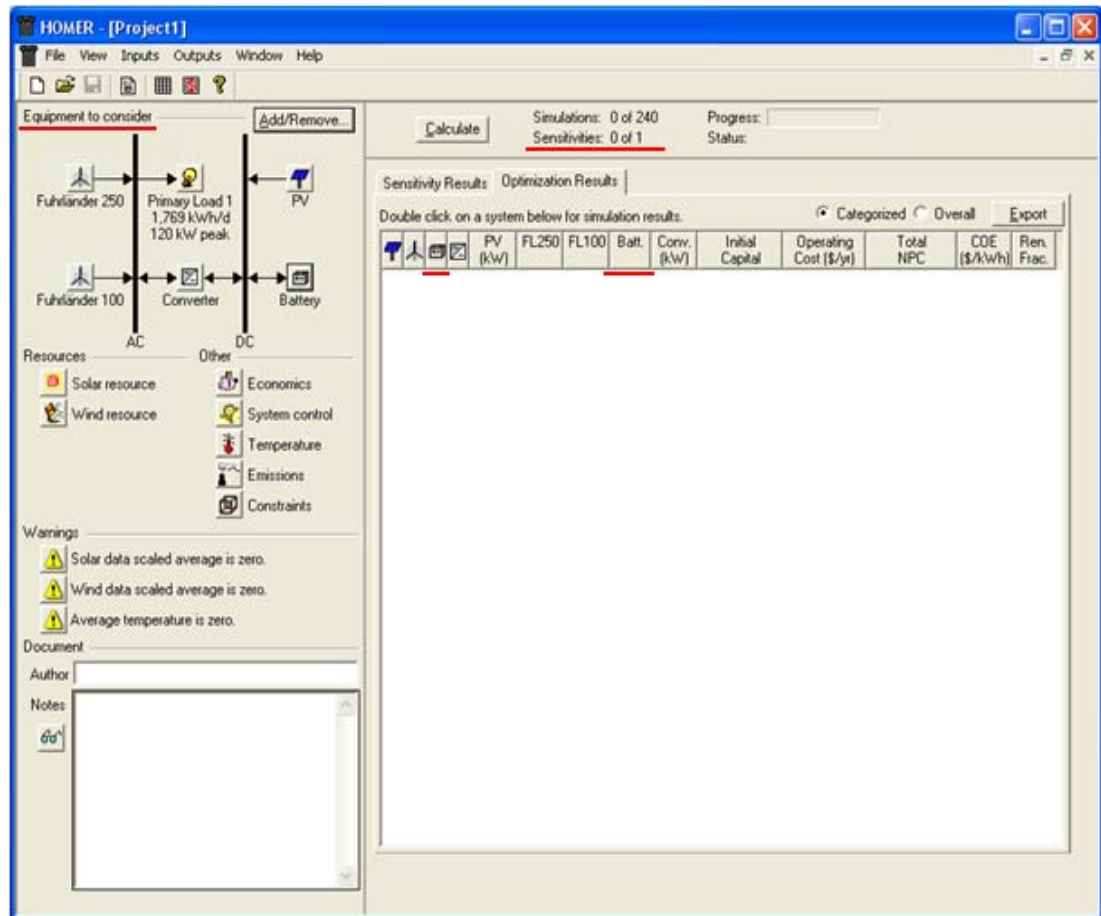
- *Battery inputs* penceresinde bulunan *details* butonuna tıklanıldığı zaman seçilmiş olan bataryaya ait bazı bilgiler içeren *battery details* penceresi açılmaktadır. Surrette 4KS25P isimli bataryaya ait çeşitli bilgileri içeren *battery details* penceresi ise Şekil 6.36'da gösterilmiştir. *Battery inputs* penceresinde bulunan *new* butonuna tıklanıldığı zaman açılan *create new battery* penceresi, kullanıcıya, yeni bir batarya tanımlama ve bunu HOMER'in batarya kütüphanesine ekleme olanağı tanımaktadır. Surrette 4KS25P isimli bataryaya ait *create new battery* penceresi ise Şekil 6.37'de gösterilmiştir. *Battery inputs* penceresinde bulunan *delete* butonu ise seçilmiş olan bataryayı HOMER'in batarya kütüphanesinden silmek için kullanılmaktadır.
- *Battery inputs* penceresinin gerçekleştirilen adımlardan sonra elde edilen görüntüsünde *OK* butonuna tıklanılması ile bataryanın modellenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü Şekil 6.38'de gösterilmiştir.



Şekil 6.36 : Surrette 4KS25P isimli bataryaya ait *battery details* penceresi.



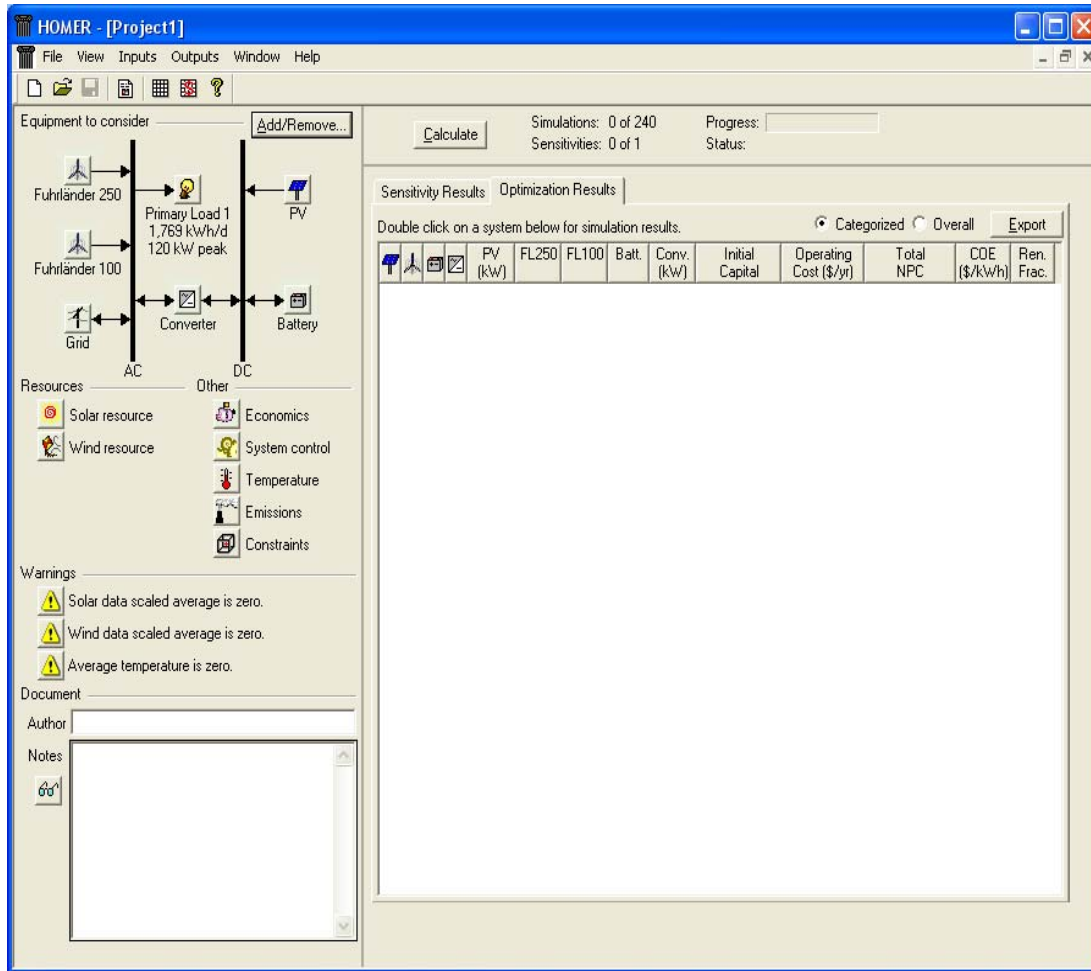
Şekil 6.37 : Surrette 4KS25P isimli bataryaya ait *create new battery* penceresi.



Şekil 6.38 : Bataryanın modellenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü.

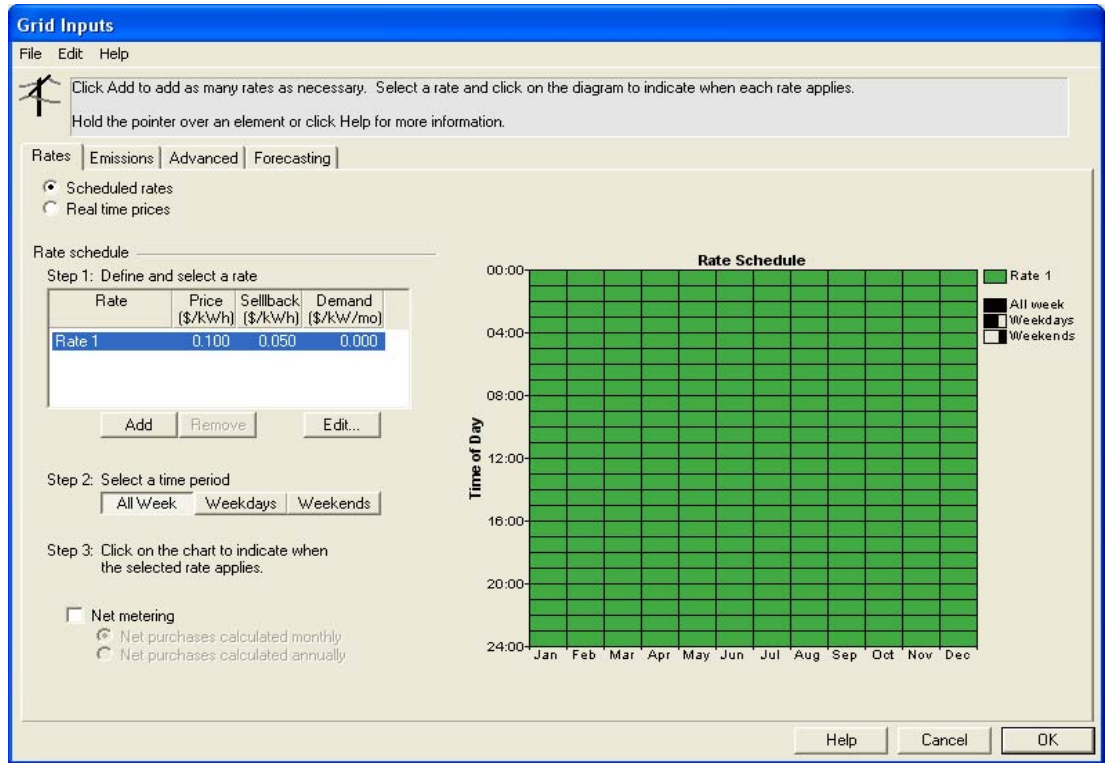
6.4.1.6 Şebekenin modellenmesi

• Modellemek istediğimiz örnek hibrid enerji sisteminde bulunan şebeke bağlantısının HOMER'e eklenmesi işlemi, *add/remove* penceresinde *grid* başlığı altında bulunan seçeneklerden *system is connected to grid* seçeneğinin seçilmesi ve daha sonra *OK* butonuna tıklanılması ile gerçekleştirilir. Şebeke bağlantısının eklenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü Şekil 6.39'da gösterilmiştir.



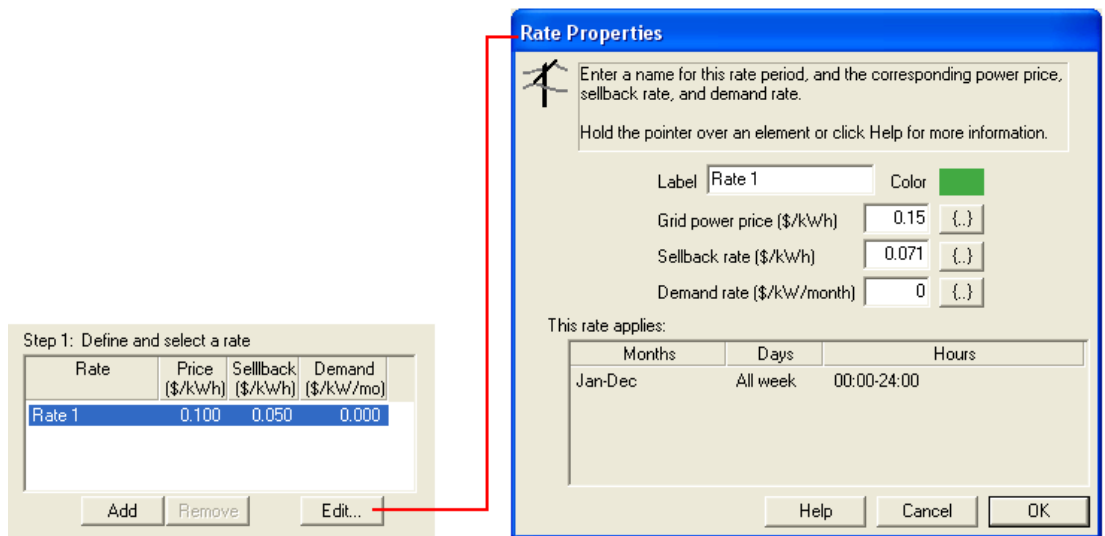
Şekil 6.39 : Şebeke bağlantısının eklenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü.

- Şebeke bağlantısının eklenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntüde *grid* ikonuna tıklanılması ile açılan *grid inputs* penceresi Şekil 6.40'da gösterilmiştir.
- Bu çalışmada, şebekeden satın alınan enerjinin maliyeti ve şebekeye satılan enerjinin geliri ile ilgili değerleri belirtmenin iki seçeneğinden birisi olan *grid inputs* penceresinde *rates* başlığı altında bulunan *scheduled rates* seçeneği seçilmiştir.



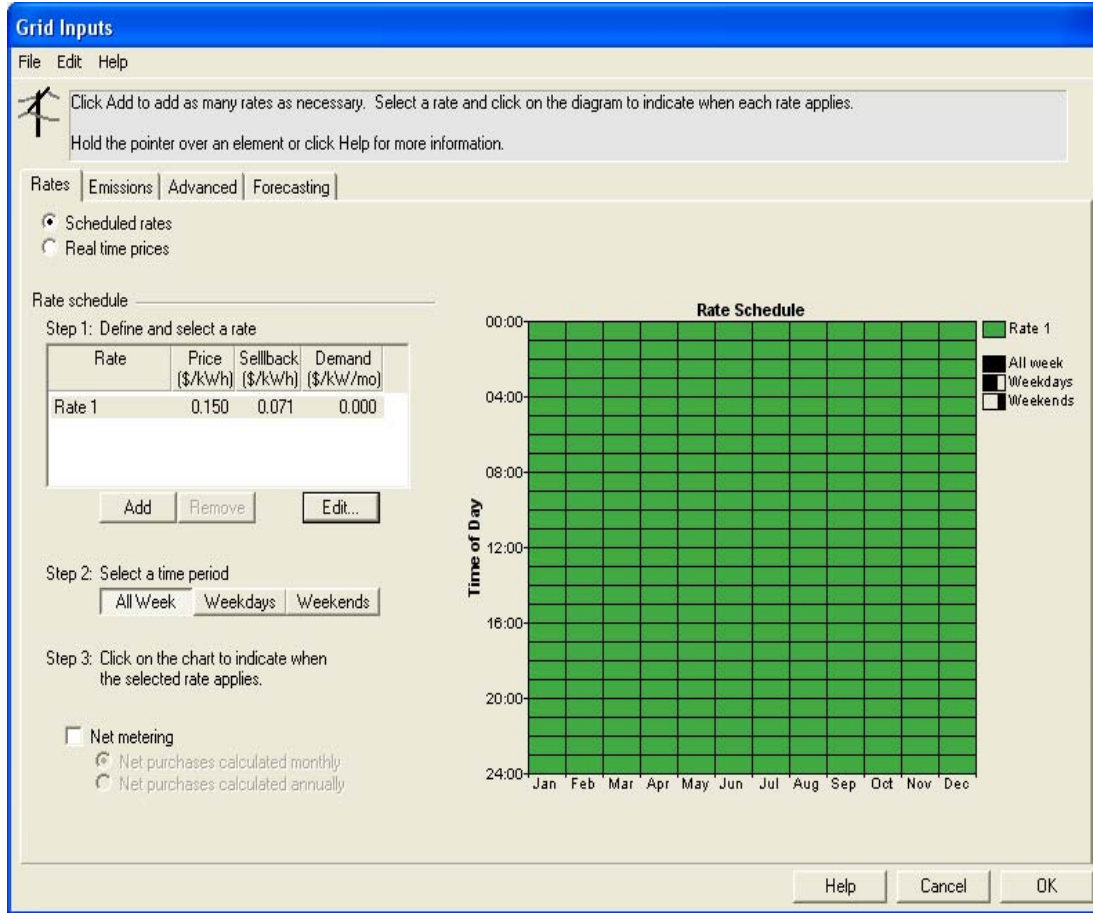
Şekil 6.40 : Grid inputs penceresi.

- Grid inputs penceresinde rates başlığı altında bulunan scheduled rates seçeneğinin seçilmesinin ardından rate schedule başlığı altında bulunan step 1 kısmında edit butonuna tıklanılması ile açılan rate 1 oranının rate properties penceresinde grid power price değerinin 0,15 \$/kWh, sellback rate değerinin 0,071 \$/kWh ve demand rate değerinin 0 \$/kW/month olarak belirlenmesi ve daha sonra OK butonuna tıklanılması ile rate 1 oranının tanımlanması işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu gerçekleştirilen işlem ise Şekil 6.41’de gösterilmiştir.



Şekil 6.41 : Rate 1 oranının tanımlanması işlemi.

- Bu çalışmada, *step 1* kısmında tek bir oran (*rate 1* oranı) tanımlandığı için *step 2* ve *step 3* kısımlarının gerçekleştirilmesine gerek kalmamıştır. Ayrıca yine bu çalışmada *net metering* kutucuğu da işaretlenmemiştir.
- Bu gerçekleştirilen adımlardan sonra *grid inputs* penceresinde *rates* başlığı altında bulunan pencerenin elde edilen görüntüsü Şekil 6.42’de gösterilmiştir.



Şekil 6.42 : *Grid inputs* penceresinde *rates* başlığı altında bulunan pencerenin elde edilen görüntüsü.

- *Grid inputs* penceresinde *emissions* başlığı altında bulunan pencerenin görüntüsü Şekil 6.43’de gösterilmiştir. Bu pencerede, şebeke elektriğinin üretilmesi sırasında açığa çıkan çeşitli gazlar bulunmaktadır. Üretilen şebeke elektriğinin kilowattsaaati başına açığa çıkan bu gazların miktarlarının gram cinsinden belirtilmesi ile enerji sisteminin şebeke elektriğini kullanması sonucu sebep olacağı bu gazların salınım miktarları HOMER tarafından kg/yıl olarak hesaplanmaktadır.
- Türkiye şartlarında üretilen şebeke elektriği miktarına karşılık bu gazların salınım miktarları için sağlıklı verilere ulaşılamadığı sebebiyle bu çalışmada *emissions* başlığı modellenmemiştir.

Grid Inputs
File Edit Help

Click Add to add as many rates as necessary. Select a rate and click on the diagram to indicate when each rate applies.
Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Rates Emissions **Advanced** Forecasting

Emissions factors for grid power

Carbon dioxide (g/kWh)	632	{.}
Carbon monoxide (g/kWh)	0	{.}
Unburned hydrocarbons (g/kWh)	0	{.}
Particulate matter (g/kWh)	0	{.}
Sulfur dioxide (g/kWh)	2.74	{.}
Nitrogen oxides (g/kWh)	1.34	{.}

Help Cancel OK

Şekil 6.43 : *Grid inputs* penceresinde *emissions* başlığı altında bulunan pencere.

- *Grid inputs* penceresinde *advanced* başlığı altında bulunan pencerenin görüntüsü Şekil 6.44’de gösterilmiştir.

Grid Inputs
File Edit Help

Click Add to add as many rates as necessary. Select a rate and click on the diagram to indicate when each rate applies.
Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Rates Emissions **Advanced** Forecasting

Additional charges

Interconnection charge (\$)	0	{.}
Standby charge (\$/yr)	0	{.}

Purchase and sales capacities

Sale capacity (kW)	1000	{.}
Purchase capacity (kW)	1000.000	

Constraints

☐ Maximum net grid purchases (kWh/yr) 0 {.}

Control parameters

☐ Prohibit grid from charging battery above power price of (\$/kWh)	0.15	{.}
☐ Prohibit any battery charging above power price of (\$/kWh)	0.15	{.}
☐ Prohibit battery from discharging below power price of (\$/kWh)	0.1	{.}
☐ Prohibit grid sales from battery below sellback rate of (\$/kWh)	0.05	{.}
☐ Prohibit any grid sales below sellback rate of (\$/kWh)	0.05	{.}

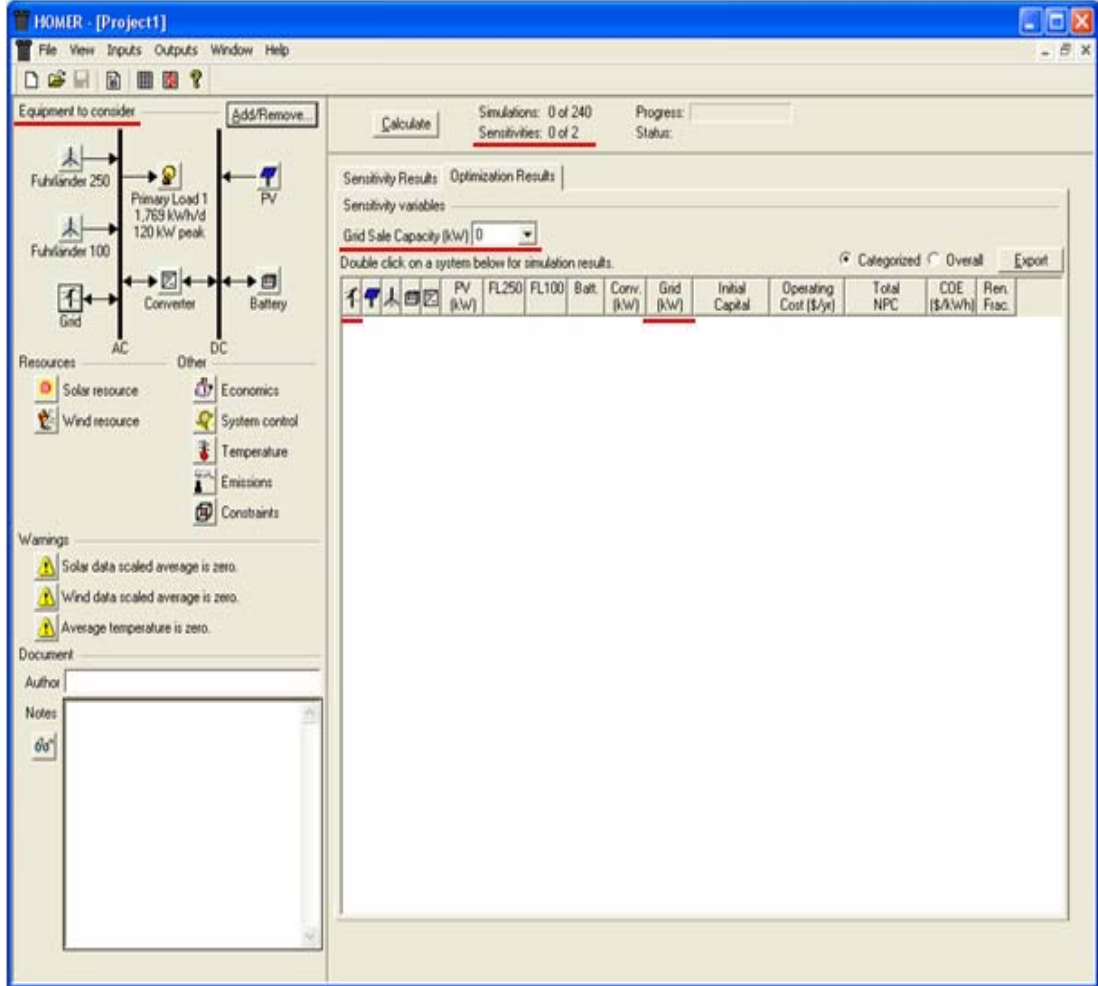
Help Cancel OK

Şekil 6.44 : *Grid inputs* penceresinde *advanced* başlığı altında bulunan pencere.

- Bu *advanced* başlığı altında bulunan pencerede *additional charges* başlığı altında yer alan *interconnection charge* değeri bir dağıtılmış enerji sisteminin şebekeye yapılacak olan bağlantısının maliyetini ve *standby charge* değeri bir dağıtılmış enerji sistemine yedek şebeke enerjisi sağlamak için elektrik şirketi tarafından yıllık olarak talep edilen ücreti tanımlamaktadır. Bu çalışmada, bu iki değer de modellenmemiştir.
- Bu *advanced* başlığı altında bulunan pencerede *purchase and sales capacities* başlığı altında yer alan *sale capacity* değeri için bu değer üzerinde hassaslık analizi gerçekleştirilmesi amacı ile 0 ve 1.000 kW değerleri, *purchase capacity* değeri için ise 1.000 kW değeri belirlenmiştir.
- Bu *advanced* başlığı altında bulunan pencerede *constraints* başlığı altında yer alan değer ve *control parameters* başlığı altında yer alan değerler bu çalışmada modellenmemiştir.
- Bu gerçekleştirilen adımlardan sonra *grid inputs* penceresinde *advanced* başlığı altında bulunan pencerenin elde edilen görüntüsü Şekil 6.45’de gösterilmiştir.

Şekil 6.45 : *Grid inputs* penceresinde *advanced* başlığı altında bulunan pencerenin elde edilen görüntüsü.

- *Grid inputs* penceresinde gerçekleştirilen adımlardan sonra *OK* butonuna tıklanılması ile şebekenin modellenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü Şekil 6.46'da gösterilmiştir.



Şekil 6.46 : Şebekenin modellenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü.

6.4.2 Örnek hibrid enerji sisteminde kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarının modellenmesi

6.4.2.1 Güneş kaynağının modellenmesi

- Fotovoltaik dizinin eklenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntüde (Şekil 6.27) *resources* başlığı altında bulunan *solar resource* ikonu HOMER tarafından otomatik olarak eklenmiştir.
- HOMER'in açılış penceresinde *resources* başlığı altında bulunan bu *solar resource* ikonuna tıklanılması ile açılan *solar resource inputs* penceresi Şekil 6.47'de gösterilmiştir.

Solar Resource Inputs

File Edit Help

HOMER uses the solar resource inputs to calculate the PV array power for each hour of the year. Enter the latitude, and either an average daily radiation value or an average clearness index for each month. HOMER uses the latitude value to calculate the average daily radiation from the clearness index and vice-versa.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Location

Latitude ° ' ☒ North ☐ South Time zone

Longitude ° ' ☒ East ☐ West

Data source: ☒ Enter monthly averages ☐ Import time series data file

Baseline data

Month	Clearness Index	Daily Radiation (kWh/m ² /d)
January	0.000	0.000
February	0.000	0.000
March	0.000	0.000
April	0.000	0.000
May	0.000	0.000
June	0.000	0.000
July	0.000	0.000
August	0.000	0.000
September	0.000	0.000
October	0.000	0.000
November	0.000	0.000
December	0.000	0.000

Average: 0.000 0.000

Scaled annual average (kWh/m²/d)

Global Horizontal Radiation

Plot... Export... Help Cancel OK

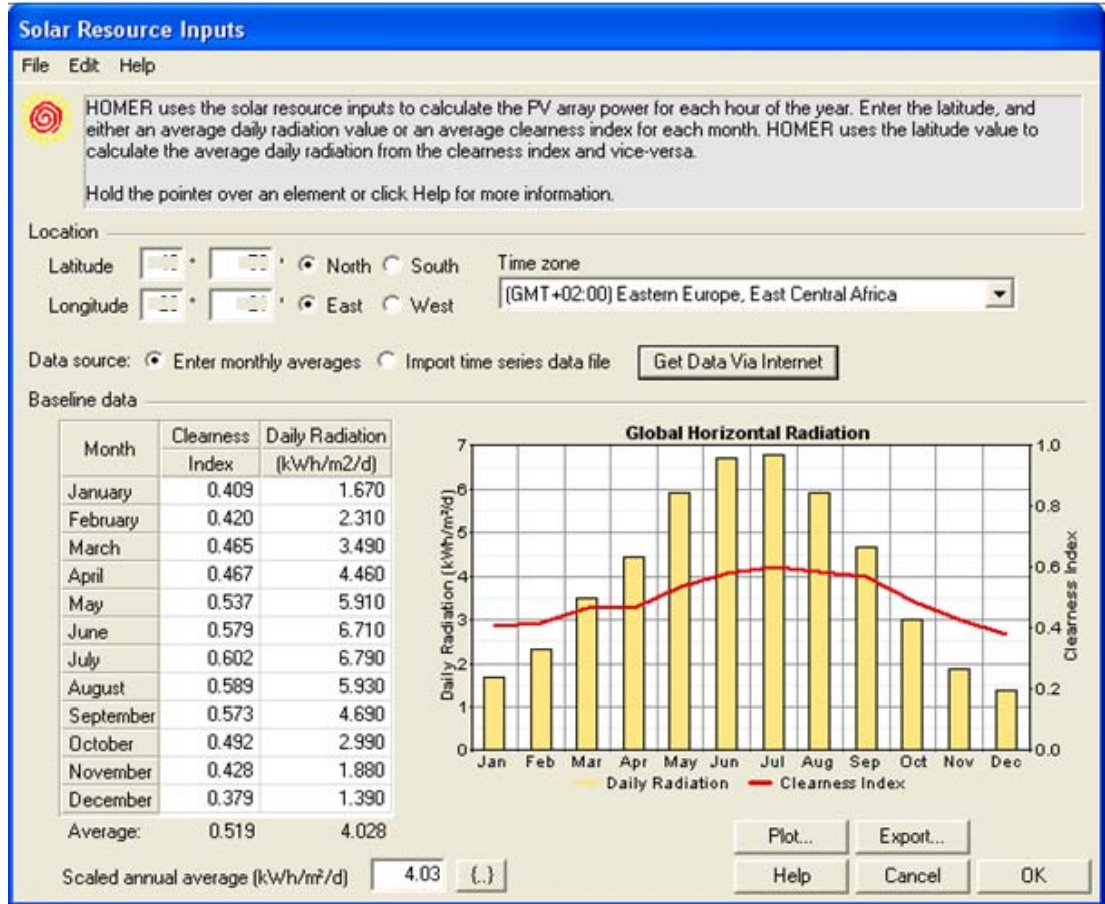
Şekil 6.47 : Solar resource inputs penceresi.

• *Solar resource inputs* penceresinde *location* başlığı altında bulunan *latitude* (enlem) ve *longitude* (boylam) bilgileri için örnek hibrid enerji sisteminin incelenen bölgesinin enlem ve boylam bilgileri belirtilmiştir ancak bu bilgiler uygun olmayacağı sebebiyle bu çalışmada açık olarak yazılmamıştır. *Time zone* (zaman dilimi) kısmında ise örnek hibrid enerji sisteminin incelenen bölgesinin bulunduğu ülke olan Türkiye'nin zaman dilimi (*GMT +02:00 Eastern Europe, East Central Africa*) seçilmiştir.

• *Solar resource inputs* penceresinde *data source* kısmında bulunan *enter monthly averages* ve *import time series data file* seçenekleri güneş kaynağı verisini HOMER'e aktarmanın iki ayrı yolunu temsil etmektedirler. *Enter monthly averages* seçeneği seçildiği zaman ya yılın her bir ayına ait *daily radiation* (ortalama günlük güneş ışınlamı) veya *clearness index* (bulutsuzluk indeksi) değeri girilmeli yada *get data via internet* butonu kullanılarak yılın her bir ayına ait *daily radiation* ve *clearness index* değerleri internet aracılığı ile elde edilmelidir. *Import time series data file* seçeneği seçildiği zaman ise saatlik güneş ışınlamı verisi *import file* butonu

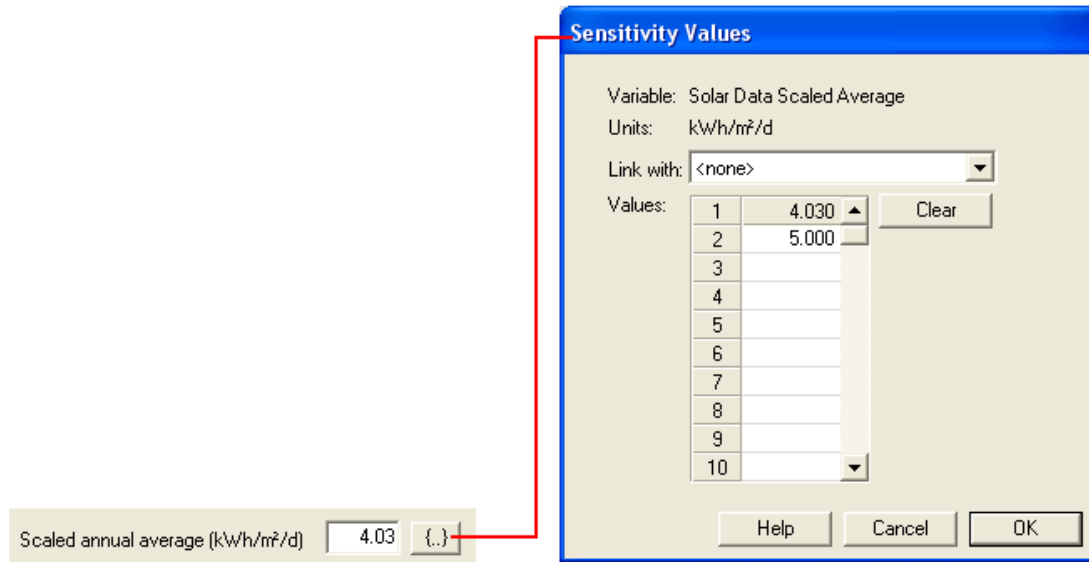
kullanılarak HOMER'e aktarılmalıdır. Bu çalışmada, *enter monthly averages* seçeneği seçilmiş ve yılın her bir ayına ait *daily radiation* ve *clearness index* değerleri *get data via internet* butonu kullanılarak internet aracılığı ile elde edilmiştir.

- Bu gerçekleştirilen adımlardan sonra *solar resource inputs* penceresinin elde edilen görüntüsü Şekil 6.48'de gösterilmiştir.



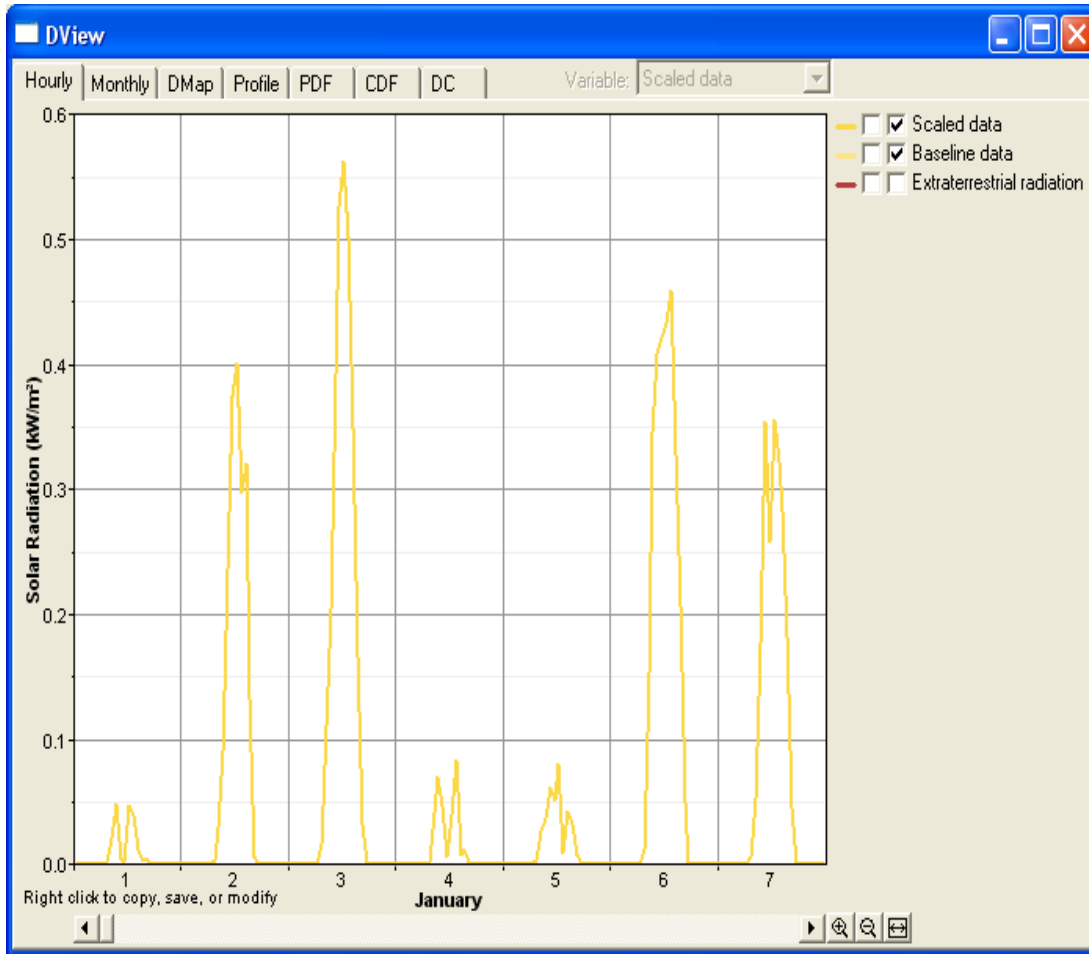
Şekil 6.48 : *Solar resource inputs* penceresinin elde edilen görüntüsü.

- *Solar resource inputs* penceresinde bulunan *scaled annual average* değeri, HOMER'in simülasyon sırasında kullandığı yıllık ortalama güneş ışıınımı değerini tanımlamaktadır. Daha fazla güneş ışıınımı alan başka bir bölgede, HOMER'in, örnek hibrid enerji sistemi için ne gibi durumlara karar vereceğini gözlemlemek amacıyla bu çalışmada güneş ışıınımı üzerinde hassaslık analizi işleminin gerçekleştirilmesine karar verilmiştir. Bu sebeple, *scaled annual average* değeri için sahip olduğu 4,03 kWh/m²/gün değeri dışında bir de 5,00 kWh/m²/gün değeri belirlenmiş olup gerçekleştirilen bu güneş ışıınımı için hassaslık değeri tanımlanması işlemi Şekil 6.49'da gösterilmiştir.



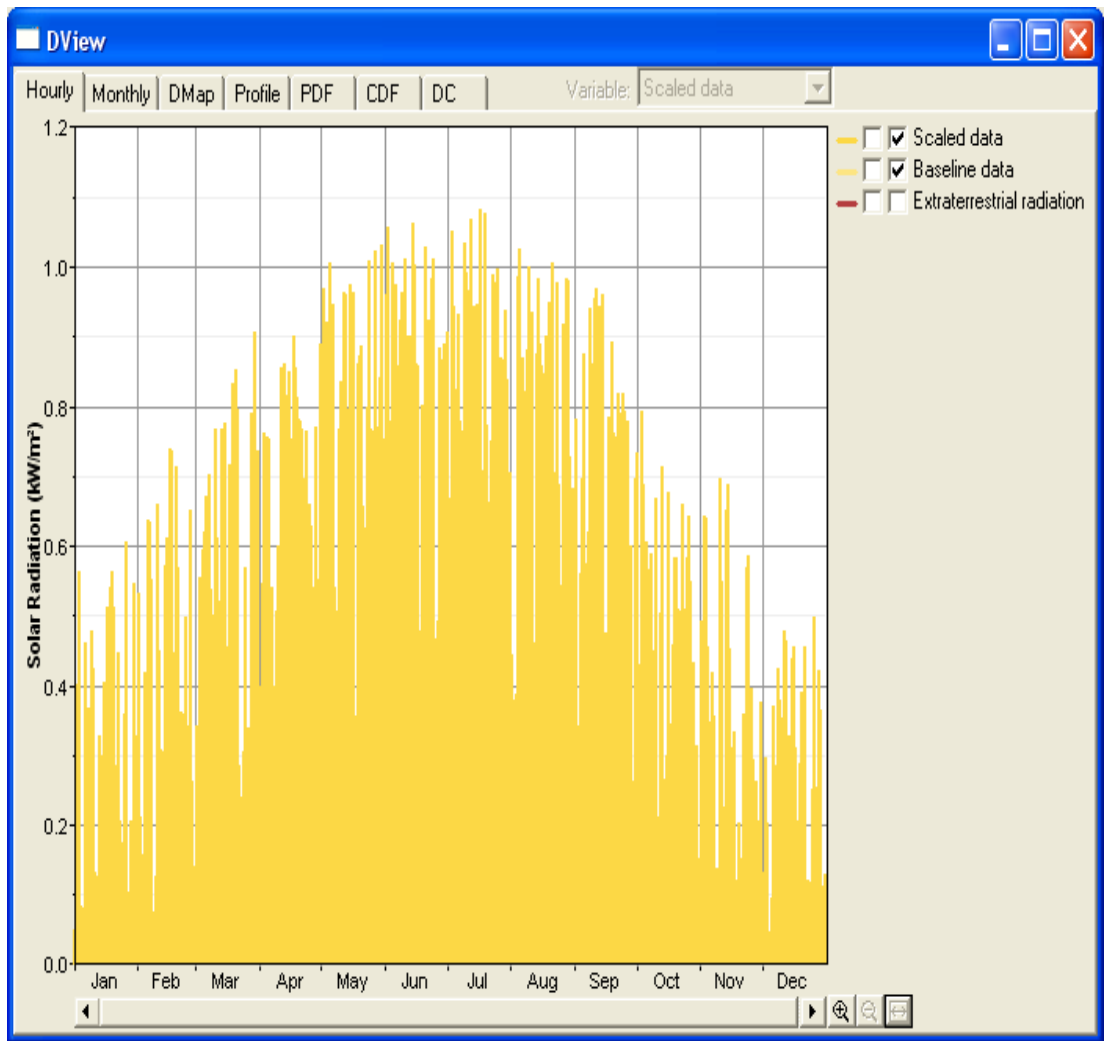
Şekil 6.49 : Güneş ışınlamı için hassaslık değeri tanımlanması işlemi.

- *Solar resource inputs* penceresinde bulunan *plot* butonuna tıklanılması ile açılacak olan *dview* penceresi vasıtasıyla güneş ışınlamı ile ilgili birçok grafiğe ulaşılabilir. Bu *dview* penceresinin açılış görüntüsü Şekil 6.50’de gösterilmiştir.



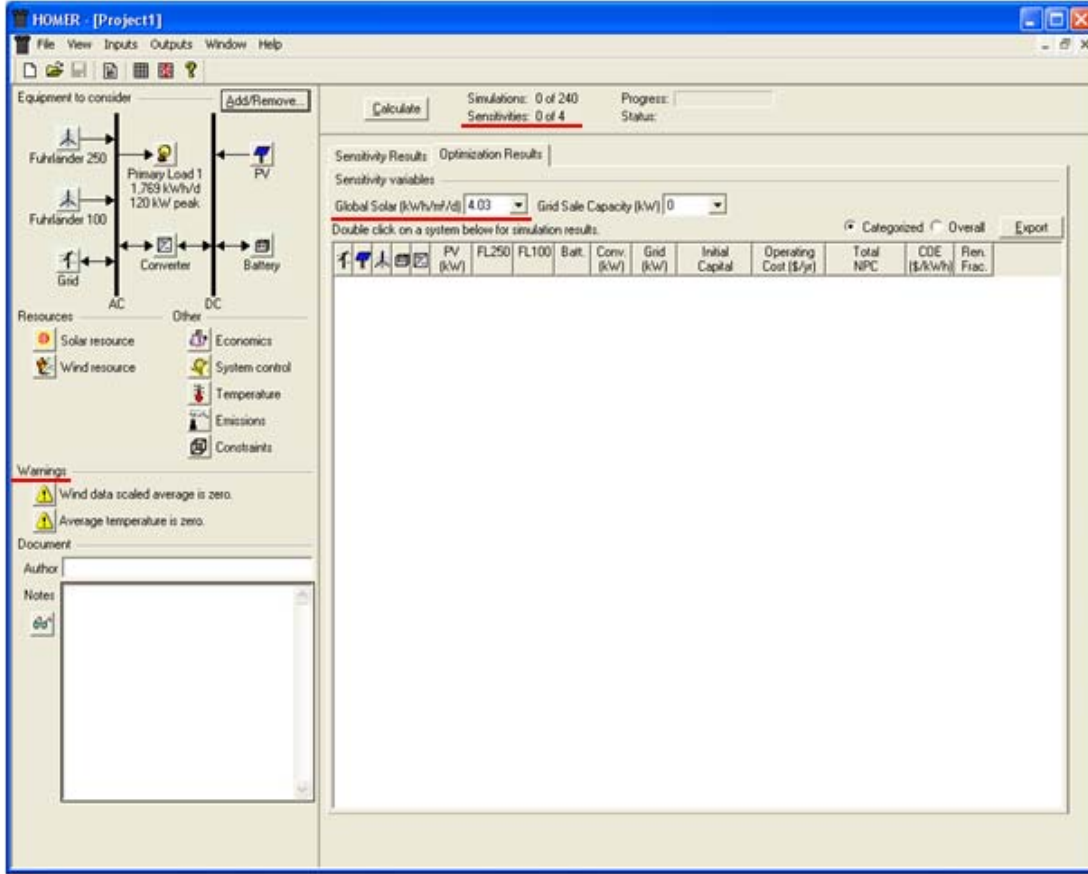
Şekil 6.50 : *Dview* penceresinin açılış görüntüsü.

Bu *dview* penceresinin açılış görüntüsü ilk olarak *hourly* başlığına ait grafiği göstermektedir. *Hourly* başlığı altında bulunan bu grafik vasıtası ile kaydırma çubuğu kullanılarak yılın her bir gününe ait güneş ışıını egrisine, yakınlaştırma butonu kullanılarak yıl içerisindeki herhangi bir günün saatlik güneş ışıını egrisine ve uzaklaştırma butonu kullanılarak ise ilk önce aylık güneş ışıını egrilerine daha sonra yıllık güneş ışıını egrisine ulaşılabilir. *Dview* penceresinde *hourly* başlığı altında görülebilecek en önemli grafiklerden birisi olan yıllık güneş ışıını egrisi Şekil 6.51’de gösterilmiş olup bu egriyi tüm veriyi gösterecek şekilde yakınlaştırma butonu kullanılarak doğrudan ulaşılabilir.



Şekil 6.51 : Yıllık güneş ışıını egrisi.

- *Solar resource inputs* penceresinin gerçekleştirilen adımlardan sonra elde edilen görüntüsünde *OK* butonuna tıklanılması ile güneş kaynağının modellenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER’in açılış penceresinde oluşan görüntü Şekil 6.52’de gösterilmiştir.



Şekil 6.52 : Güneş kaynağının modellenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü.

6.4.2.2 Rüzgar kaynağının modellenmesi

- Birinci rüzgar türbininin eklenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntüde (Şekil 6.5) *resources* başlığı altında bulunan *wind resource* ikonu HOMER tarafından otomatik olarak eklenmiştir.
- HOMER'in açılış penceresinde *resources* başlığı altında bulunan bu *wind resource* ikonuna tıklanılması ile açılan *wind resource inputs* penceresi Şekil 6.53'de gösterilmiştir.
- *Wind resource inputs* penceresinde *data source* kısmında bulunan *enter monthly averages* ve *import time series data file* seçenekleri rüzgar kaynağı verisini HOMER'e aktarmanın iki ayrı yolunu temsil etmektedirler. *Enter monthly averages* seçeneği seçildiği zaman yılın her bir ayına ait *wind speed* (ortalama rüzgar hızı) değeri girilmelidir. *Import time series data file* seçeneği seçildiği zaman ise saatlik rüzgar hızı verisi *import file* butonu kullanılarak HOMER'e aktarılmalıdır. Bu çalışmada, *enter monthly averages* seçeneği seçilmiş ve daha sonra yılın her bir ayına ait ortalama rüzgar hızı değeri girilmiştir. Bu ortalama rüzgar hızı değerleri, örnek

hibrid enerji sisteminin incelenen bölgesinin 50 metre yükseklikteki rüzgar hızı değerleridir. Ayrıca bu ortalama rüzgar hızı değerleri Elektrik İşleri Etüt İdaresinden sağlanmış olup sağlanan bu değerler Şekil 6.54’de gösterilmiştir.

Wind Resource Inputs

File Edit Help

HOMER uses wind resource inputs to calculate the wind turbine power each hour of the year. Enter the average wind speed for each month. For calculations, HOMER uses scaled data: baseline data scaled up or down to the scaled annual average value. The advanced parameters allow you to control how HOMER generates the 8760 hourly values from the 12 monthly values in the table.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Data source: ☒ Enter monthly averages ☐ Import time series data file

Baseline data

Month	Wind Speed (m/s)
January	0.000
February	0.000
March	0.000
April	0.000
May	0.000
June	0.000
July	0.000
August	0.000
September	0.000
October	0.000
November	0.000
December	0.000
Annual average:	0.000

Wind Resource

Wind Speed (m/s)

Jan Feb Mar Apr May Jun Jul Aug Sep Oct Nov Dec

Other parameters

Altitude (m above sea level)

Anemometer height (m)

Advanced parameters

Weibull k

Autocorrelation factor

Diurnal pattern strength

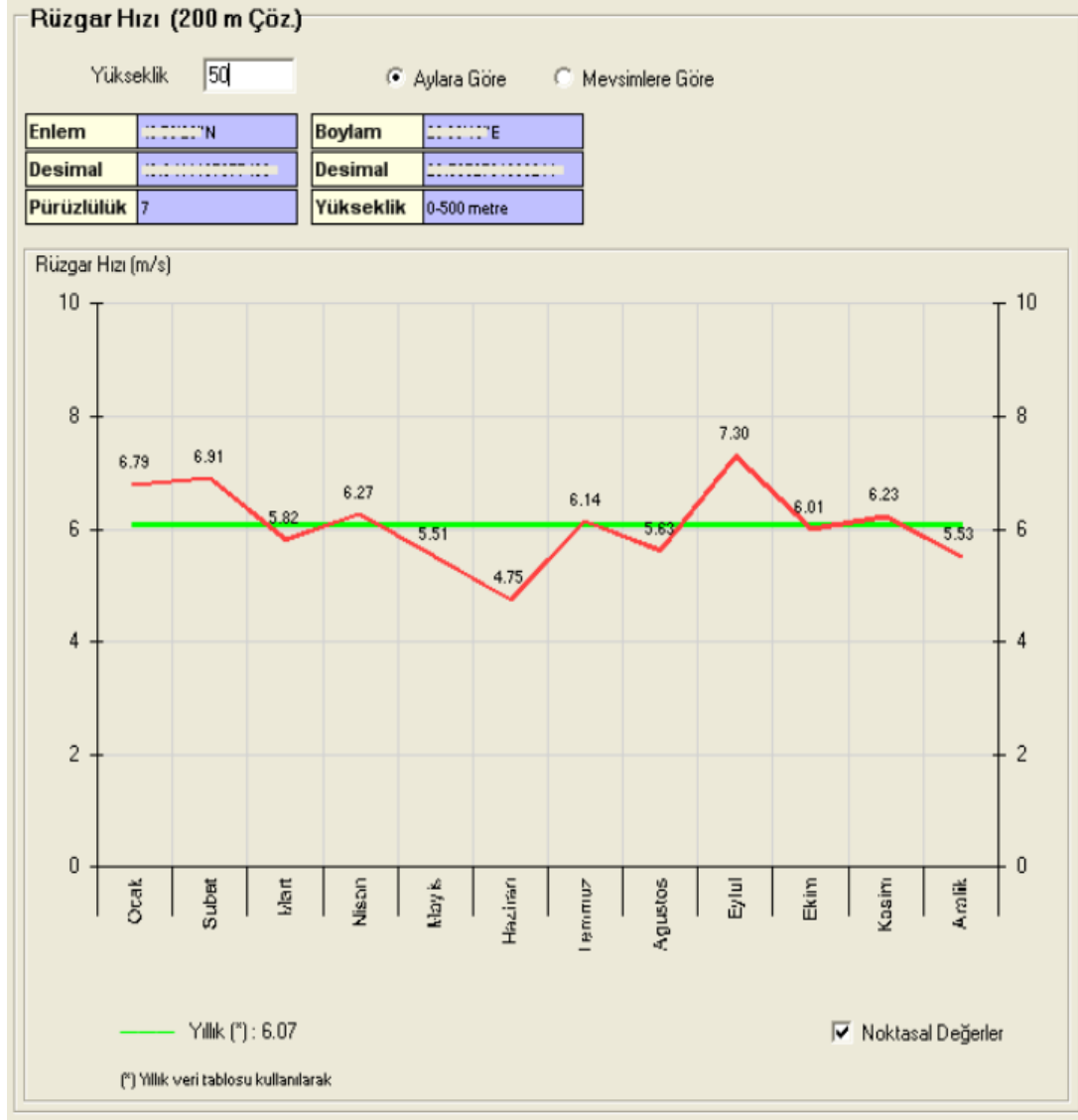
Hour of peak windspeed

Scaled annual average (m/s)

Şekil 6.53 : Wind resource inputs penceresi.

- Wind resource inputs penceresinde other parameters başlığı altında bulunan değerlerde altitude (deniz seviyesinden yükseklik) 98 metre ve anemometer height (rüzgar hızının ölçüldüğü noktanın yerden yüksekliği) 50 metre olarak belirlenmiştir.
- Wind resource inputs penceresinde advanced parameters başlığı altında bulunan değerlerde weibull k yıl boyuncaki rüzgar hızları dağılımının genişliğini tanımlayan bir değer olup tipik olarak 1,5 ile 2,5 aralığında değişmekte, autocorrelation factor herhangi bir saatteki rüzgar hızının bir önceki saatteki rüzgar hızına ortalama olarak ne kadar bağlı olduğunun bir ölçüsü olup tipik olarak 0,80 ile 0,95 aralığında değişmekte, diurnal pattern strength rüzgar hızının gün içerisindeki saate ne kadar bağlı olduğunun bir ölçüsü olup tipik olarak 0,0 ile 0,4 aralığında değişmekte ve hour of peak wind speed ise yıl boyunca ortalama olarak en rüzgarlı olma eğiliminde olan

gün içerisindeki saat sayısını tanımlayan bir değer olup tipik olarak 14 ile 16 aralığında değişmektedir. Bu çalışmada, *weibull k* 2, *autocorrelation factor* 0,85, *diurnal pattern strength* 0,25 ve *hour of peak wind speed* 15 olarak belirlenmiştir.



Şekil 6.54 : Ortalama rüzgar hızı değerleri.

- Bu gerçekleştirilen adımlardan sonra *wind resource inputs* penceresinin elde edilen görüntüsü Şekil 6.55’de gösterilmiştir.
- *Wind resource inputs* penceresinde bulunan *scaled annual average* değeri, HOMER’in simülasyon sırasında kullandığı yıllık ortalama rüzgar hızı değerini tanımlamaktadır. Daha yüksek rüzgar hızına sahip başka bir bölgede, HOMER’in, örnek hibrid enerji sistemi için ne gibi durumlara karar vereceğini gözlemlemek amacıyla bu çalışmada rüzgar hızı üzerinde hassaslık analizi işleminin gerçekleştirilmesine karar verilmiştir. Bu sebeple, *scaled annual average* değeri için

sahip olduğu 6,07 m/s değeri dışında bir de 9,00 m/s değeri belirlenmiş olup gerçekleştirilen bu rüzgar hızı için hassaslık değeri tanımlanması işlemi Şekil 6.56’da gösterilmiştir.

Wind Resource Inputs

File Edit Help

HOMER uses wind resource inputs to calculate the wind turbine power each hour of the year. Enter the average wind speed for each month. For calculations, HOMER uses scaled data: baseline data scaled up or down to the scaled annual average value. The advanced parameters allow you to control how HOMER generates the 8760 hourly values from the 12 monthly values in the table.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Data source: ☒ Enter monthly averages ☐ Import time series data file

Baseline data

Month	Wind Speed (m/s)
January	6.790
February	6.910
March	5.820
April	6.270
May	5.510
June	4.750
July	6.140
August	5.630
September	7.300
October	6.010
November	6.230
December	5.530
Annual average:	6.067

Wind Speed (m/s)

Jan Feb Mar Apr May Jun Jul Aug Sep Oct Nov Dec

Other parameters: Altitude (m above sea level) Anemometer height (m)

Advanced parameters: Weibull k Autocorrelation factor Diurnal pattern strength Hour of peak windspeed

Scaled annual average (m/s)

Şekil 6.55 : *Wind resource inputs* penceresinin elde edilen görüntüsü.

Sensitivity Values

Variable: Wind Data Scaled Average

Units: m/s

Link with:

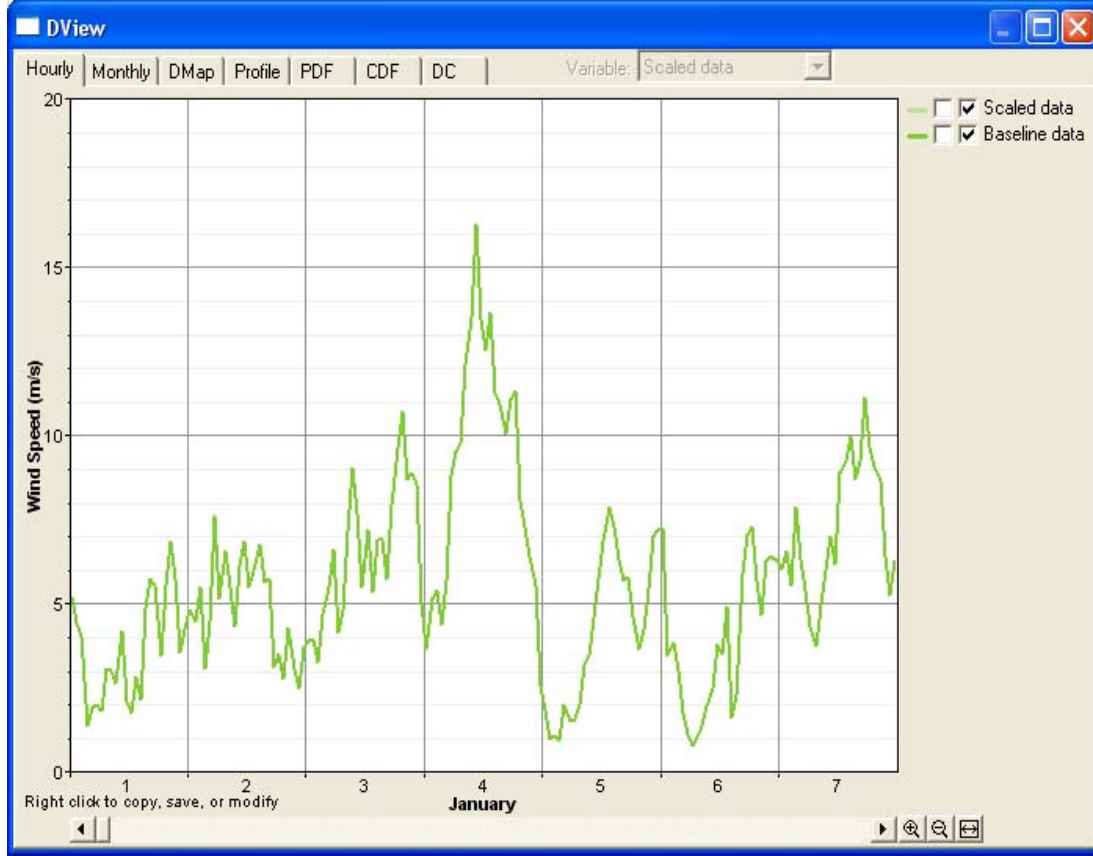
Values:

1	6.070
2	9.000
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

Scaled annual average (m/s)

Şekil 6.56 : Rüzgar hızı için hassaslık değeri tanımlanması işlemi.

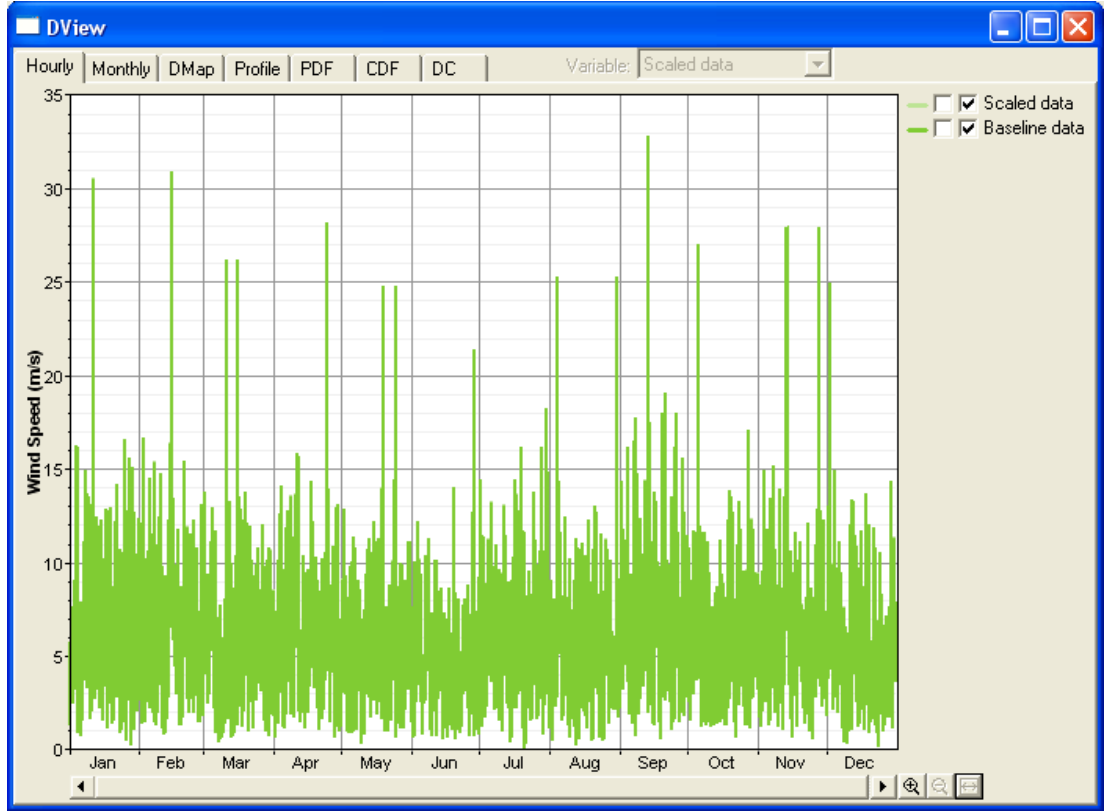
- *Wind resource inputs* penceresinde bulunan *plot* butonuna tıklanılması ile açılacak olan *dview* penceresi vasıtasıyla rüzgar hızı ile ilgili birçok grafiğe ulaşılabilir. Bu *dview* penceresinin açılış görüntüsü Şekil 6.57’de gösterilmiştir.



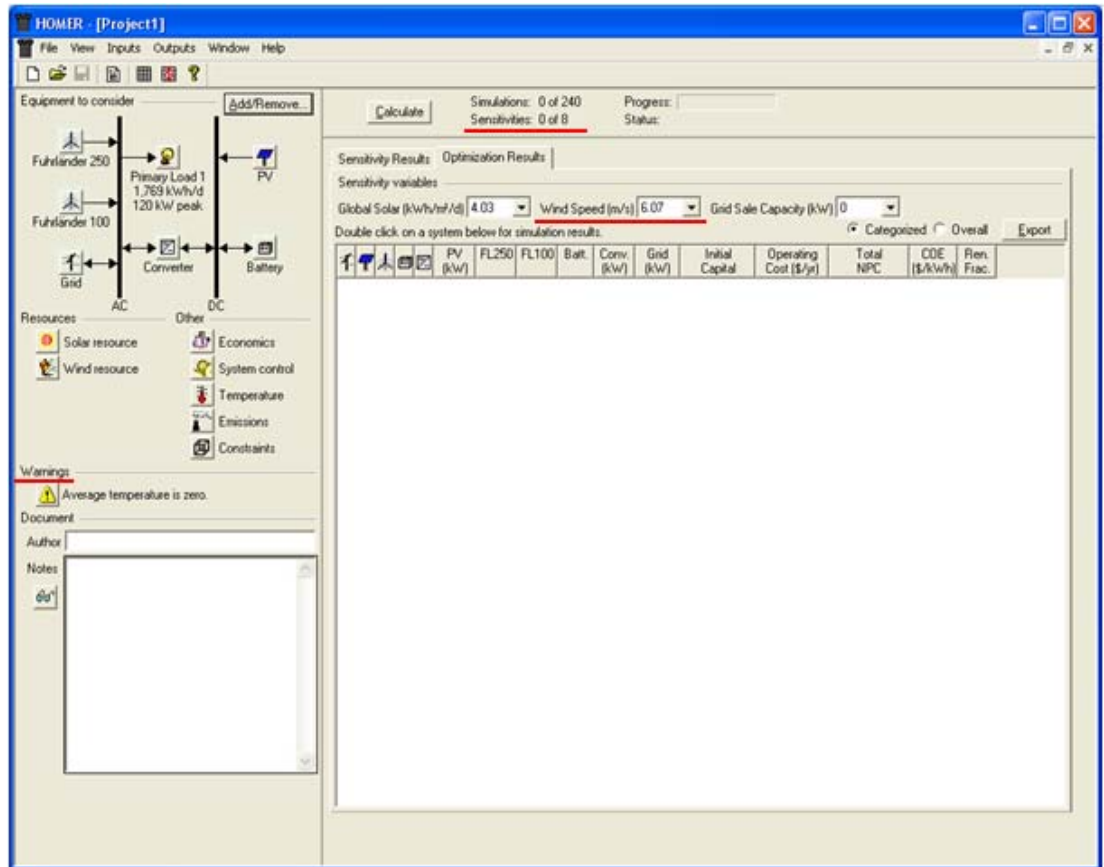
Şekil 6.57 : *Dview* penceresinin açılış görüntüsü.

Bu *dview* penceresinin açılış görüntüsü ilk olarak *hourly* başlığına ait grafiği göstermektedir. *Hourly* başlığı altında bulunan bu grafik vasıtası ile kaydırma çubuğu kullanılarak yılın her bir gününe ait rüzgar hızı eğrisine, yakınlaştırma butonu kullanılarak yıl içerisindeki herhangi bir günün saatlik rüzgar hızı eğrisine ve uzaklaştırma butonu kullanılarak ise ilk önce aylık rüzgar hızı eğrilerine daha sonra yıllık rüzgar hızı eğrisine ulaşılabilir. *Dview* penceresinde *hourly* başlığı altında görülebilecek en önemli grafiklerden birisi olan yıllık rüzgar hızı eğrisi Şekil 6.58’de gösterilmiş olup bu eğriye tüm veriyi gösterecek şekilde yakınlaştırma butonu kullanılarak doğrudan ulaşılabilir.

- *Wind resource inputs* penceresinin gerçekleştirilen adımlardan sonra elde edilen görüntüsünde *OK* butonuna tıklanılması ile rüzgar kaynağının modellenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER’in açılış penceresinde oluşan görüntü Şekil 6.59’da gösterilmiştir.



Şekil 6.58 : Yıllık rüzgar hızı eğrisi.



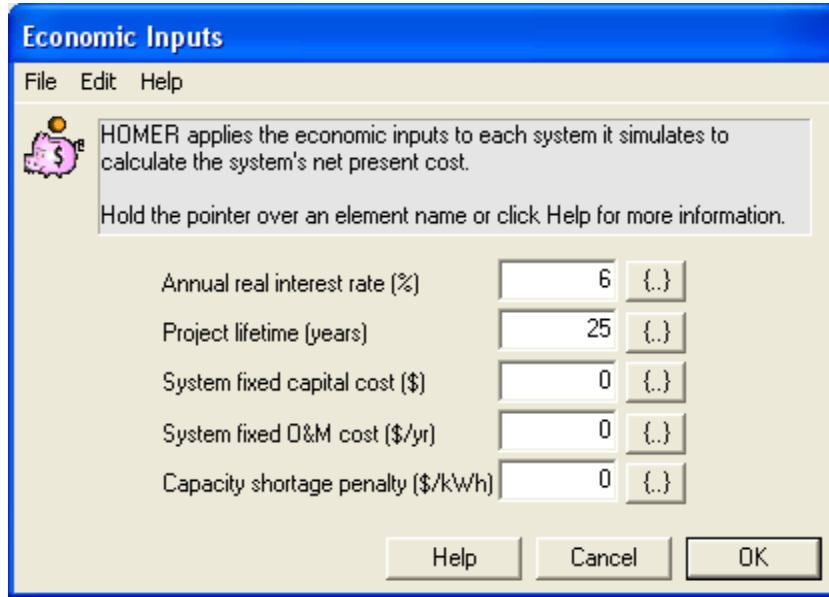
Şekil 6.59 : Rüzgar kaynağının modellenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü.

6.4.3 Örnek hibrid enerji sistemi ile ilgili diğer kriterlerin modellenmesi

HOMER'in açılış penceresinde *other* başlığı altında *economics*, *system control*, *emissions* ve *constraints* olmak üzere dört ayrı kriter her zaman bulunmaktadır. Ayrıca, *pv* ikonuna tıklanılması ile açılan *pv inputs* penceresinde *advanced* başlığı altında bulunan *consider effect of temperature* seçeneği seçildiği zaman ise HOMER otomatik olarak bu dört ayrı kritere ilaveten bir de *temperature* kriterini eklemektedir. Bu çalışmada, *emissions* kriteri hariç diğer kalan dört kriter (*economics*, *system control*, *temperature*, *constraints*) modellenmiştir.

6.4.3.1 Ekonominin modellenmesi

- HOMER'in açılış penceresinde *other* başlığı altında bulunan *economics* ikonuna tıklanılması ile açılan *economic inputs* penceresi Şekil 6.60'da gösterilmiştir.

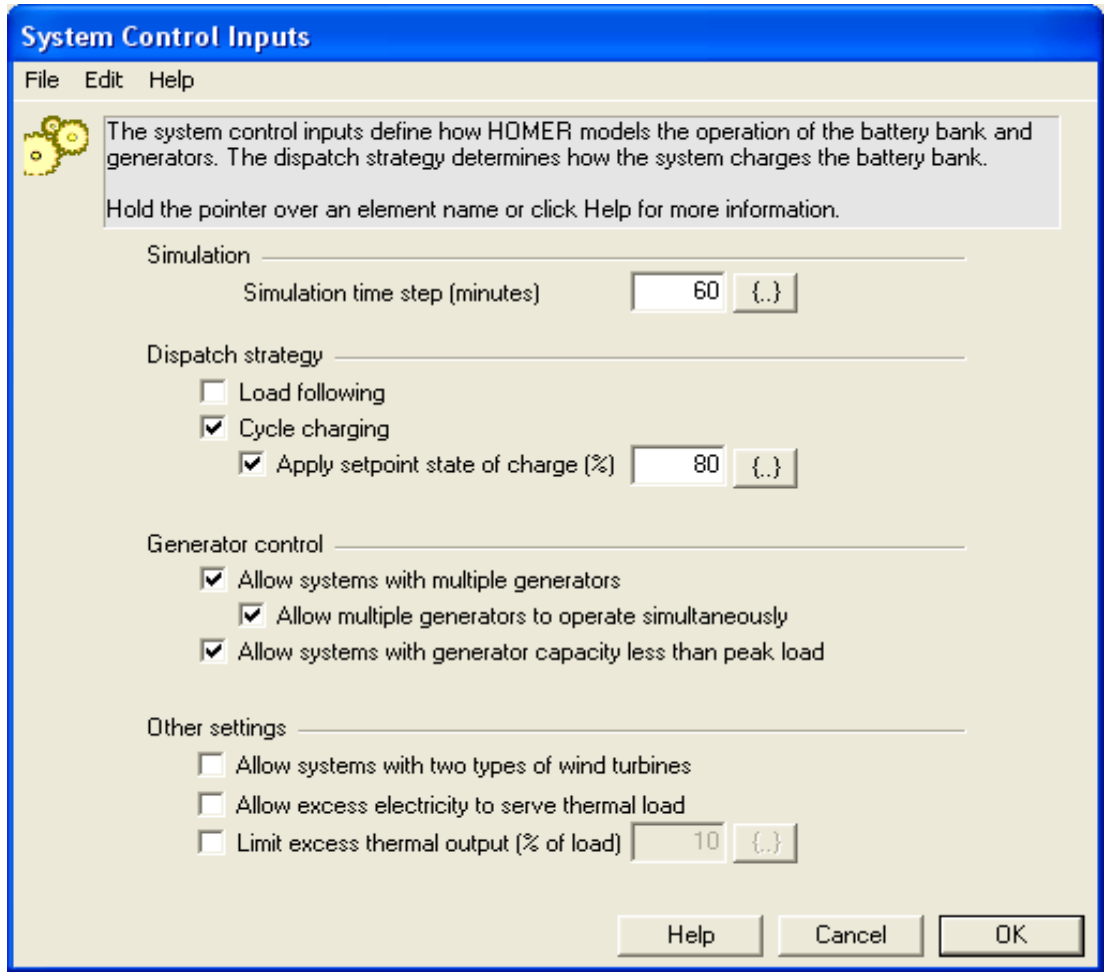


Şekil 6.60 : *Economic inputs* penceresi.

- *Economic inputs* penceresinde bulunan *annual real interest rate* (yıllık reel faiz oranı) değeri %8 ve *project lifetime* (proje yaşam süresi) değeri 25 yıl olarak belirlenmiş, *system fixed capital cost*, *system fixed o&m cost* ve *capacity shortage penalty* değerleri ise bu çalışmada modellenmemiştir.

6.4.3.2 Sistem kontrolünün modellenmesi

- HOMER'in açılış penceresinde *other* başlığı altında bulunan *system control* ikonuna tıklanılması ile açılan *system control inputs* penceresi Şekil 6.61'de gösterilmiştir.

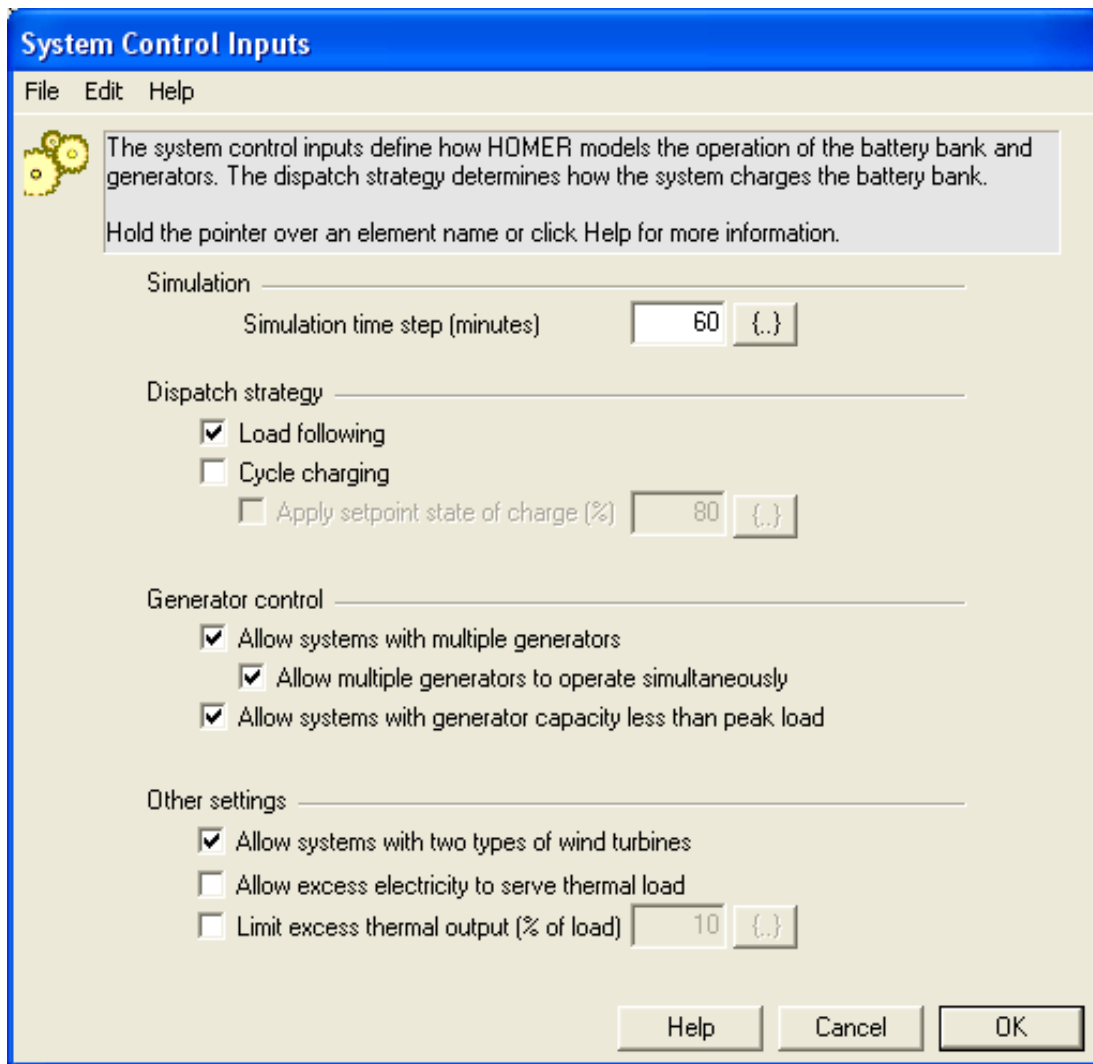


Şekil 6.61 : *System control inputs* penceresi.

- *System control inputs* penceresinde *simulation* başlığı altında bulunan *simulation time step* (simülasyon zaman adımı) değeri için HOMER'in varsayılan olarak sunduğu değer (60 dakika) değiştirilmeden kullanılmıştır.
- *System control inputs* penceresinde *dispatch strategy* başlığı altında bulunan stratejilerden (*load following* ve *cycle charging*) bu çalışmada sadece *load following* stratejisi seçilmiştir.
- Örnek hibrid enerji sisteminde jeneratör bulunmadığı için *system control inputs* penceresinde *generator control* başlığı altında bulunan seçeneklerin seçilmesi veya seçilmemesi örnek hibrid enerji sisteminin simülasyonu üzerinde herhangi bir etki oluşturmaz bu sebeple *generator control* başlığı için HOMER'in varsayılan olarak sunduğu durum bu çalışmada değiştirilmeden aynı şekilde bırakılmıştır.
- Örnek hibrid enerji sisteminde iki farklı rüzgar türbini bulunduğu ve bu iki farklı rüzgar türbinini birlikte içeren sistemleri HOMER'in dikkate alması istenildiği için *system control inputs* penceresinde *other settings* başlığı altında bulunan *allow*

systems with two types of wind turbines seçeneği bu çalışmada seçilmiştir. Örnek hibrid enerji sisteminde termal yük bulunmadığı ve termal enerji üretilmediği için *system control inputs* penceresinde *other settings* başlığı altında bulunan *allow excess electricity to serve thermal load* ve *limit excess thermal output* seçeneklerinin seçilmesi veya seçilmemesi örnek hibrid enerji sisteminin simülasyonu üzerinde herhangi bir etki oluşturmaz bu sebeple bu iki seçenek için HOMER'in varsayılan olarak sunduğu durumlar bu çalışmada değiştirilmeden aynı şekilde bırakılmıştır.

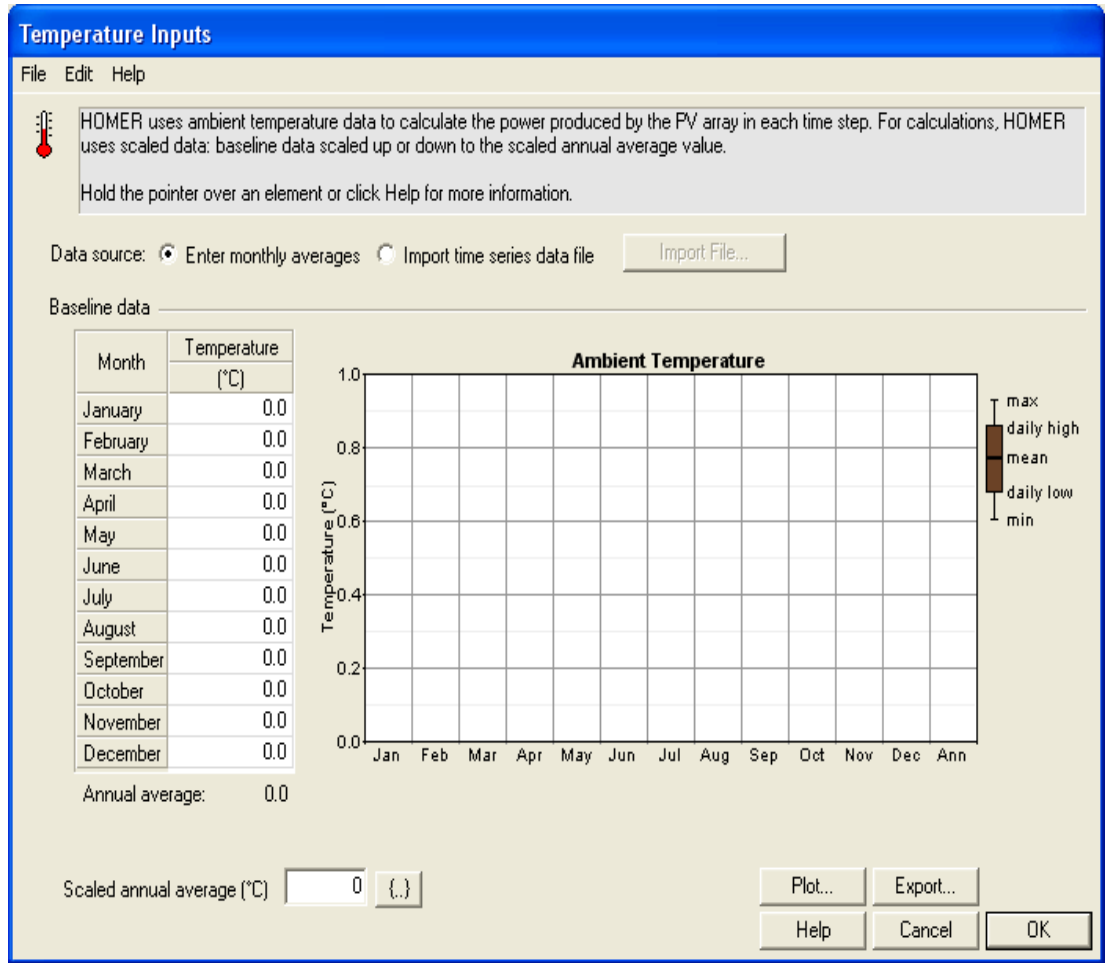
- Bu gerçekleştirilen adımlardan sonra *system control inputs* penceresinin elde edilen görüntüsü Şekil 6.62'de gösterilmiştir.



Şekil 6.62 : *System control inputs* penceresinin elde edilen görüntüsü.

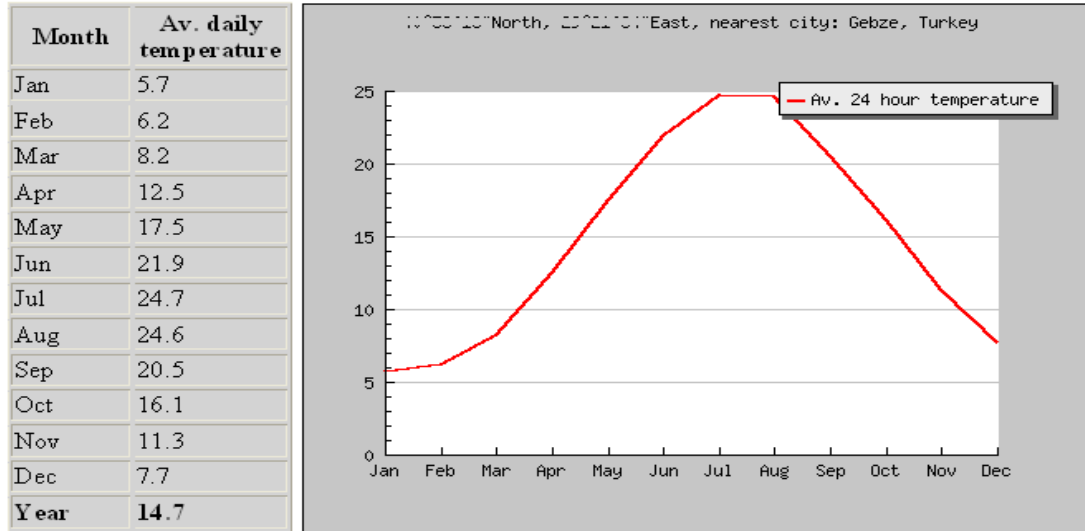
6.4.3.3 Sıcaklığın modellenmesi

- HOMER'in açılış penceresinde *other* başlığı altında bulunan *temperature* ikonuna tıklanılması ile açılan *temperature inputs* penceresi Şekil 6.63'de gösterilmiştir.



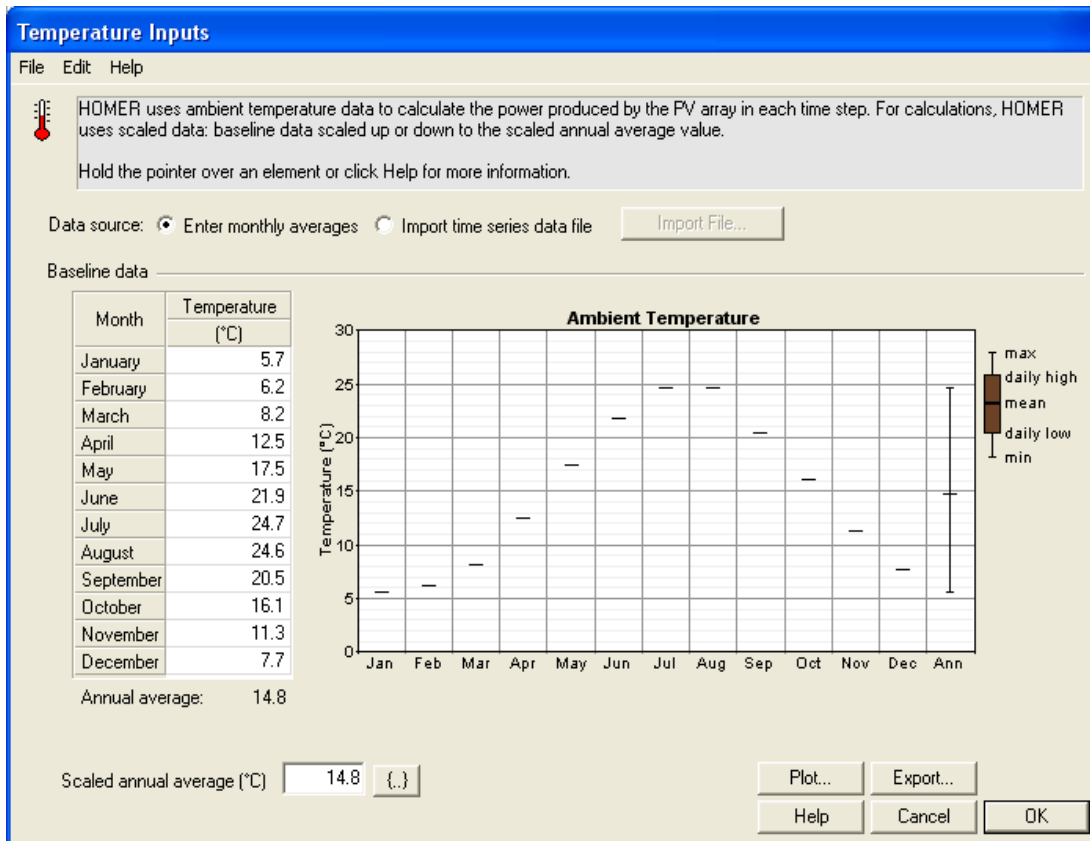
Şekil 6.63 : *Temperature inputs* penceresi.

- *Temperature inputs* penceresinde *data source* kısmında bulunan *enter monthly averages* ve *import time series data file* seçenekleri ortam sıcaklığı verisini HOMER'e aktarmanın iki ayrı yolunu temsil etmektedirler. *Enter monthly averages* seçeneği seçildiği zaman yılın her bir ayına ait ortalama sıcaklık değeri girilmelidir. *Import time series data file* seçeneği seçildiği zaman ise saatlik sıcaklık verisi *import file* butonu kullanılarak HOMER'e aktarılmalıdır. Bu çalışmada *enter monthly averages* seçeneği seçilmiş ve daha sonra yılın her bir ayına ait ortalama sıcaklık değeri girilmiştir. Bu ortalama sıcaklık değerleri, örnek hibrid enerji sisteminin incelenen bölgesinin ortam sıcaklığı değerleridir. Örnek hibrid enerji sisteminin incelenen bölgesinin bu ortalama ortam sıcaklığı değerleri ise Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi Çevre ve Sürdürülebilirlik Enstitüsü Yenilenebilir Enerjiler Birimi (*European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, Renewable Energies Unit*) tarafından sağlanan Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi (*Photovoltaic Geographical Information System, PVGIS*) aracılığı ile elde edilmiş olup Şekil 6.64'de gösterilmiştir.



Şekil 6.64 : Ortalama ortam sıcaklığı değerleri.

- Bu gerçekleştirilen adımdan sonra *temperature inputs* penceresinin elde edilen görüntüsü Şekil 6.65’de gösterilmiştir.



Şekil 6.65 : *Temperature inputs* penceresinin elde edilen görüntüsü.

6.4.3.4 Sınırlamaların modellenmesi

- HOMER’in açılış penceresinde *other* başlığı altında bulunan *constraints* ikonuna tıklanılması ile açılan *constraints* penceresi Şekil 6.66’da gösterilmiştir.

Constraints
File Edit Help

Constraints are conditions that systems must meet to be feasible. Infeasible systems do not appear in the sensitivity and optimization results. Operating reserve provides a margin to account for intra-hour deviation from the hourly average of the load or renewable power output. HOMER calculates this margin for each hour based on the operating reserve inputs.

Hold the pointer over an element name or click Help for more information.

Maximum annual capacity shortage (%) {}

Minimum renewable fraction (%) {}

Operating reserve

As percent of load

Hourly load (%) {}

Annual peak load (%) {}

As percent of renewable output

Solar power output (%) {}

Wind power output (%) {}

Note:
HOMER calculates the total required operating reserve for each hour by multiplying each of these four inputs by the load or output value for that hour and adding the results.

Primary energy savings

☐ Minimum primary energy savings (%) {}

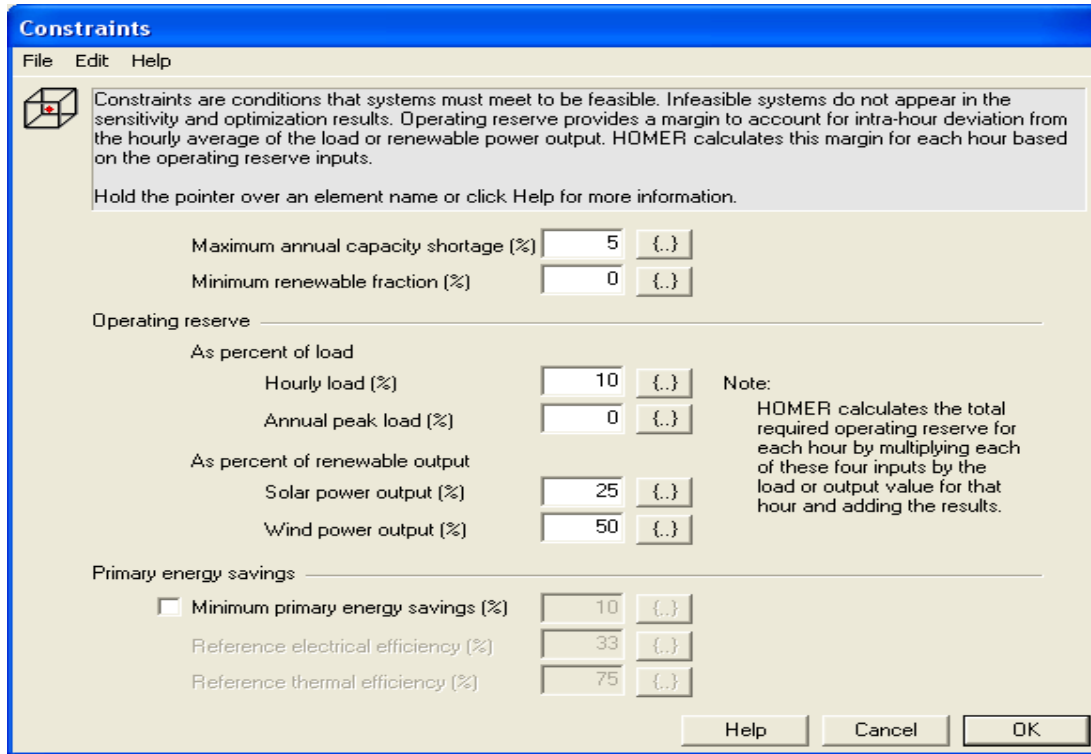
Reference electrical efficiency (%) {}

Reference thermal efficiency (%) {}

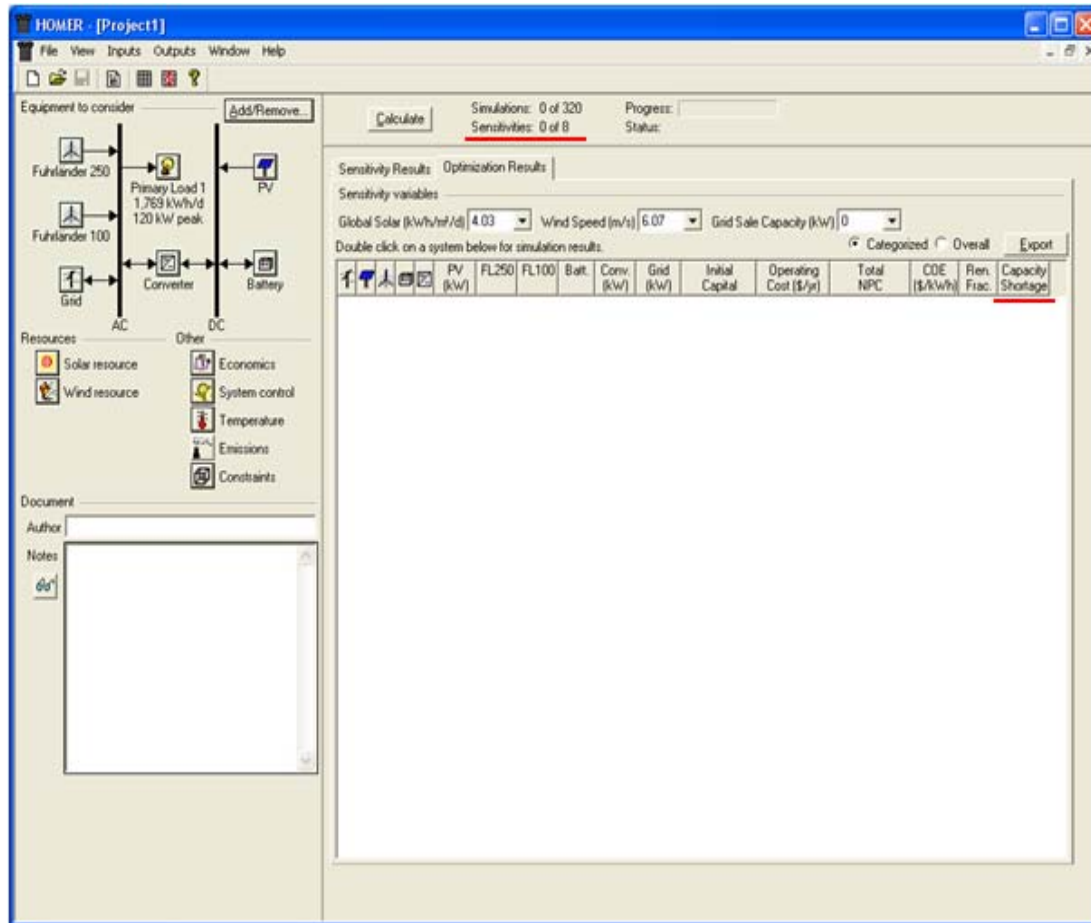
Help Cancel OK

Şekil 6.66 : Constraints penceresi.

- *Constraints* penceresinde bulunan *maximum annual capacity shortage* (maksimum yıllık kapasite eksikliği) değeri %5 olarak ve *minimum renewable fraction* (minimum yenilenebilir enerji oranı) değeri ise %0 olarak belirlenmiştir.
- *Constraints* penceresinde *operating reserve* (çalışma rezervi) başlığı altında bulunan çalışma rezervi miktarını oluşturacak olan *hourly load*, *annual peak load*, *solar power output* ve *wind power output* parametrelerinin oranları için HOMER'in varsayılan olarak sunduğu oranların çoğu sistem için uygun oranlar olduğunun HOMER tarafından belirtilmesi sebebi ile bu çalışmada da gerekli olan çalışma rezervi miktarını oluşturacak olan bu dört parametrenin oranları için HOMER'in varsayılan olarak sunduğu bu oranlar değiştirilmeden aynı şekilde kullanılmıştır.
- *Constraints* penceresinde *primary energy savings* başlığı altında bulunan değerler bu çalışmada modellenmemiştir.
- Bu gerçekleştirilen adımlardan sonra *constraints* penceresinin elde edilen görüntüsü Şekil 6.67'de gösterilmiştir.
- Örnek hibrid enerji sistemi ile ilgili diğer kriterlerin (*economics*, *system control*, *temperature*, *constraints*) modellenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan son görüntü Şekil 6.68'de gösterilmiştir.



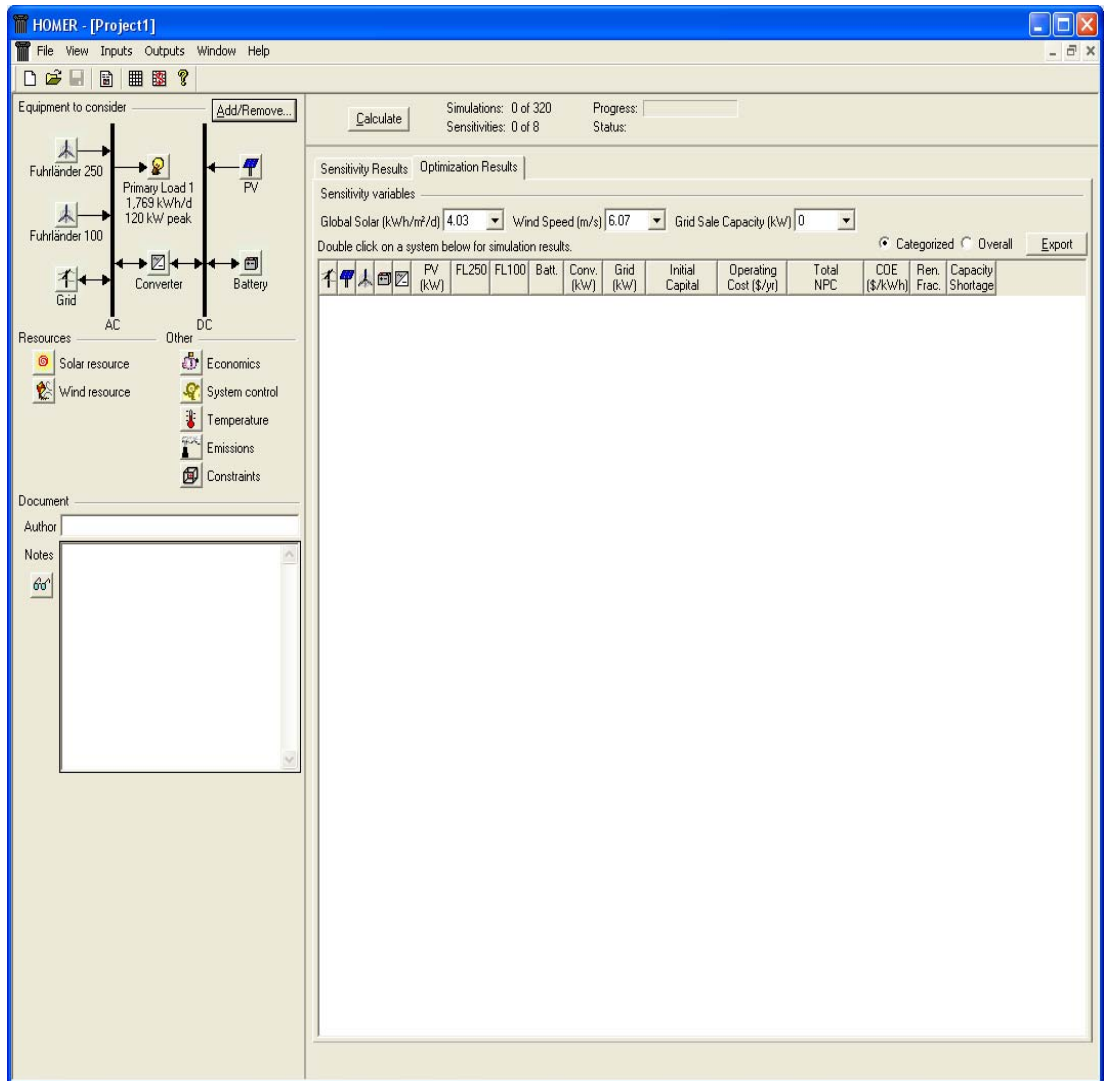
Şekil 6.67 : Constraints penceresinin elde edilen görüntüsü.



Şekil 6.68 : Diğer kriterlerin modellenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan son görüntü.

7. SONUÇLAR VE ANALİZ

• Örnek hibrid enerji sistemini oluşturan elemanların, örnek hibrid enerji sisteminde kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarının ve örnek hibrid enerji sistemi ile ilgili diğer kriterlerin modellenmesi işleminin tamamlanmasının ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan son görüntü Şekil 7.1'de gösterilmiştir.



Şekil 7.1 : HOMER'in açılış penceresinde oluşan son görüntü.

• HOMER'in açılış penceresinde oluşan son görüntüde *calculate* butonuna tıklanılarak modellenmiş olan örnek hibrid enerji sistemi üzerinde HOMER'in simülasyon, optimizasyon ve hassaslık analizi işlemlerini gerçekleştirmesine izin

verilmiştir. HOMER'in bu işlemleri gerçekleştirmesinin ardından elde edilen optimizasyon ve hassaslık sonuçları aşağıda sırasıyla verilmiştir.

7.1 Optimizasyon Sonuçları

- Ortalama güneş ışınımı 4,03 kWh/m²/gün ve ortalama rüzgar hızı 6,07 m/s olan esas incelenen bölgemizde (birinci incelenen bölge) şebekeye elektrik satışına izin verilmeyen örnek hibrid enerji sistemi için HOMER'in verdiği kategorize edilmiş sonuçlar Şekil 7.2'de gösterilmiştir.

Sensitivity Results

Optimization Results

Sensitivity variables

Global Solar (kWh/m²/d)

4.03

Wind Speed (m/s)

6.07

Grid Sale Capacity (kW)

0

Double click on a system below for simulation results.

☒ Categorized
 ☐ Overall

Export

	PV (kW)	FL250	FL100	Batt.	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Capacity Shortage
						1000	\$ 0	96,853	\$ 1,033,882	0.150	0.00	0.00
				24	20	1000	\$ 38,000	98,266	\$ 1,086,967	0.158	0.00	0.00
	10				20	1000	\$ 84,000	94,886	\$ 1,096,890	0.159	0.02	0.00
	10			24	20	1000	\$ 108,000	96,300	\$ 1,135,976	0.165	0.02	0.00
			1			1000	\$ 415,000	68,960	\$ 1,151,131	0.167	0.36	0.00
			1	24	20	1000	\$ 453,000	69,702	\$ 1,197,057	0.174	0.37	0.00
	10		1		20	1000	\$ 499,000	67,345	\$ 1,217,892	0.177	0.38	0.00
	10		1	24	20	1000	\$ 523,000	68,044	\$ 1,249,352	0.181	0.39	0.00

Şekil 7.2 : Birinci incelenen bölgede şebekeye elektrik satamayan örnek hibrid enerji sistemi için HOMER'in verdiği kategorize edilmiş sonuçlar.

Bu sonuçlardan, birinci incelenen bölgede yükü besleyebilecek optimum sistem konfigürasyonunun \$1.033.882 USD toplam net bugünkü maliyete sahip olan sadece şebekeden oluşan bir sistem olduğu görülmektedir. Bir başka ifadeyle, şebekeye elektrik satışına izin verilmeyen örnek hibrid enerji sisteminin sadece-şebeke dışında sahip olduğu herhangi bir sistem kombinasyonunun birinci incelenen bölgede kurulmasının ekonomik açıdan hiç de optimum olmayacağı görülmektedir.

- Ortalama güneş ışınımı 4,03 kWh/m²/gün ve ortalama rüzgar hızı 6,07 m/s olan esas incelenen bölgemizde (birinci incelenen bölge) şebekeye elektrik satışına izin

verilen örnek hibrid enerji sistemi için HOMER'in verdiği kategorize edilmiş sonuçlar Şekil 7.3'de gösterilmiştir.

	PV (kW)	FL250	FL100	Batt.	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Capacity Shortage
1						1000	\$ 0	96,853	\$ 1,033,882	0.150	0.00	0.00
2				24	20	1000	\$ 38,000	98,266	\$ 1,086,967	0.158	0.00	0.00
3	10				20	1000	\$ 84,000	94,886	\$ 1,096,890	0.159	0.02	0.00
4			1			1000	\$ 415,000	67,243	\$ 1,132,801	0.164	0.36	0.00
5	10			24	20	1000	\$ 108,000	96,300	\$ 1,135,976	0.165	0.02	0.00
6			1	24	20	1000	\$ 453,000	68,475	\$ 1,183,957	0.172	0.37	0.00
7	10			1	20	1000	\$ 499,000	65,461	\$ 1,197,786	0.174	0.38	0.00
8	10			1	24	1000	\$ 523,000	66,646	\$ 1,234,429	0.179	0.39	0.00

Şekil 7.3 : Birinci incelenen bölgede şebekeye elektrik satabilen örnek hibrid enerji sistemi için HOMER'in verdiği kategorize edilmiş sonuçlar.

Bu sonuçlardan, birinci incelenen bölgede yükü besleyebilecek optimum sistem konfigürasyonunun örnek hibrid enerji sisteminde şebekeye elektrik satışına izin verilmesine rağmen \$1.033.882 USD toplam net bugünkü maliyete sahip olan yine sadece şebekeden oluşan bir sistem olduğu görülmektedir.

- Ortalama güneş ışınımı $5,00 \text{ kWh/m}^2/\text{gün}$ ve ortalama rüzgar hızı $6,07 \text{ m/s}$ olan ikinci incelenen bölgede şebekeye elektrik satışına izin verilmeyen örnek hibrid enerji sistemi için HOMER'in verdiği kategorize edilmiş sonuçlar Şekil 7.4'de gösterilmiştir.

	PV (kW)	FL250	FL100	Batt.	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Capacity Shortage
1						1000	\$ 0	96,853	\$ 1,033,882	0.150	0.00	0.00
2				24	20	1000	\$ 38,000	98,266	\$ 1,086,967	0.158	0.00	0.00
3	10				20	1000	\$ 84,000	94,461	\$ 1,092,349	0.158	0.03	0.00
4	10			24	20	1000	\$ 108,000	95,874	\$ 1,131,434	0.164	0.03	0.00
5			1			1000	\$ 415,000	68,960	\$ 1,151,131	0.167	0.36	0.00
6			1	24	20	1000	\$ 453,000	69,702	\$ 1,197,057	0.174	0.37	0.00
7	10			1	20	1000	\$ 499,000	67,001	\$ 1,214,223	0.176	0.39	0.00
8	10			1	24	1000	\$ 523,000	67,691	\$ 1,245,583	0.181	0.39	0.00

Şekil 7.4 : İkinci incelenen bölgede şebekeye elektrik satamayan örnek hibrid enerji sistemi için HOMER'in verdiği kategorize edilmiş sonuçlar.

Bu sonuçlardan, ikinci incelenen bölgede birinci incelenen bölgeye nazaran güneş ışınlamının 4,03 kWh/m²/gün değeri yerine 5,00 kWh/m²/gün değeri olmasına rağmen yükü besleyebilecek optimum sistem konfigürasyonunun değişmeyip yine \$1.033.882 USD toplam net bugünkü maliyete sahip olan sadece şebekeden oluşan bir sistem olduğu görülmektedir.

- Ortalama güneş ışınlamı 5,00 kWh/m²/gün ve ortalama rüzgar hızı 6,07 m/s olan ikinci incelenen bölgede şebekeye elektrik satışına izin verilen örnek hibrid enerji sistemi için HOMER'in verdiği kategorize edilmiş sonuçlar Şekil 7.5'de gösterilmiştir.

	PV (kW)	FL250	FL100	Batt.	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Capacity Shortage
						1000	\$ 0	96,853	\$ 1,033,882	0.150	0.00	0.00
				24	20	1000	\$ 38,000	98,266	\$ 1,086,967	0.158	0.00	0.00
	10				20	1000	\$ 84,000	94,461	\$ 1,092,349	0.158	0.03	0.00
	10			24	20	1000	\$ 108,000	95,874	\$ 1,131,434	0.164	0.03	0.00
			1			1000	\$ 415,000	67,243	\$ 1,132,801	0.164	0.36	0.00
			1	24	20	1000	\$ 453,000	68,475	\$ 1,183,957	0.172	0.37	0.00
	10		1		20	1000	\$ 499,000	65,079	\$ 1,193,704	0.173	0.39	0.00
	10		1	24	20	1000	\$ 523,000	66,255	\$ 1,230,257	0.178	0.39	0.00

Şekil 7.5 : İkinci incelenen bölgede şebekeye elektrik satabilen örnek hibrid enerji sistemi için HOMER'in verdiği kategorize edilmiş sonuçlar.

Bu sonuçlardan, ikinci incelenen bölgede yükü besleyebilecek optimum sistem konfigürasyonunun örnek hibrid enerji sisteminde şebekeye elektrik satışına izin verilmesine rağmen \$1.033.882 USD toplam net bugünkü maliyete sahip olan yine sadece şebekeden oluşan bir sistem olduğu görülmektedir.

- Ortalama güneş ışınlamı 4,03 kWh/m²/gün ve ortalama rüzgar hızı 9,00 m/s olan üçüncü incelenen bölgede şebekeye elektrik satışına izin verilmeyen örnek hibrid enerji sistemi için HOMER'in verdiği kategorize edilmiş sonuçlar Şekil 7.6'da gösterilmiştir.

Sensitivity Results

Optimization Results

Sensitivity variables

Global Solar (kWh/m²/d)

4.03

Wind Speed (m/s)

9

Grid Sale Capacity (kW)

0

Double click on a system below for simulation results.

☒ Categorized

☐ Overall

Export

	PV (kW)	FL250	FL100	Batt.	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Capacity Shortage
				1		1000	\$ 415,000	43,524	\$ 879,604	0.128	0.66	0.00
				1	24	20	\$ 453,000	42,868	\$ 910,610	0.132	0.67	0.00
	10				20	1000	\$ 499,000	42,479	\$ 952,452	0.138	0.67	0.00
	10			1	24	20	\$ 523,000	41,771	\$ 968,900	0.141	0.68	0.00
						1000	\$ 0	96,853	\$ 1,033,882	0.150	0.00	0.00
				24	20	1000	\$ 38,000	98,266	\$ 1,086,967	0.158	0.00	0.00
	10				20	1000	\$ 84,000	94,886	\$ 1,096,890	0.159	0.02	0.00
	10			24	20	1000	\$ 108,000	96,300	\$ 1,135,976	0.165	0.02	0.00

Şekil 7.6 : Üçüncü incelenen bölgede şebekeye elektrik satamayan örnek hibrid enerji sistemi için HOMER'in verdiği kategorize edilmiş sonuçlar.

Bu sonuçlardan, üçüncü incelenen bölgede birinci incelenen bölgeye nazaran rüzgar hızı 6,07 m/s değeri yerine 9,00 m/s değeri olduğu zaman optimum sistem konfigürasyonunun \$1.033.882 USD toplam net bugünkü maliyete sahip olan sadece şebekeden oluşan bir sistem yerine \$879.604 USD toplam net bugünkü maliyete sahip olan şebeke ve rüzgar türbininden oluşan bir sistem olduğu görülmektedir.

- Ortalama güneş ışınımı 4,03 kWh/m²/gün ve ortalama rüzgar hızı 9,00 m/s olan üçüncü incelenen bölgede şebekeye elektrik satışına izin verilen örnek hibrid enerji sistemi için HOMER'in verdiği kategorize edilmiş sonuçlar Şekil 7.7'de gösterilmiştir.

Sensitivity Results

Optimization Results

Sensitivity variables

Global Solar (kWh/m²/d)

4.03

Wind Speed (m/s)

9

Grid Sale Capacity (kW)

1,000

Double click on a system below for simulation results.

☒ Categorized

☐ Overall

Export

	PV (kW)	FL250	FL100	Batt.	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Capacity Shortage
		1				1000	\$ 765,000	-6,520	\$ 695,395	0.101	0.86	0.00
		1		24	20	1000	\$ 803,000	-5,624	\$ 742,963	0.108	0.87	0.00
	10	1			20	1000	\$ 849,000	-7,782	\$ 765,927	0.111	0.86	0.00
	10	1		24	20	1000	\$ 873,000	-7,014	\$ 798,123	0.116	0.88	0.00
						1000	\$ 0	96,853	\$ 1,033,882	0.150	0.00	0.00
				24	20	1000	\$ 38,000	98,266	\$ 1,086,967	0.158	0.00	0.00
	10				20	1000	\$ 84,000	94,886	\$ 1,096,890	0.159	0.02	0.00
	10			24	20	1000	\$ 108,000	96,300	\$ 1,135,976	0.165	0.02	0.00

Şekil 7.7 : Üçüncü incelenen bölgede şebekeye elektrik satabilen örnek hibrid enerji sistemi için HOMER'in verdiği kategorize edilmiş sonuçlar.

Bu sonuçlardan, üçüncü incelenen bölgede şebekeye elektrik satamayan örnek hibrid enerji sistemine nazaran şebekeye elektrik satabilen örnek hibrid enerji sistemi için optimum sistem konfigürasyonunun \$879.604 USD toplam net bugünkü maliyete sahip olan şebeke ve FL 100 adlı rüzgar türbininden oluşan bir sistem yerine \$695.395 USD toplam net bugünkü maliyete sahip olan şebeke ve FL 250 adlı rüzgar türbininden oluşan bir sistem olduğu görülmektedir.

- Ortalama güneş ışınımı 5,00 kWh/m²/gün ve ortalama rüzgar hızı 9,00 m/s olan dördüncü incelenen bölgede şebekeye elektrik satışına izin verilmeyen örnek hibrid enerji sistemi için HOMER'in verdiği kategorize edilmiş sonuçlar Şekil 7.8'de gösterilmiştir.

Pv (kW)	FL250	FL100	Batt.	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Capacity Shortage
			1		1000	\$415,000	43,524	\$879,604	0.128	0.66	0.00
			1	24	1000	\$453,000	42,868	\$910,610	0.132	0.67	0.00
10				20	1000	\$499,000	42,258	\$950,090	0.138	0.67	0.00
10			1	24	1000	\$523,000	41,543	\$966,467	0.140	0.68	0.00
					1000	\$0	96,853	\$1,033,882	0.150	0.00	0.00
				24	1000	\$38,000	98,266	\$1,086,967	0.158	0.00	0.00
10				20	1000	\$84,000	94,461	\$1,092,349	0.158	0.03	0.00
10				24	1000	\$108,000	95,874	\$1,131,434	0.164	0.03	0.00

Şekil 7.8 : Dördüncü incelenen bölgede şebekeye elektrik satamayan örnek hibrid enerji sistemi için HOMER'in verdiği kategorize edilmiş sonuçlar.

Bu sonuçlardan, dördüncü incelenen bölgede birinci incelenen bölgeye nazaran güneş ışınımı 4,03 kWh/m²/gün değeri yerine 5,00 kWh/m²/gün değeri ve rüzgar hızı 6,07 m/s değeri yerine 9,00 m/s değeri olduğu zaman optimum sistem konfigürasyonunun \$1.033.882 USD toplam net bugünkü maliyete sahip olan sadece şebekeden oluşan bir sistem yerine \$879.604 USD toplam net bugünkü maliyete sahip olan şebeke ve rüzgar türbininden oluşan bir sistem olduğu görülmektedir. Ayrıca, yine bu sonuçlardan, dördüncü incelenen bölgede üçüncü incelenen bölgeye nazaran güneş ışınımının 4,03 kWh/m²/gün değeri yerine 5,00 kWh/m²/gün değeri olmasına rağmen yükü besleyebilecek optimum sistem konfigürasyonunun değişmeyip yine \$879.604 USD toplam net bugünkü maliyete sahip olan şebeke ve rüzgar türbininden oluşan bir sistem olduğu görülmektedir.

- Ortalama güneş ışınlamı 5,00 kWh/m²/gün ve ortalama rüzgar hızı 9,00 m/s olan dördüncü incelenen bölgede şebekeye elektrik satışına izin verilen örnek hibrid enerji sistemi için HOMER'in verdiği kategorize edilmiş sonuçlar Şekil 7.9'da gösterilmiştir.

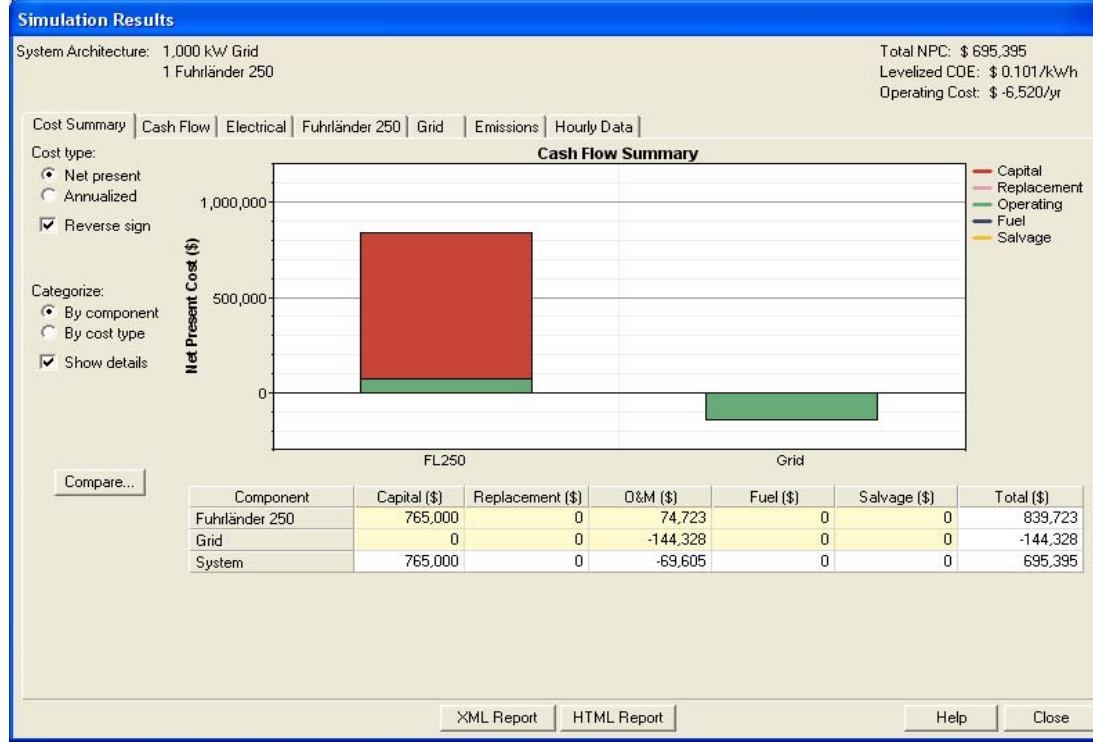
	PV (kW)	FL250	FL100	Batt.	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Capacity Shortage
	1					1000	\$ 765,000	-6,520	\$ 695,395	0.101	0.86	0.00
	1			24	20	1000	\$ 803,000	-5,624	\$ 742,963	0.108	0.87	0.00
	10	1			20	1000	\$ 849,000	-8,054	\$ 763,023	0.111	0.86	0.00
	10	1		24	20	1000	\$ 873,000	-7,305	\$ 795,025	0.115	0.88	0.00
						1000	\$ 0	96,853	\$ 1,033,882	0.150	0.00	0.00
				24	20	1000	\$ 38,000	98,266	\$ 1,086,967	0.158	0.00	0.00
	10				20	1000	\$ 84,000	94,461	\$ 1,092,349	0.158	0.03	0.00
	10			24	20	1000	\$ 108,000	95,874	\$ 1,131,434	0.164	0.03	0.00

Şekil 7.9 : Dördüncü incelenen bölgede şebekeye elektrik satabilen örnek hibrid enerji sistemi için HOMER'in verdiği kategorize edilmiş sonuçlar.

Bu sonuçlardan, dördüncü incelenen bölgede şebekeye elektrik satamayan örnek hibrid enerji sistemine nazaran şebekeye elektrik satabilen örnek hibrid enerji sistemi için optimum sistem konfigürasyonunun \$879.604 USD toplam net bugünkü maliyete sahip olan şebeke ve FL 100 adlı rüzgar türbininden oluşan bir sistem yerine \$695.395 USD toplam net bugünkü maliyete sahip olan şebeke ve FL 250 adlı rüzgar türbininden oluşan bir sistem olduğu görülmektedir.

- Özet olarak, optimizasyon sonuçlarından, örnek hibrid enerji sisteminin sahip olduğu özellikler değişmemek koşuluyla sadece güneş ışınlamı değerinin artmasının HOMER'in verdiği optimum sistem konfigürasyonunu değiştirmede, sadece rüzgar hızı değerinin artmasının HOMER'in verdiği optimum sistem konfigürasyonunu değiştirdiği ve hem güneş ışınlamı değerinin hem de rüzgar hızı değerinin artmasının ise yine HOMER'in verdiği optimum sistem konfigürasyonunu değiştirdiği görülmektedir. Ayrıca, yine optimizasyon sonuçlarından, HOMER'in verdiği optimum sistem konfigürasyonlarının sadece şebekeden oluşan sistemler olduğu incelenen bölgeler haricinde diğer kalan incelenen bölgelerde şebekeye elektrik satışına izin verilmesinin HOMER'in verdiği optimum sistem konfigürasyonunu değiştirdiği görülmektedir.

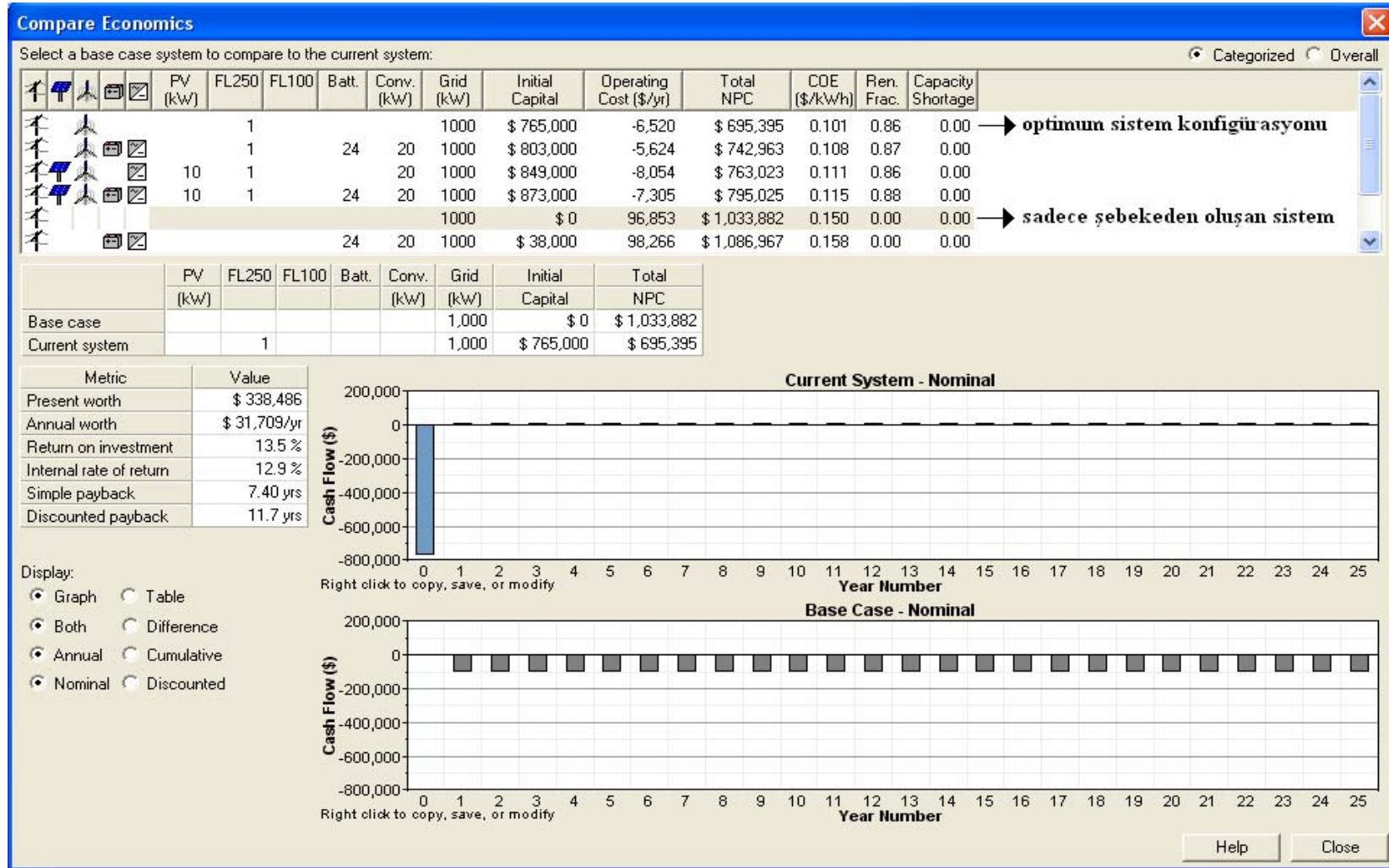
• Ortalama güneş ışınlamı 5,00 kWh/m²/gün ve ortalama rüzgar hızı 9,00 m/s olan dördüncü incelenen bölgede şebekeye elektrik satışına izin verilen örnek hibrid enerji sistemi için HOMER'in verdiği optimum sistem konfigürasyonunu daha yakından incelemek için bu sistem konfigürasyonunun üzerine çift tıklanılması ile açılan *simulation results* penceresi Şekil 7.10'da gösterilmiştir.



Şekil 7.10 : *Simulation results* penceresi.

Simulation results penceresinde *cost summary* başlığı altında bulunan pencere burada tercih edilmiş olan seçenekleri ile birlikte bu sistem konfigürasyonunun sermaye maliyetinin, yenileme maliyetinin, işletme ve bakım maliyetinin, yakıt maliyetinin ve hurda değerinin net bugünkü değerleri ile birlikte toplam net bugünkü maliyetini tablo biçiminde göstermekte olup bu sistem konfigürasyonunda bulunan her bir elemanın sermaye maliyetinin, yenileme maliyetinin, işletme ve bakım maliyetinin, yakıt maliyetinin ve hurda değerinin net bugünkü değerleri ile birlikte toplam net bugünkü maliyetini hem grafik hem de tablo biçiminde göstermektedir.

Şebeke ve rüzgar türbininden oluşan bu optimum sistem konfigürasyonunun sadece şebekeden oluşan bir sistem ile karşılaştırılması *simulation results* penceresinde *cost summary* başlığı altında bulunan *compare* butonuna tıklanılması ile açılan Şekil 7.11'de gösterilmiş olan *compare economics* penceresi aracılığı ile gerçekleştirilmiştir.

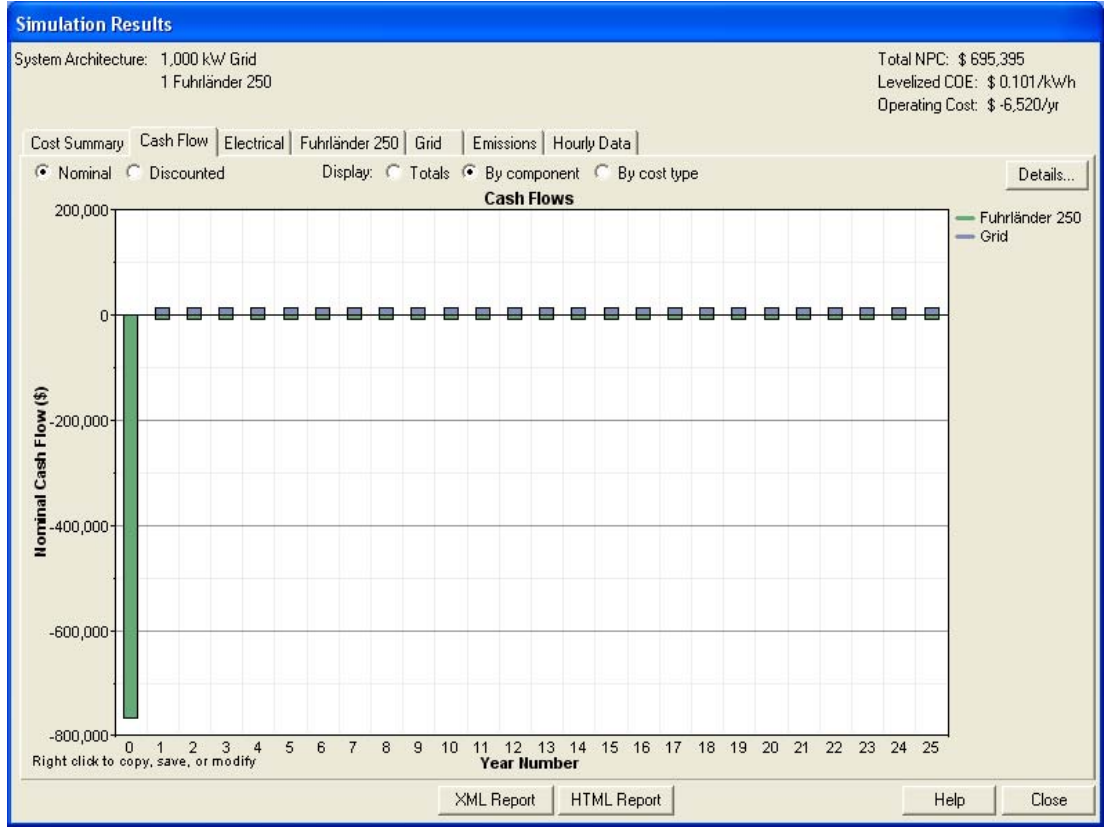


Şekil 7.11 : Compare economics penceresi.

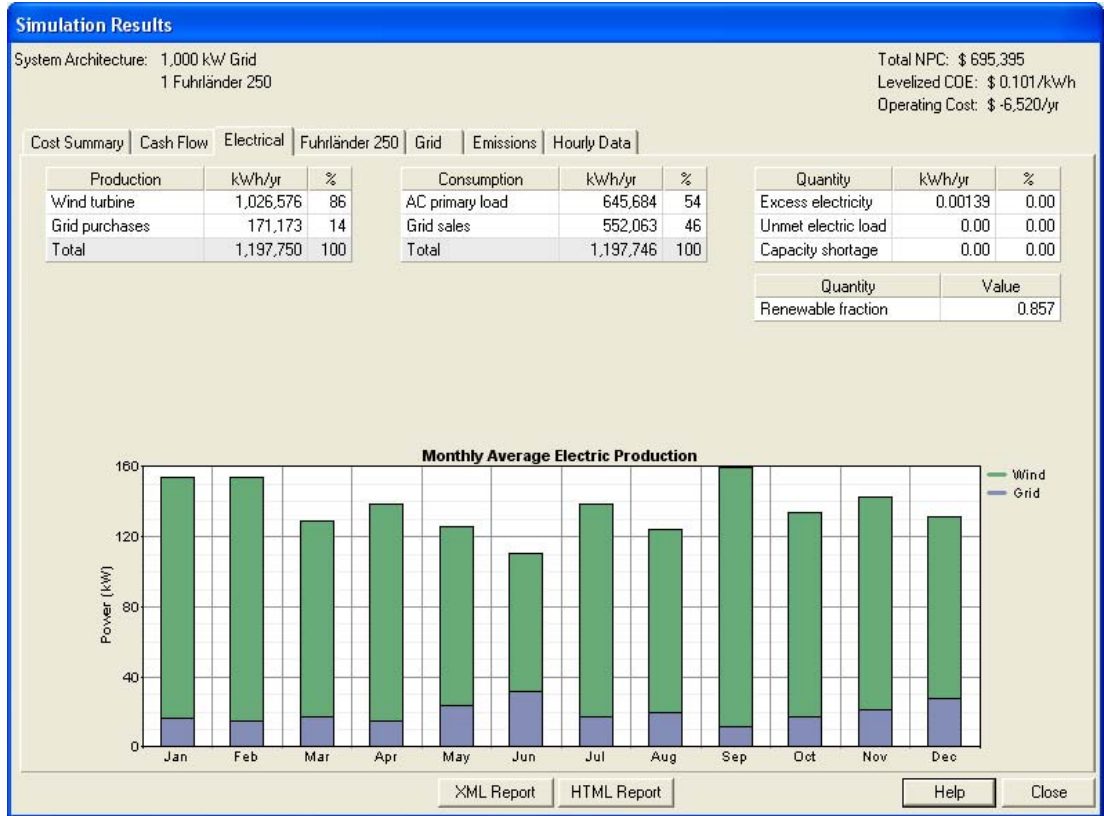
Compare economics penceresinden, \$765.000 USD bir sermaye yatırımına sahip olan optimum sistem konfigürasyonunun toplam net bugünkü maliyetinin \$695.395 USD olduğu görülürken herhangi bir sermaye yatırımına sahip olmayan sadece şebekeden oluşan sistemin toplam net bugünkü maliyetinin \$1.033.882 USD olduğu görülmektedir. Ayrıca, *compare economics* penceresinde görülen \$338.486 USD olan *present worth* değeri optimum sistem konfigürasyonunun toplam net bugünkü maliyetinin sadece şebekeden oluşan sistemin toplam net bugünkü maliyetinden ne kadar az olduğunu, \$31.709 USD/yıl olan *annual worth* değeri *present worth* değerinin amortisman faktörü (*capital recovery factor*) ile çarpılması sonucu elde edilen optimum sistem konfigürasyonunun sadece şebekeden oluşan sisteme göre her yıl ne kadar kazançlı olduğunu, %13,5 olan *return on investment* değeri yatırılan sermayenin karlılık oranı olan yatırım getirisinin ne olduğunu, %12,9 olan *internal rate of return* değeri yatırılan sermayeden sağlanan gelecekteki nakit girişlerinin bugünkü değerleri toplamı ile yatırılan sermayenin bugünkü değeri arasındaki farkı sıfır yapan iskonto oranı olan iç karlılık oranının ne olduğunu, 7,4 yıl olan *simple payback* değeri basit geri ödeme süresinin ne olduğunu ve 11,7 yıl olan *discounted payback* değeri iskontolu geri ödeme süresinin ne olduğunu göstermektedir.

Simulation results penceresinde *cash flow* başlığı altında bulunan pencere Şekil 7.12’de gösterilmiştir. Bu pencere burada tercih edilmiş olan seçenekleri ile birlikte optimum sistem konfigürasyonunda yer alan elemanların proje yaşam süresinin her bir yılında meydana gelen nominal nakit akışlarını grafik biçiminde göstermektedir.

Simulation results penceresinde *electrical* başlığı altında bulunan pencere Şekil 7.13’de gösterilmiştir. Bu pencereden, rüzgar türbininin elektrik üretiminin yılda 1.026.576 kWh olduğu, şebekeden yılda 171.173 kWh elektrik satın alındığı, toplam elektrik üretiminin yılda 1.197.750 kWh olduğu, aa yükün elektrik tüketiminin yılda 645.684 kWh olduğu, şebekeye yılda 552.063 kWh elektrik satıldığı, toplam elektrik tüketiminin yılda 1.197.746 kWh olduğu, üretim fazlası (tüketilmeyen) elektrik miktarının yılda 0,00139 kWh olduğu, karşılanmamış elektrik yükü miktarının sıfır olduğu, kapasite eksikliği miktarının sıfır olduğu ve yenilenebilir enerji miktarının toplam enerji miktarı içerisindeki oranının %85,7 olduğu görülmektedir. Ayrıca, yine bu pencereden, yılın her bir ayında rüzgar türbininin ortalama olarak ne miktarda elektrik ürettiğini ve şebekeden ortalama olarak ne miktarda elektrik satın alındığını gösteren bir grafik de görülmektedir.

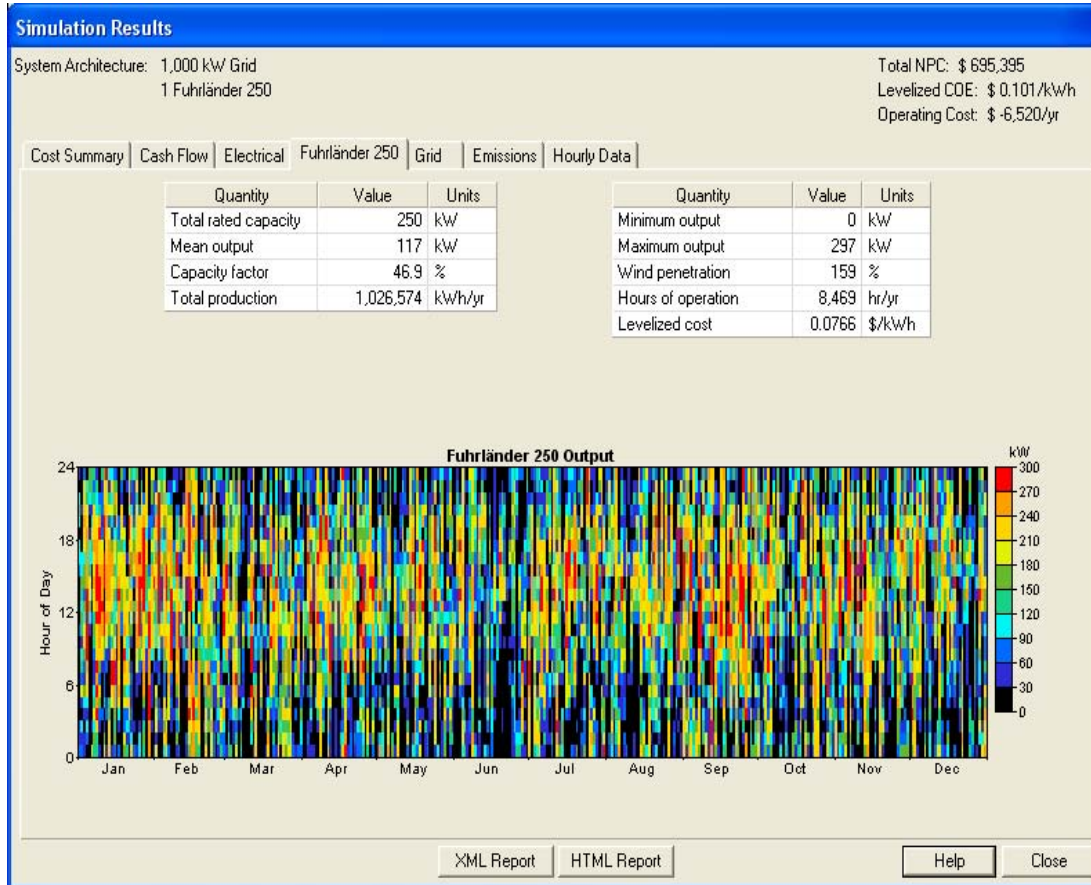


Şekil 7.12 : *Simulation results* penceresinde *cash flow* başlığı altında bulunan pencere.



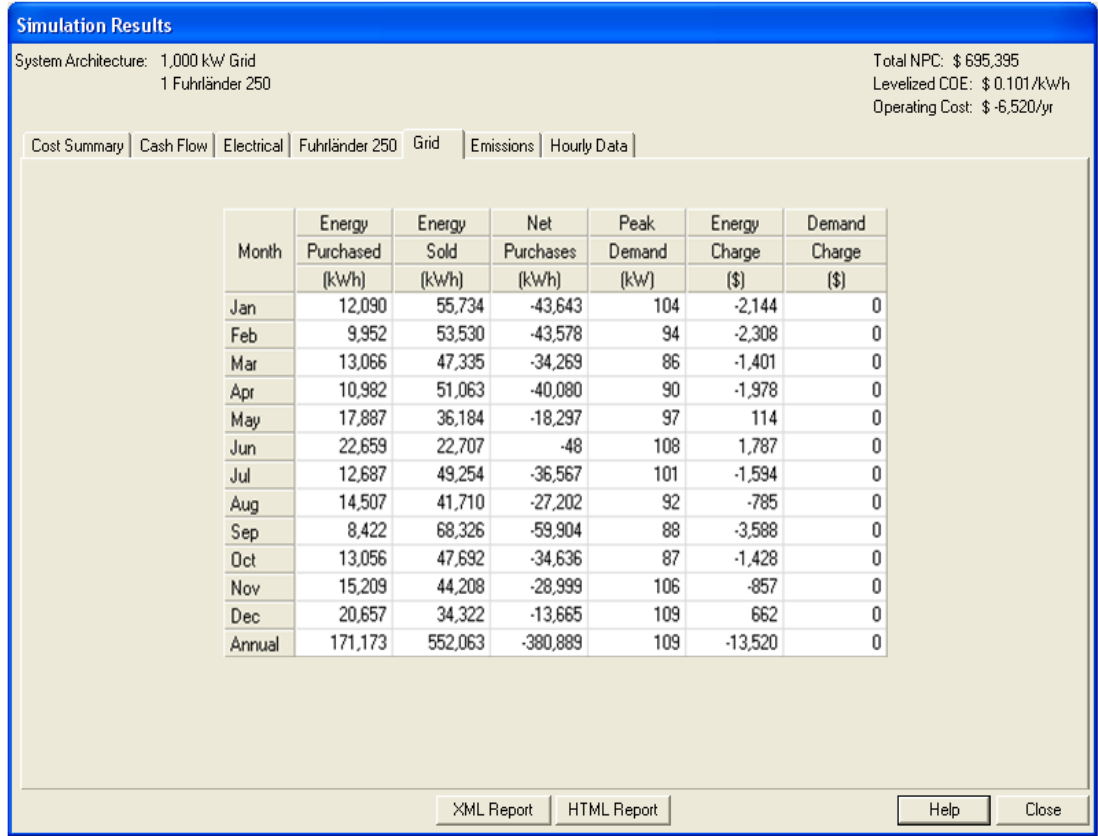
Şekil 7.13 : *Simulation results* penceresinde *electrical* başlığı altında bulunan pencere.

Simulation results penceresinde Fuhrländer 250 başlığı altında bulunan pencere Şekil 7.14’de gösterilmiştir. Bu pencereden, rüzgar türbininin toplam nominal kapasitesinin 250 kW olduğu, ortalama çıkış gücünün 117 kW olduğu, ortalama çıkış gücünün toplam nominal kapasitesine bölünmesi ile elde edilen kapasite faktörünün %46,9 olduğu, toplam elektrik üretiminin yılda 1.026.574 kWh olduğu, minimum çıkış gücünün 0 kW olduğu, maksimum çıkış gücünün 297 kW olduğu, ortalama çıkış gücünün ortalama yüke bölünmesi ile elde edilen *wind penetration* değerinin %159 olduğu, çalışma süresinin yılda 8.469 saat olduğu ve yıllık maliyetinin yıllık elektrik üretimine bölünmesi ile elde edilen *levelized cost* değerinin 0,0766 \$/kWh olduğu görülmektedir.



Şekil 7.14 : *Simulation results* penceresinde Fuhrländer 250 başlığı altında bulunan pencere.

Simulation results penceresinde *grid* başlığı altında bulunan pencere Şekil 7.15’de gösterilmiştir. Bu pencereden, yılın her bir ayında şebekeden satın alınan enerji miktarı, şebekeye satılan enerji miktarı, şebekeden satın alınan enerjinin net miktarı, şebekeden talep edilen enerjinin azami miktarı, şebekeden satın alınan enerjinin net bedeli ve talep edilen enerjinin azami miktarına dayalı kapasite bedeli görülmektedir.



Şekil 7.15 : Simulation results penceresinde grid başlığı altında bulunan pencere.

7.2 Hassaslık Sonuçları

- Hassaslık sonuçları (*sensitivity results*) başlığı altında bulunan *tabular* seçeneğinin seçilmesi ile görüntülenen sonuçlar Şekil 7.16'da gösterilmiştir.

Sensitivity Results | Optimization Results

Double click on a system below for optimization results.

Tabular | Graphic

Export

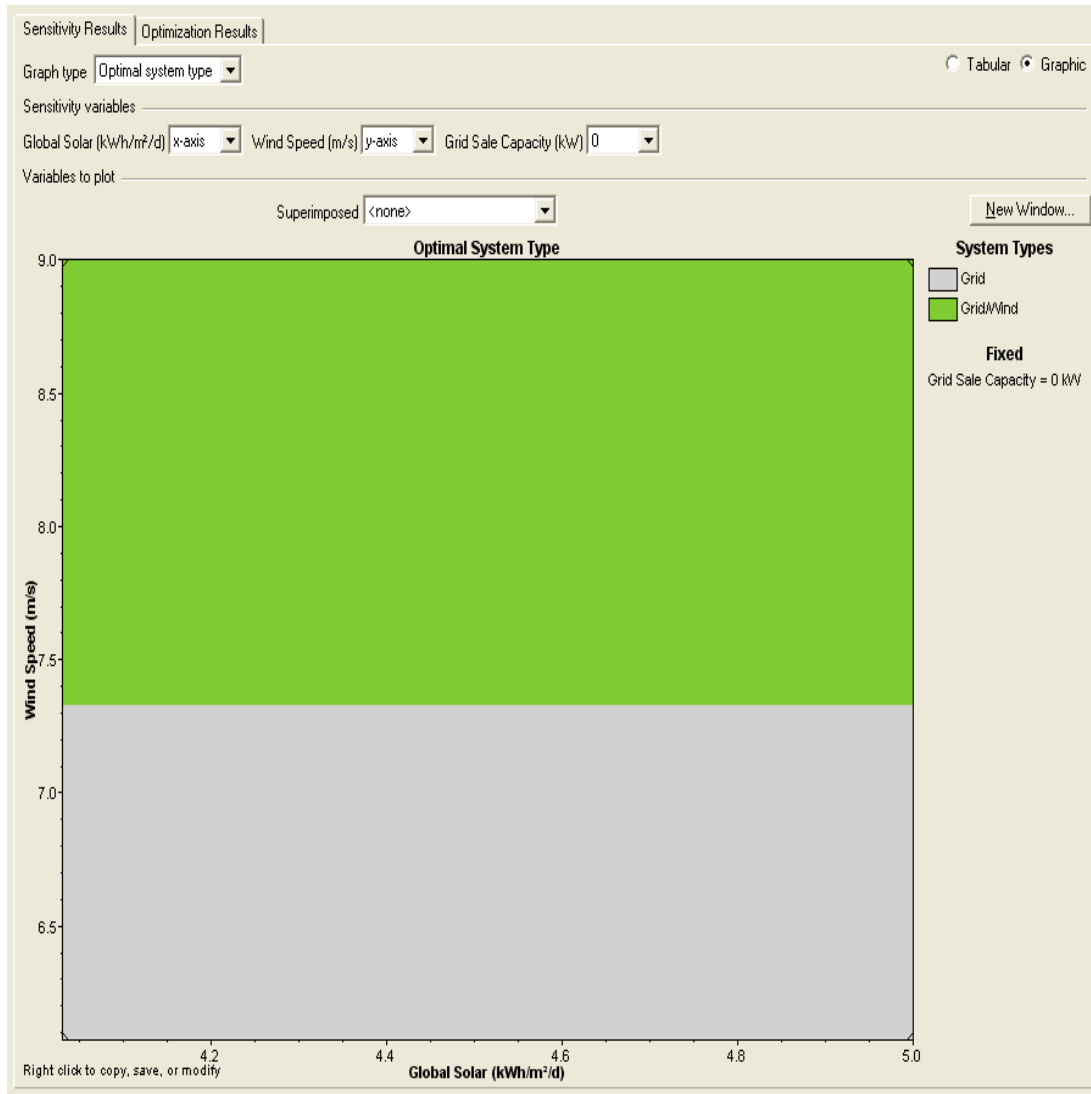
Solar (kWh/m ² /d)	Wind (m/s)	Sale Cap. (kW)	Icons	PV (kW)	FL250	FL100	Batt.	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Capacity Shortage
4.030	6.070	0.0	☀️						1000	\$ 0	96,853	\$ 1,033,882	0.150	0.00	0.00
4.030	6.070	1000.0	☀️						1000	\$ 0	96,853	\$ 1,033,882	0.150	0.00	0.00
4.030	9.000	0.0	☀️			1			1000	\$ 415,000	43,524	\$ 879,604	0.128	0.66	0.00
4.030	9.000	1000.0	☀️		1				1000	\$ 765,000	-6,520	\$ 695,395	0.101	0.86	0.00
5.000	6.070	0.0	☀️						1000	\$ 0	96,853	\$ 1,033,882	0.150	0.00	0.00
5.000	6.070	1000.0	☀️						1000	\$ 0	96,853	\$ 1,033,882	0.150	0.00	0.00
5.000	9.000	0.0	☀️			1			1000	\$ 415,000	43,524	\$ 879,604	0.128	0.66	0.00
5.000	9.000	1000.0	☀️		1				1000	\$ 765,000	-6,520	\$ 695,395	0.101	0.86	0.00

Şekil 7.16 : Liste halinde hassaslık sonuçları.

Bu sonuçlardan, her bir incelenen bölgenin temsil ettiği güneş ışınımı ve rüzgar hızı değerlerinde şebekeye elektrik satamayan örnek hibrid enerji sistemi ve şebekeye

elektrik satabilen örnek hibrid enerji sistemi için HOMER'in verdiği optimum sistem konfigürasyonları ve bu optimum sistem konfigürasyonlarının bazı ekonomik ve teknik değerleri görülmektedir.

- Hassaslık sonuçları (*sensitivity results*) başlığı altında bulunan *graphic* seçeneğinin seçilmesinin ardından *graph type* kısmında *optimal system type* seçeneğinin seçilmesi ve daha sonra *sensitivity variables* başlığı altında yer alan *global solar* için *x-axis*, *wind speed* için *y-axis* ve *grid sale capacity* için 0 seçeneklerinin seçilmesi ile görüntülenen grafik Şekil 7.17'de gösterilmiştir.

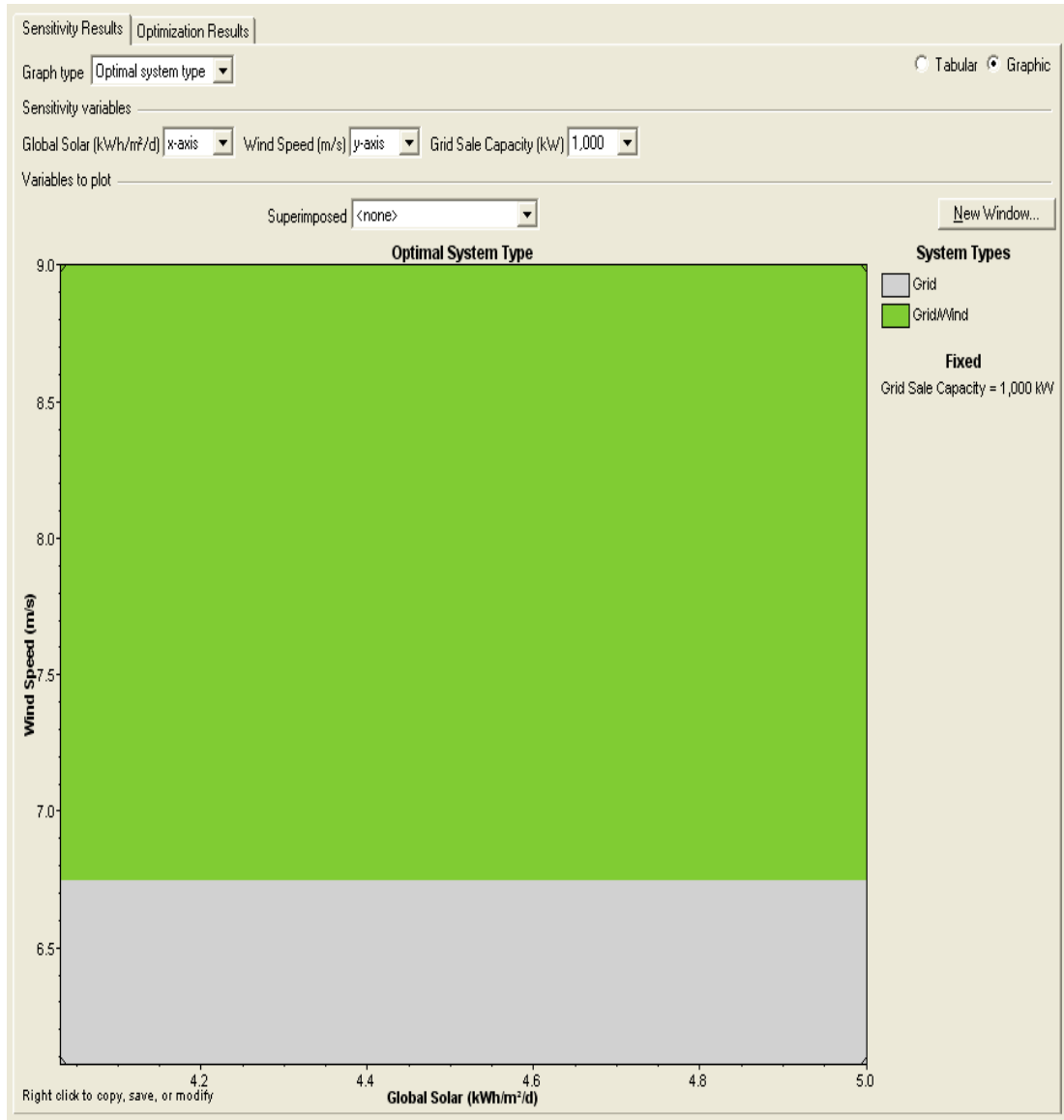


Şekil 7.17 : Şebekeye elektrik satamayan örnek hibrid enerji sistemi için grafik halinde hassaslık sonucu.

Bu grafikten, şebekeye elektrik satamayan örnek hibrid enerji sistemi için güneş ışınlımının 4,03 kWh/m²/gün değerinden 5,00 kWh/m²/gün değerine ve rüzgar hızının 6,07 m/s değerinden 7,33 m/s değerine kadar olan aralıklarında HOMER'in

verdiği optimum sistem konfigürasyonunun sadece şebekeden oluşan bir sistem olduğu görülürken diğer taraftan güneş ışınımının 4,03 kWh/m²/gün değerinden 5,00 kWh/m²/gün değerine ve rüzgar hızının 7,34 m/s değerinden 9,00 m/s değerine kadar olan aralıklarında ise HOMER'in verdiği optimum sistem konfigürasyonunun şebeke ve rüzgar türbininden oluşan bir sistem olduğu görülmektedir.

- Hassaslık sonuçları (*sensitivity results*) başlığı altında bulunan *graphic* seçeneğinin seçilmesinin ardından *graph type* kısmında *optimal system type* seçeneğinin seçilmesi ve daha sonra *sensitivity variables* başlığı altında yer alan *global solar* için *x-axis*, *wind speed* için *y-axis* ve *grid sale capacity* için 1.000 seçeneklerinin seçilmesi ile görüntülenen grafik Şekil 7.18'de gösterilmiştir.



Şekil 7.18 : Şebekeye elektrik satabilen örnek hibrid enerji sistemi için grafik halinde hassaslık sonucu.

Bu grafikten, şebekeye elektrik satabilen örnek hibrid enerji sistemi için güneş ışınlamının 4,03 kWh/m²/gün değerinden 5,00 kWh/m²/gün değerine ve rüzgar hızının 6,07 m/s değerinden 6,74 m/s değerine kadar olan aralıklarında HOMER'in verdiği optimum sistem konfigürasyonunun sadece şebekeden oluşan bir sistem olduğu görülürken diğer taraftan güneş ışınlamının 4,03 kWh/m²/gün değerinden 5,00 kWh/m²/gün değerine ve rüzgar hızının 6,75 m/s değerinden 9,00 m/s değerine kadar olan aralıklarında ise HOMER'in verdiği optimum sistem konfigürasyonunun şebeke ve rüzgar türbininden oluşan bir sistem olduğu görülmektedir.

Bu iki grafikten de güneş ışınlamının 4,03 kWh/m²/gün değerinden 5,00 kWh/m²/gün değerine doğru değişmesinin hem şebekeye elektrik satamayan örnek hibrid enerji sistemi hem de şebekeye elektrik satabilen örnek hibrid enerji sistemi için HOMER'in verdiği optimum sistem konfigürasyonlarını değiştirmedeği görülmektedir. Ayrıca, yine bu iki grafikten, şebekeye elektrik satamayan örnek hibrid enerji sistemi için HOMER'in verdiği optimum sistem konfigürasyonunun 7,34 m/s değerinde olan rüzgar hızında değişiklik gösterdiği görülürken şebekeye elektrik satabilen örnek hibrid enerji sistemi için HOMER'in verdiği optimum sistem konfigürasyonunun 6,75 m/s değerinde olan rüzgar hızında değişiklik gösterdiği görülmektedir.

8. İLERİKİ ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, belirli bir bölgede bulunan belirli bir yükü ekonomik açıdan optimum şekilde besleyebilecek sistem konfigürasyonunu belirleyebilmek için şebeke bağlantısı olan örnek bir hibrid enerji sistemi HOMER ile modellenmiştir. Bu modellenme işlemi gerçekleştirilirken ise incelenen bölgenin sahip olduğu ortalama güneş ışınımı ve ortalama rüzgar hızı değerleri için hassaslık değerleri belirlenmiş ve ayrıca şebeke satış kapasitesi için de hassaslık değeri belirlenmiştir.

Bu çalışmada, rüzgar türbinlerinin maliyetleri, fotovoltaik dizinin maliyetleri, şebekeden satın alınan elektriğin fiyatı ve şebekeye satılan elektriğin fiyatı için belirli sabit değerler belirlenmiştir, bir başka çalışmada örnek hibrid enerji sisteminde belirlenmiş olan hassaslık değerlerine ilaveten veya bağımsız olarak bu maliyetlerin ve fiyatların biri, birkaçı veya hepsi için hassaslık değerleri tanımlanarak değişen maliyet(ler)in ve/veya fiyat(lar)ın doğrultusunda HOMER'in örnek hibrid enerji sistemi için ne gibi durumlara karar vereceği gözlemlenebilir. Ayrıca, yine bu çalışmada yük büyüklüğü için belirli sabit bir değer belirlenmiştir, başka bir çalışmada yük büyüklüğü için de hassaslık değerleri tanımlanarak değişen yük büyüklüğü doğrultusunda HOMER'in örnek hibrid enerji sistemi için ne gibi durumlara karar vereceği gözlemlenebilir.

Bu çalışmada, sera gazı emisyonları ile ilgili herhangi bir modelleme gerçekleştirilmemiştir, eğer üretilen şebeke elektriği miktarına karşılık salınan sera gazlarının miktarları hakkında Türkiye için sağlıklı bilgilere ulaşıldığı takdirde ileriki çalışmalarda sera gazı emisyonlarının modellenmesi ile örnek hibrid enerji sisteminin şebekeden elektrik satın alması sonucu dolaylı olarak sebep olacağı sera gazı salınımlarından ve şebekeye elektrik satması sonucu da engel olacağı sera gazı salınımlarından hesaplanacak olan net sera gazı salınım miktarları belirlenebilir.

Bu çalışmada, *grid inputs* penceresinde *advanced* başlığı altında bulunan pencerede yer alan *interconnection charge* (\$) ve *standby charge* (\$/year) değerleri ile birlikte *economic inputs* penceresinde yer alan *system fixed capital cost* (\$) ve *system fixed*

o&m cost (\$/year) değerleri üst düzey bir modelleme gerektirmelerinden ötürü modellenmemiştir, ileriki çalışmalarda ise modellenecek olan örnek hibrid enerji sisteminin gerçeğine daha da yakın olabilmesi için bu değerler modellenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Kekezoğlu, B.**, 2007. Şebekeden bağımsız çalışan hibrid enerji sistemlerinde risk değerlendirmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] **Gençoğlu, M. T.**, Yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye açısından önemi, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Elazığ.
- [3] **Türk Sanayicileri ve İşadamları Derneği**, 1998. *21. yüzyıla girerken Türkiye'nin enerji stratejisinin değerlendirilmesi*, TÜSİAD-T/98-12/239, İstanbul.
- [4] <http://repa.eie.gov.tr/>, alındığı tarih 09.11.2008.
- [5] <http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/tgunes.html>, alındığı tarih 10.11.2008.
- [6] <http://repa.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>, alındığı tarih 10.11.2008.
- [7] **Khan, M. J. and Iqbal, M. T.**, 2005. Pre-feasibility study of stand-alone hybrid energy systems for applications in Newfoundland, *Renewable Energy*, **30**, 835-854.
- [8] **Alam, M. S. and Gao, D. W.**, 2007. Modeling and Analysis of a Wind/PV/Fuel Cell Hybrid Power System in HOMER, *Second IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*, 23-25 May, 1594-1599.
- [9] **Tudorache, T. and Morega, A.**, 2008. Optimum Design of Wind/PV/Diesel/Batteries Hybrid Systems, *2nd International Conference on Modern Power Systems*, Cluj-Napoca, Romania, 12-14 November, 261-264.
- [10] **Himri, Y., Stambouli, A. B., Draoui, B., Himri, S.**, 2008. Techno-economical study of hybrid power system for a remote village in Algeria, *Energy*, **33**, 1128-1136.
- [11] **Dalton, G. J., Lockington, D. A. and Baldock, T. E.**, 2009. Feasibility analysis of renewable energy supply options for a grid-connected large hotel, *Renewable Energy*, **34**, 955-964.
- [12] **Henryson, M. and Svensson, M.**, 2004. Renewable power for the Swedish Antarctic station Wasa, *Masters Thesis*, Department of Energy Technology, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
- [13] **Hansen, C. J. and Bower, J.**, 2003. An economic evaluation of small-scale distributed electricity generation technologies, Oxford Institute for Energy Studies, Oxford, UK.
- [14] **Sülün, M.**, 2007. Rüzgar enerjisi, *Bitirme Projesi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- [15] http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Schema_Windenergieanlage.png, alındığı tarih 12.11.2008.

- [16] <<http://www.aprsworld.com/sensors/anemometer/>>, alındığı tarih 12.11.2008.
- [17] **Hau, E.**, 2005. *Wind Turbines : Fundamentals, Technologies, Application, Economics*, Springer.
- [18] <http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Darrieus_Rotor.png>, alındığı tarih 13.11.2008.
- [19] <http://www.onetoremember.co.uk/images/pt_16189.jpeg>, alındığı tarih 13.11.2008.
- [20] <http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Solar_updraft_tower.svg>, alındığı tarih 13.11.2008.
- [21] **Burton, T., Sharpe, D., Jenkins, N., Bossanyi, E.**, 2001. *Wind Energy Handbook*, John Wiley & Sons, Ltd.
- [22] **Patel, M. R.**, 1999. *Wind and Solar Power Systems*, CRC Press LLC.
- [23] <http://tr.wikipedia.org/wiki/R%C3%BCzgar_Enerjisi>, alındığı tarih 14.11.2008.
- [24] <<http://www.alternative-energy-news.info/images/technical/wind-turbine.jpg>>, alındığı tarih 14.11.2008.
- [25] <<http://static.howstuffworks.com/gif/wind-power-horizontal.gif>>, alındığı tarih 16.11.2008.
- [26] <http://fourier.eng.hmc.edu/e84/lectures/figures/pn_junction0.gif>, alındığı tarih 21.11.2008.
- [27] <http://uzerine.com/domain/images/content/gunesenerjisi/gunes_hucre2.jpg>, alındığı tarih 22.11.2008.
- [28] <http://www.actewagl.com.au/education/_lib/images/Energy/Energy07.jpg>, alındığı tarih 23.11.2008.
- [29] **Altaş, H. İ.**, 1998. Fotovoltaj güneş pilleri : yapısal özellikleri ve karakteristikleri, *Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e*, **47**, 66-71.
- [30] <http://www1.eere.energy.gov/solar/hybrid_systems.html>, alındığı tarih 25.11.2008.
- [31] <http://www.epia.org/fileadmin/EPIA_docs/documents/ARE_WG_Brochure_Hybrid_Systems.pdf>, alındığı tarih 25.11.2008.
- [32] **Farret, F. A., and Simões, M. G.**, 2006. *Integration of Alternative Sources of Energy*. John Wiley & Sons, Inc.
- [33] **Devine, M. M.**, 2005. Analysis of electric loads and wind-diesel energy options for remote power stations in Alaska, *Masters Project*, Graduate School of the University of Massachusetts Amherst, Amherst.

- [34] <http://www.fullspectrumenergy.com/CaseStudies/FSE_White_Rock_Phase_II_Analysis.pdf>, alındığı tarih 28.11.2008.
- [35] <http://www.fullspectrumenergy.com/CaseStudies/FSE_Navavo_Pilot_Revised_3-13-06.pdf>, alındığı tarih 30.11.2008.
- [36] <<http://www.thewindpower.net/wind-turbine-datasheet-161-fuhrlander-fl-250-250.php>>, alındığı tarih 17.10.2008.
- [37] <<http://www.thewindpower.net/wind-turbine-datasheet-162-fuhrlander-fl-100-21.php>>, alındığı tarih 17.10.2008.
- [38] <<http://www.californiasolarcenter.org/newssh/pdfs/Solarex-MSX64.pdf>>, alındığı tarih 19.10.2008.
- [39] <http://www.rollsbattery.com/pdf/pdf_rolls/4ks25ps.pdf>, alındığı tarih 25.10.2008.

EKLER

EK A. FL 250 İsimli Rüzgar Türbinine Ait Teknik Bilgiler [36]

MID-SIZED WIND TURBINE
for distributed generation
or wind-diesel applications



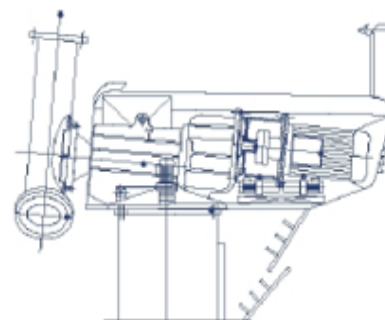
FL 250



The **Fuhrländer** FL 250 offers exceptional features and value for a mid sized wind turbine. Especially suited for displacing high cost utility power at manufacturing, educational, municipal water treatment, and agricultural facilities, the FL 250 can also be used to reduce power costs at remote (off-grid) diesel generation stations. Features include a two-speed generator with dual electrical windings, aerodynamic blade tip brakes, and a sophisticated wind turbine controller with a state of the art communications capability. Currently installed in many parts of the world, the **Fuhrländer** FL 250 is a proven leader in its class.

Lorax Energy Systems, LLC is the North American Distributor for **Fuhrländer** Wind Turbines. For more information on these elegant machines, please contact our sales office.

ROTOR	
diameter	29.5 m
area	706 sq m
number of blades	3
speed	29 / 38 rpm
power regulation	stall regulated
GEAR BOX	
type	combined
stages	3
ratio	1 : 31
GENERATOR	
type	asynchronous, 3 phase
speed	900 - 1200 rpm (60 Hertz)
voltage	480 VAC
POWER CHARACTER	
rated output	250 kW (max. 300 kW)
cut in	2.5 m/s
rated output at	15 m/s
cut out	25 m/s
survival wind speed	55 m/s
TOWER	
hub height	42 / 50 m
type	tubular tower
WEIGHT	
rotor	4,900 kg
nacelle	9,800 kg
tower	26,500 kg (42 m)
CONTROL SYSTEM	
speed regulation	grid connected
yawing control	electric yaw motor
main brake	tip brake
second brake system	disc brake
monitoring	remote data and control
SOUND	
noise level	98 dB(A) at nacelle
tonality	none
pulsation	none



EK B. FL 100 İsimli Rüzgar Türbinine Ait Teknik Bilgiler [37]

MID-SIZED WIND TURBINE for wind-diesel or distributed generation applications



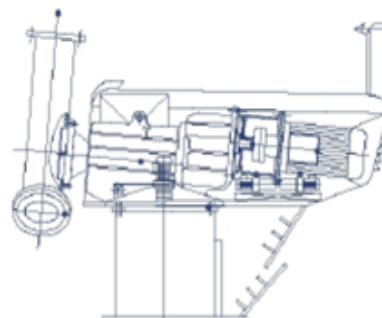
FL 100



ROTOR	
Diameter	21 m
Area	346 sq m
Number of blades	3
Speed	32 / 48 rpm
Power regulation	stall
GEAR BOX	
Type	combined
Stages	3
Ratio	1 : 37.5
GENERATOR	
Type	asynchronous, 3 phase,
Speed	1200 - 1800 rpm (60 Hertz)
Voltage	480 VAC
POWER CHARACTER	
Rated output	100 kW (max. 130 kW)
Cut in	2.5 m/s
Rated output at	13 m/s
Cut out	25 m/s
Survival wind speed	67 m/s
TOWER	
Hub height	35 m
Type	Tubular tower
WEIGHT	
Rotor	2,800 kg
Nacelle	6,200 kg
Tower	18,000 kg
CONTROL SYSTEM	
Speed regulation	grid connected
Yaw control	electric yaw motor
Main brake	disc brake
Secondary brake	aerodynamic tip brake
Monitoring	remote data and control
NOISE	
Noise level	95 dB(A) at the nacelle
Tonality	none
Pulsation	none

The **Fuhrländer** FL 100 wind turbine is well suited to provide supplementary low cost power to remote diesel generation plants or for on-site power for medium sized schools, factories and farms. Originally designed to provide power under extreme conditions in remote locations, this robust wind turbine is less costly to maintain than others in its class. A dual speed dual wound generator gives the highest efficiency at all wind speeds and the aerodynamic blade tip brakes slow the turbine to a stop with a minimum of stress on the drive train. The FL 100 has an advanced controller which can provide detailed information on turbine performance over a phone line to a local computer or via the internet to a location anywhere in the world.

Presently in service in a number of countries, the FL 100 is the proven choice for wind turbines in this size range.



EK C. Saatlik Yük Verisi İçin MATLAB Programı [1]

```
clear all;
PeakLoad = input('Enter your peak load : ');

% weakly peaks %
wpeaks=PeakLoad*[86.2 90 87.8 83.4 88 84.1 83.2 80.6 74 73.7 71.5 72.7 70.4 75
72.1 80 75.4 83.7 87 88 85.6 81.1 90 88.7 89.6 86.1 75.5 81.6 80.1 88 72.2 77.6 80
72.9 72.6 70.5 78 69.5 72.4 72.4 74.3 74.4 80 88.1 88.5 90.9 94.0 89.0 94.2 97.0 100
95.2]/100;
% Dailiy Peaks from Monday to Sunday %
Mondays = 93*wpeaks/100;
Tuesdays=100*wpeaks/100;
Wednesdays=98*wpeaks/100;
Thursdays=96*wpeaks/100;
Fridays=94*wpeaks/100;
Saturdays=77*wpeaks/100;
Sundays=75*wpeaks/100;
%This part forms a zero matix 52 by 7 for dailiy peaks%
for i=1:1:52
    for j=1:1:7
        dpeaks(i,j)=0;
    end
end
%Dailiy peaks%
m=1;
for k=1:1:52;
    dpeak(m,:)=[Mondays(k) Tuesdays(k) Wednesdays(k) Thursdays(k) Fridays(k)
Saturdays(k) Sundays(k)];
    dpeaks(m,:)=dpeak(m,:); % Each row in [dpeaks] matrix represent the each week and
    each column represents the days of the weeks, starting from monday to saturday
    m=m+1;
end

%This part forms a zero matix 364 by 24 for hourly peaks%

for i=1:1:364
    for j=1:1:24
        hpeaks(i,j)=0;
    end
end

%Seasonal hourly load variations in percent of dailiy peak%

%Winter weeks : 1-8 & 44-52 %
Winter_weekdays = [67    63    60    59    59    60    74    86    95
    96    96    95    95    95    93    94    99    100    100    96
    91    83    73    63];
```

```

Winter_weekends = [78    72    68    66    64    65    66    70    80
                   88    90    91    90    88    87    87    91    100    99    97
                   94    92    87    81];

```

% Summer weeks : 18 - 30 %

```

Summer_weekdays = [64    60    58    56    56    58    64    76    87
                    95    99    100    99    100    100    97    96    96    93    92
                    92    93    87    72];
Summer_weekends = [74    70    66    65    64    62    62    66    81
                   86    91    93    93    92    91    91    92    94    95    95
                   100    93    88    80];

```

% Spring/Fall weeks : 9-17 & 31-43%

```

SpringFall_weekdays = [63    62    60    58    59    65    72    85    95
                        99    100    99    93    92    90    88    90    92    96    98
                        96    90    80    70];
SpringFall_weekends = [75    73    69    66    65    65    68    74    83
                        89    92    94    91    90    90    86    85    88    92    100
                        97    95    90    85];

```

% Each row in hpeaks matrix represent the days of the year (364 day)

% Each column in hpeaks matrix represent the hours of the day, for example

% :1st column represent 12-1 am, second column represent 1-2 am, while 12th

% column represent 11am-Noon and 13rd column represent Noon-1pm

```

mm=1;
for i=1:1:8
    for j=1:1:7
        hpeak_winter(mm,:)=dpeaks(i,j)*Winter_weekdays/100;
        if j == 6 | j==7
            hpeak_winter(mm,:)=dpeaks(i,j)*Winter_weekends/100;
        end
        mm=mm+1;
    end
end

nn=1;
for i=9:1:17
    for j=1:1:7
        hpeak_SpringFall(nn,:)=dpeaks(i,j)*SpringFall_weekdays/100;
        if j == 6 | j==7
            hpeak_SpringFall(nn,:)=dpeaks(i,j)*SpringFall_weekends/100;
        end
        nn=nn+1;
    end
end

```

```

pp=1;
for i=18:1:30
    for j=1:1:7
        hpeak_Summer(pp,:)=dpeaks(i,j)*Summer_weekdays/100;
        if j == 6 | j==7
            hpeak_Summer(pp,:)=dpeaks(i,j)*Summer_weekends/100;
        end
        pp=pp+1;
    end
end

rr=1;
for i=31:1:43
    for j=1:1:7
        hpeak_SpringFall_1(rr,:)=dpeaks(i,j)*SpringFall_weekdays/100;
        if j == 6 | j==7
            hpeak_SpringFall_1(rr,:)=dpeaks(i,j)*SpringFall_weekends/100;
        end
        rr=rr+1;
    end
end

qq=1;
for i=44:1:52
    for j=1:1:7
        hpeak_winter_1(qq,:)=dpeaks(i,j)*Winter_weekdays/100;
        if j == 6 | j==7
            hpeak_winter_1(qq,:)=dpeaks(i,j)*Winter_weekends/100;
        end
        qq=qq+1;
    end
end

hpeaks(1:56,1:24)=hpeak_winter;

hpeaks(57:119,1:24)=hpeak_SpringFall;

hpeaks(120:210,1:24)=hpeak_Summer;

hpeaks(211:301,1:24)=hpeak_SpringFall_1;

hpeaks(302:364,1:24)=hpeak_winter_1;

%This vector shows the hourly load variations from 1st day to 364th day%
hourlyloads=reshape(hpeaks',1,8736);

```


MSX-60 and MSX-64 Photovoltaic Modules



The MSX-64 and -60 are among the most powerful of Solarex's Megamodule™ series, a product line which is the culmination of nearly three decades of extensive research in polycrystalline silicon photovoltaics. With over 3 amperes of current at peak power, these modules offer the most cost-effective package in the industry, and charge batteries efficiently in virtually any climate.

These modules may be used in single-module arrays or deployed in multiple-module arrays, wired in series/parallel combinations as required to meet current and voltage requirements. They are engineered under Solarex's IntegraSystem™ system integration concept, which ensures full compatibility with other Solarex subsystems and components (support hardware, regulators, etc.) and easy system assembly. As single-module arrays, they may be mounted on a variety of surfaces using optional kits or by means of user-fabricated support hardware. Solarex also offers hardware for supporting multiple-module arrays.

These modules are well-suited for virtually all applications where photovoltaics are a feasible energy source, including telecommunications systems, pumping and irrigation, cathodic protection, remote villages and clinics, and aids to navigation.

Individually Tested, Labeled and Warranted

As part of the final inspection procedure, every MSX module is tested in a solar simulator and labeled with its actual output—voltage, current, and power at maximum power point (P_{max})—at Standard Test Conditions and Standard Operating Conditions. Furthermore, the MSX-64 and -60 are covered by our industry-leading limited warranty, which guarantees:

- that no module will generate less than its guaranteed minimum P_{max} when purchased;
- at least 80% of the guaranteed minimum P_{max} for twenty years.

Contact Solarex's Marketing Department for full terms and limitations of this unparalleled warranty.

Reliable and Versatile

The Megamodule series has proved its reliability at thousands of installations in every climate on Earth. Among the features that contribute to its versatility:

Dual Voltage Capability

These modules consist of 36 polycrystalline silicon solar cells electrically configured as two series strings of 18 cells each. The strings terminate in the junction box on the module back. Shipped in 12V configuration, modules may easily be switched to 6V configuration in the field by moving leads in the junction box. This design also allows instal-

lation of bypass diodes on 18-cell strings, which can improve reliability and performance in systems with nominal voltage 24V and above.

High-Capacity Multifunction Junction Box

The size of the junction box (25 cubic inches, 411cc) and its six-terminal connection block allow most system array connections to be made right in the J-box. The box also can accommodate bypass or blocking diodes or a small regulator, which can save the expense and labor of additional boxes. The box is raintight (IP54 rated) and accepts 1/2" nominal or PG13.5 conduit or cable fittings. The standard terminals accept wire as large as AWG #10 (6mm²); an optional terminal block accepts wire up to AWG #4 (25mm²).

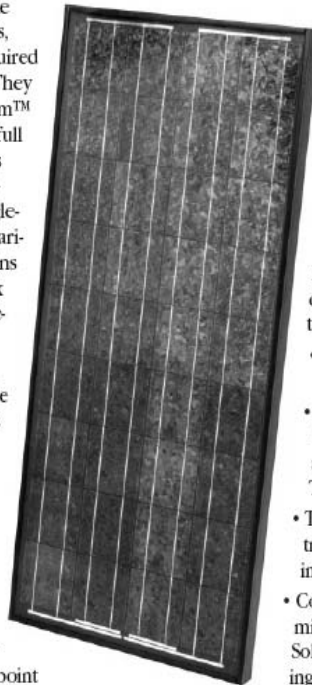
Proven Materials and Construction

Megamodule materials reflect Solarex's quarter-century of experience with solar modules and systems installed in virtually every climate on Earth.

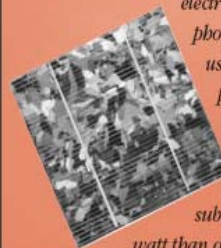
- Polycrystalline silicon solar cells: efficient, attractive, stable.
- Modules are rugged and weatherproof: cell strings are laminated between sheets of ethylene vinyl acetate (EVA) and tempered glass with a durable Tedlar backsheet.
- Tempered glass superstrate is highly light-transmissive (low iron content), stable, and impact-resistant.
- Corrosion-resistant, bronze-anodized extruded aluminum frame is strong, attractive, compatible with Solarex mounting hardware and most other mounting structures.

Options

- Blocking and bypass diodes
- Solarstate™ charge regulator
- Protective aluminum backplate



More than 20 years ago, Solarex made the first polycrystalline silicon solar cell, advancing photovoltaics beyond the first-generation monocrystalline technology developed for electronics. Developed specifically for photovoltaics, polycrystalline silicon is used in Solarex's Mega™ series to provide a wide range of attractive, efficient modules. They require substantially less energy to manufacture and generate substantially more energy per rated watt than other crystalline silicon modules.



Safety Approved

MSX-60 and -64 modules are listed by Underwriter's Laboratories for electrical and fire safety (Class C fire rating), certified by TÜV Rheinland as Class II equipment, and approved by Factory Mutual Research for application in NEC Class 1, Division 2, Group C & D hazardous locations.



Quality Certified

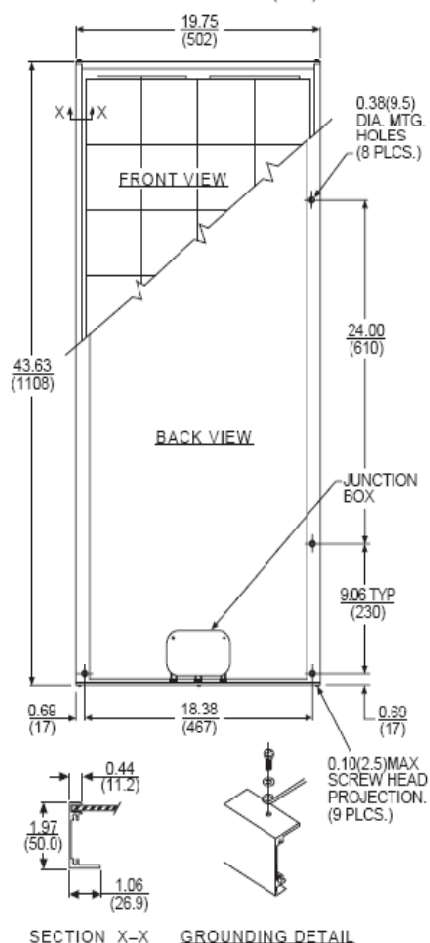
These modules are manufactured in our ISO 9001-certified factories to demanding specifications, and comply with IEC 1215, IEEE 1262 and CEC 503 test requirements, including:

- repetitive cycling between -40°C and 85°C at 85% relative humidity;
- simulated impact of one-inch (25mm) hail at terminal velocity;
- 2700 VDC frame/cell string isolation test;
- a "damp heat" test, consisting of 1000 hours of exposure to 85°C and 85% relative humidity;
- a "hot-spot" test, which determines a module's ability to tolerate localized shadowing (which can cause reverse-biased operation and localized heating);
- simulated wind loading of 125 mph (200 kph).

Mechanical Characteristics

Weight: 15.9 pounds (7.2 kg)

Dimensions: Dimensions in brackets are in millimeters
Untracked dimensions are in inches
Overall tolerances $\pm 1/8"$ (3mm)



Typical Electrical Characteristics¹

	MSX-64	MSX-60
Maximum power (P_{max})	64W	60W
Voltage @ P_{max} (V_{mp})	17.5V	17.1V
Current @ P_{max} (I_{mp})	3.66A	3.5A
Guaranteed minimum P_{max}	62W	58W
Short-circuit current (I_{sc})	4.0A	3.8A
Open-circuit voltage (V_{oc})	21.3V	21.1V
Temperature coefficient of open-circuit voltage	 $-(80 \pm 10) \text{ mV}/^\circ\text{C}$	
Temperature coefficient of short-circuit current	 $(0.065 \pm 0.015) \%/^\circ\text{C}$	
Temperature coefficient of power	 $-(0.5 \pm 0.05) \%/^\circ\text{C}$	
NOCT ²	 $47 \pm 2^\circ\text{C}$	

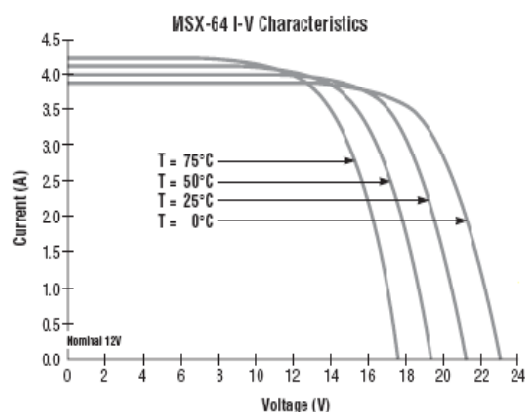
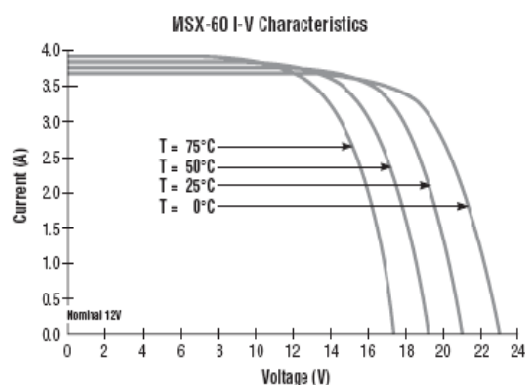
NOTES:

(1) These modules are tested, labeled and shipped in 12V configuration. These data represent the performance of typical 12V modules as measured at their output terminals, and do not include the effect of such additional equipment as diodes and cabling. The data are based on measurements made in a solar simulator at Standard Test Conditions (STC), which are:

- illumination of $1 \text{ kW}/\text{m}^2$ (1 sun) at spectral distribution of AM 1.5;
- cell temperature of 25°C or as otherwise specified (on curves).

Operating characteristics in sunlight may differ slightly. To determine the characteristics of modules in 6V configuration, divide the 12V voltage characteristics by 2 and multiply current characteristics by 2. Power values are unchanged.

(2) Under most climatic conditions, the cells in a module operate hotter than the ambient temperature. NOCT (Nominal Operating Cell Temperature) is an indicator of this temperature differential, and is the cell temperature under Standard Operating Conditions: ambient temperature of 20°C , solar irradiation of $0.8 \text{ kW}/\text{m}^2$, and wind speed of 1 m/s .



[Download MSX-60 I-V XLS](#)

[Download MSX-64 I-V XLS](#)

[Download CAD](#)

VARIABLES AFFECTING PERFORMANCE

The performance of typical MEGA SX-64 and -60 modules is described by the I-V curves and electrical characteristics table on the next page. Each module's actual, tested output characteristics are printed on its label.

The current and power output of photovoltaic modules are approximately proportional to illumination intensity. At a given intensity, a module's output current and operating voltage are determined by the characteristics of the load. If that load is a battery, the battery's internal impedance will dictate the module's operating voltage. An I-V curve is simply all of a module's possible operating points (voltage/current combinations) at a given cell temperature and light intensity. Increases in cell temperature increase current but decrease voltage.

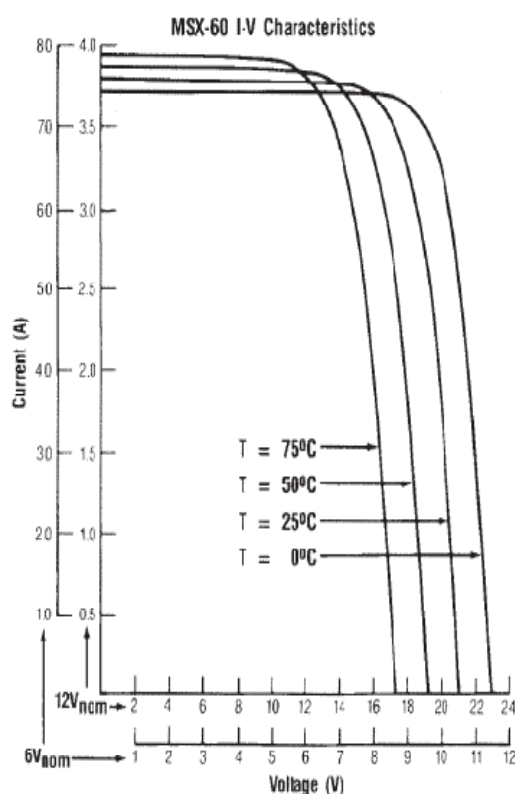
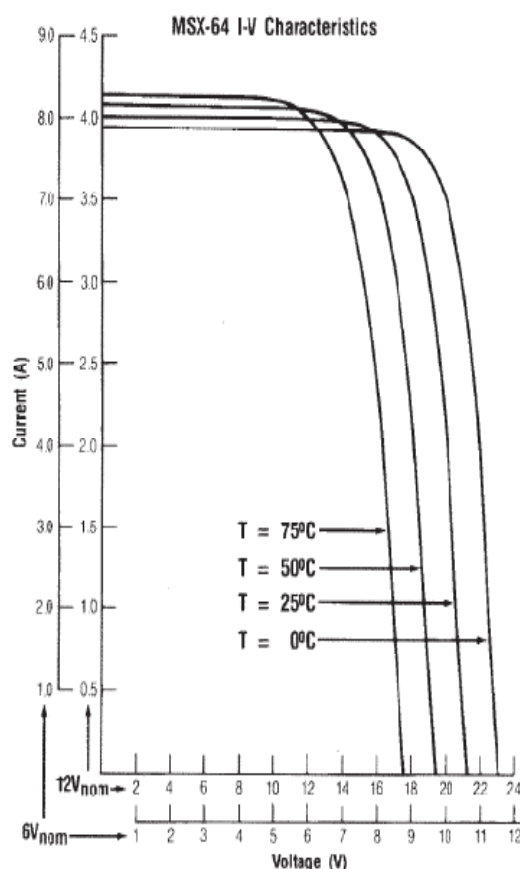
TYPICAL ELECTRICAL CHARACTERISTICS⁽¹⁾

	12 VOLT CONFIGURATION ⁽²⁾	
	MSX-64	MSX-60
Typical peak power (P _p)	64W	60W
Voltage @ peak power (V _{pp})	17.5V	17.1V
Current @ peak power (I _{pp})	3.66A	3.5A
Guaranteed minimum peak power	62W	58W
Short-circuit current (I _{sc})	4.0A	3.8A
Open-circuit voltage (V _{oc})	21.3V	21.1V
Temperature coefficient of open-circuit voltage	 -(80±10)mV/°C	
Temperature coefficient of short-circuit current	 (0.065±0.015)%/°C	
Approximate effect of temperature on power	 -(0.5±0.05)%/°C	
NOCT ⁽³⁾	 49°C	

Notes:

- (1) These data represent the performance of typical modules as measured at their output terminals, and do not include the effect of such additional equipment as diodes and cabling. The data are based on measurements made at Standard Test Conditions (STC), which are:
 - Illumination of 1 kW/m² (1 sun) at spectral distribution of AM 1.5
 - Cell temperature of 25°C or as otherwise specified (on curves).
- (2) Electrical characteristics of modules wired in the nominal 6V configuration may be found by using the 6V scales on the I-V curves. For more exact values, divide the 12V voltage characteristics in the table by 2 and multiply the 12V current characteristics by 2. Power values are unchanged.
- (3) Under nearly all climatic conditions, the solar cells in an operating module are hotter than the ambient temperature, a fact which must be considered when reading module data. NOCT (Nominal Operating Cell Temperature) is an indication of this temperature rise, and is the cell temperature under Standard Operating Conditions: ambient temperature of 20°C, solar irradiation of 0.8 kW/m², and average wind speed of 1 m/s.

I-V CHARACTERISTICS

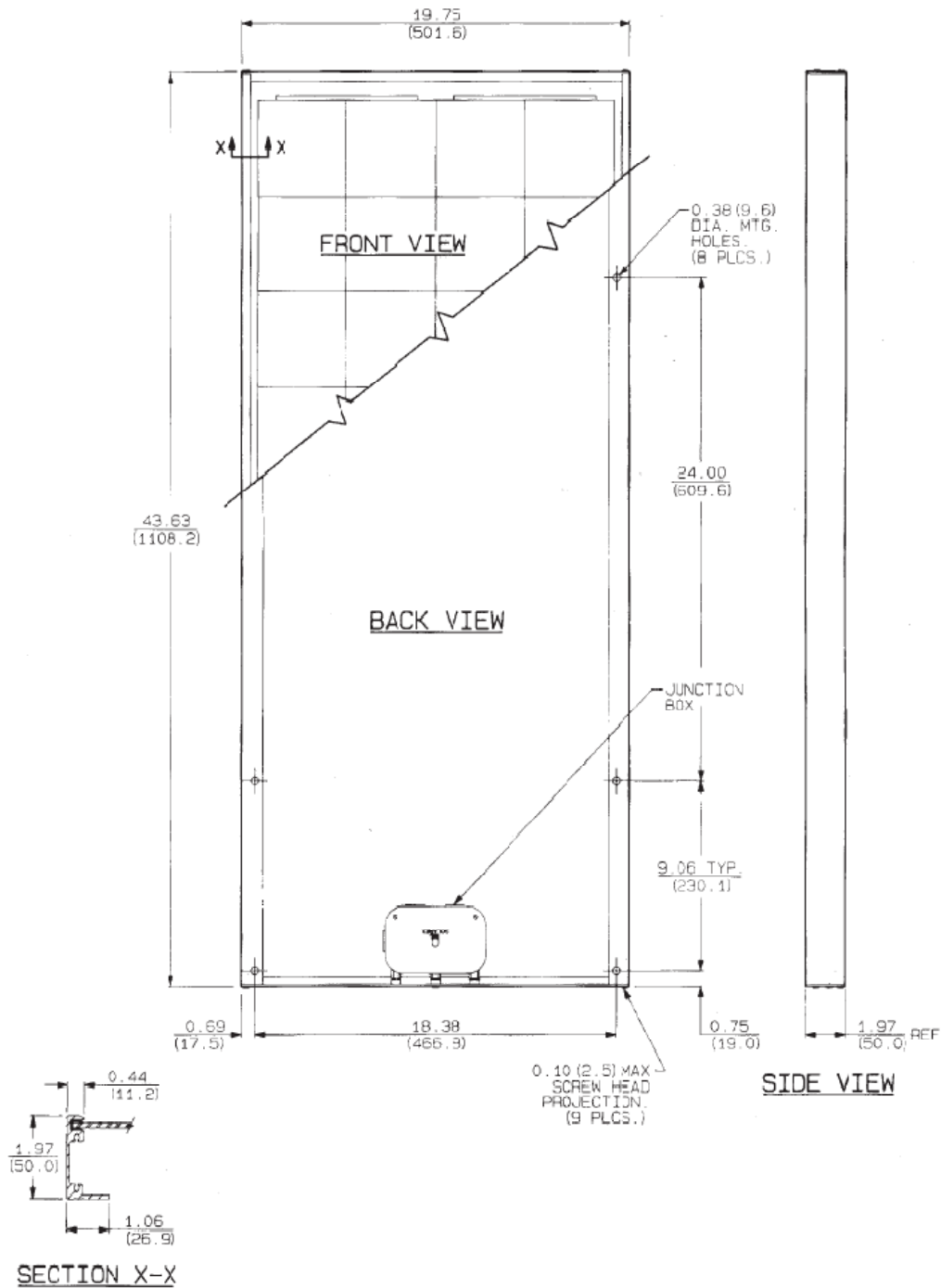


MECHANICAL CHARACTERISTICS

MEGA SX-64 and -60 are mechanically identical, differing only in electrical output.

Weight: 15.9 pounds (7.2 kg)

Dimensions: Dimensions in brackets are in millimeters
Unbracketed dimensions are in inches



EK E. Surette 4KS25P İsimli Bataryaya Ait Teknik Bilgiler [39]



DEEP CYCLE-SOLAR

SERIES 5000

4 KS 25PS

BATTERY TYPE

VOLTS 4

DIMENSIONS

LENGTH	400 MM	15 3/4	INCHES
WIDTH	270 MM	10 5/8	INCHES
HEIGHT	629 MM	24 3/4	INCHES

WEIGHT DRY

100 KG 220 LBS.

WEIGHT WET

143 KG 315 LBS.

CONTAINER CONSTRUCTION

INNER CONTAINER	POLYPROPYLENE
INNER COVER	POLYPROPYLENE - HEAT SEALED TO INNER CONTAINER
OUTER CONTAINER	HIGH DENSITY POLYETHYLENE
OUTER COVER	HIGH DENSITY POLYETHYLENE SNAP FIT TO OUTER CONTAINER
HANDLES	MOLDED

PLATES PER CELL

25

ELECTROLYTE RESERVE ABOVE PLATES

95 MM 3.75 INCHES

DESIGN CRITREA 10 YEAR WARRANTY

3300 CYCLES 15 YEAR LIFE

POSITIVE PLATE DIMENSION

HEIGHT	432 MM	17.0	INCHES
WIDTH	143 MM	5.625	INCHES
THICKNESS	6.99 MM	0.275	INCHES

NEGATIVE PLATE DIMENSION

HEIGHT	432 MM	17.0	INCHES
WIDTH	143 MM	5.625	INCHES
THICKNESS	4.57 MM	0.180	INCHES

SEPARATOR

SEPARATOR THICKNESS 0.105 INCH

INSULATION

POSITIVE PLATE DOUBLE WRAPPED WITH SLYVER 0.020 HEAVY GLASS MAT AND ENVELOPED WITH HEAVY DUTY SEPARATOR

TERMINALS

FLAG WITH STAINLESS STEEL NUTS AND BOLTS

COLD CRANK

CCA	0°F / -17.8°C	3714
MCA	32°F / 0°C	4643

RESERVE

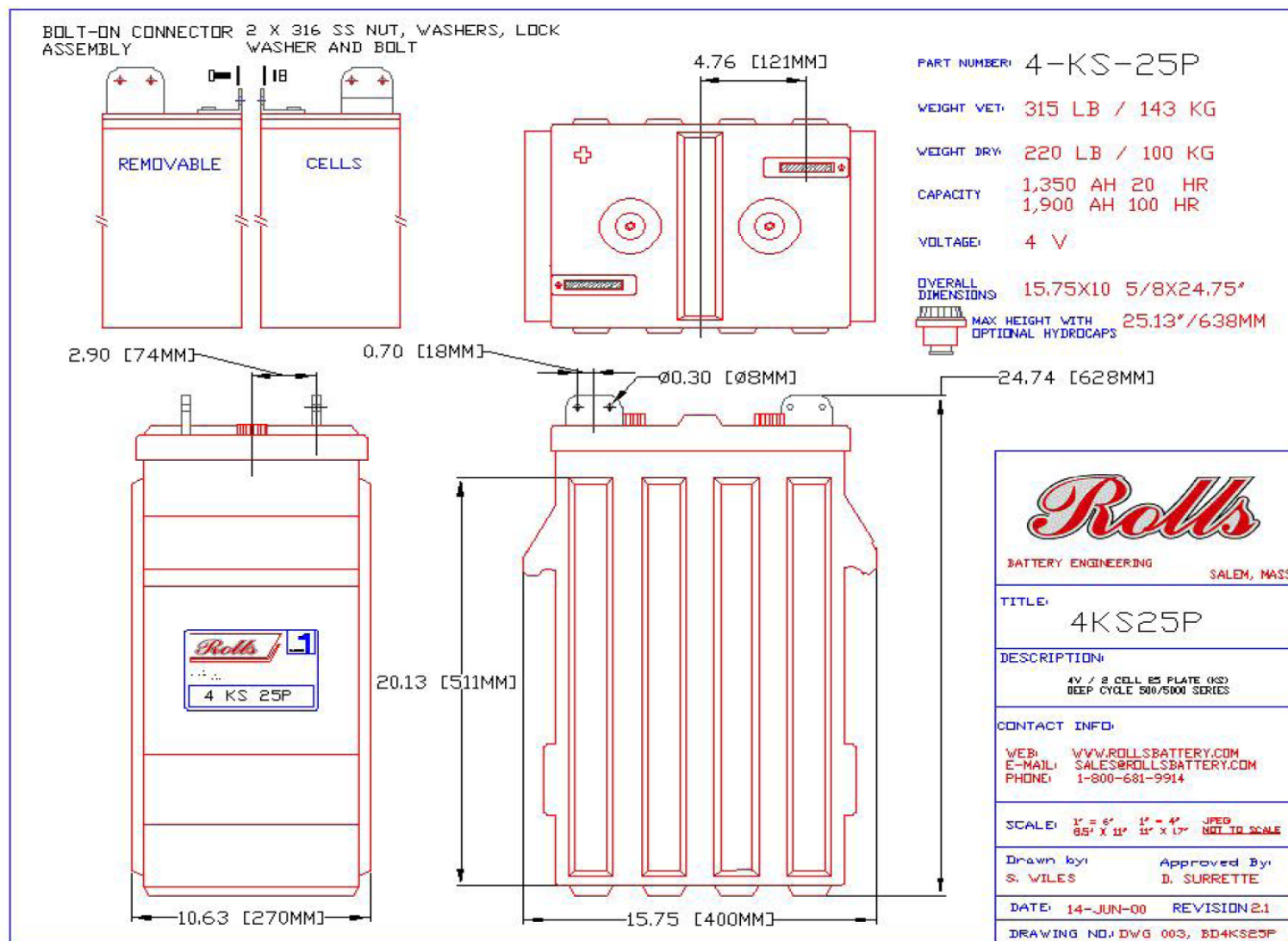
MINUTES AT 25A 4290

CAPACITY

20 HR RATE 1350

CAP / AH CURRENT / AMPS

CAPACITY AT THE 100 HOUR RATE	1.265 SP. GR.	1904	19.04
CAPACITY AT THE 72 HOUR RATE	1.265 SP. GR.	1796	24.94
CAPACITY AT THE 50 HOUR RATE	1.265 SP. GR.	1661	33.21
CAPACITY AT THE 24 HOUR RATE	1.265 SP. GR.	1404	58.5
CAPACITY AT THE 20 HOUR RATE	1.265 SP. GR.	1350	67.5
CAPACITY AT THE 15 HOUR RATE	1.265 SP. GR.	1256	83.7
CAPACITY AT THE 12 HOUR RATE	1.265 SP. GR.	1175	97.9
CAPACITY AT THE 10 HOUR RATE	1.265 SP. GR.	1121	112.1
CAPACITY AT THE 8 HOUR RATE	1.265 SP. GR.	1053	131.6
CAPACITY AT THE 6 HOUR RATE	1.265 SP. GR.	959	159.8
CAPACITY AT THE 5 HOUR RATE	1.265 SP. GR.	905	181
CAPACITY AT THE 4 HOUR RATE	1.265 SP. GR.	837	209
CAPACITY AT THE 3 HOUR RATE	1.265 SP. GR.	756	252
CAPACITY AT THE 2 HOUR RATE	1.265 SP. GR.	648	324
CAPACITY AT THE 1 HOUR RATE	1.265 SP. GR.	459	459



ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Hüseyin ÖZCAN

Doğum Yeri ve Tarihi : Adana, 05/01/1983

Adres : Barış Manço Bulvarı Delta İnşaat Barış
Apartmanı 3/6 Seyhan/Adana

Lisans Üniversite : Erciyes Üniversitesi

Yayın Listesi : -

