

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**200KWP KURULU GÜÇTEKİ LEBİT ENERJİ GÜNEŞ SANTRALİNİN  
PVSYST İLE TASARIMI VE ÜRETİM DEĞERLERİ İLE SİMULASYON  
DEĞERLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Hamit Kürşat DEMİRYÜREK**

**Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK ELEKTRONİK  
MÜHENDİSLİĞİ**  
**Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK**  
**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Uğur ARİFOĞLU**

**Ocak 2018**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

200KWP KURULU GÜÇTEKİ LEBİT ENERJİ GÜNEŞ SANTRALİNİN  
PVSYSY İLE TASARIMI VE ÜRETİM DEĞERLERİ İLE SİMULASYON  
DEĞERLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

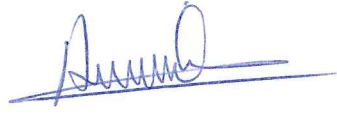
YÜKSEK LİSANS TEZİ


Hamit Kürşat DEMİRYÜREK

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK ELEKTRONİK  
MÜHENDİSLİĞİ  
Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK

Bu tez 12.01.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

  
Prof. Dr.  
Uğur ARİFOĞLU  
Jüri Başkanı

  
Prof. Dr.  
Ali ÖZTÜRK  
Üye

  
Doç. Dr.  
Cenk YAVUZ  
Üye

## **BEYAN**

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Hamit Kürşat DEMİRYÜREK  
12.01.2018

## TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım, her konuda desteğini esirgemeyen, kıymetli danışman hocam, Prof. Dr. Uğur ARİFOĞLU' na teşekkürlerimi sunarım.

Lebit Enerji güneş santrali sahibi Metin LEBİT'e , Tekno Solar A.Ő. Genel Müdür Yardımcısı Ertuğrul ÇERŐİL'e, EPDK Elektrik Piyasası Daire Başkanı Hacı Ali ULUTAŐ'a, EPDK İnsan Kaynakları ve Destek Hizmetler Daire Başkanı Hasan ILICA'ya, EPDK Yönetim Geliőtirme ve Eğitim Grup Başkanı Mahmut Adil Savaş'a ve çalışmalarımnda her daim destek olan ArŐ. Gör. Mehmet BOLAT'a teşekkür ederim.

Hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen, emeklerini hiçbir zaman ödeyemeyeceğim annem ve babama, çalışmalarımnda yardımcı olan eşime, sevgi ve muhabbetlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vii
TABLolar LİSTESİ .....	xii
ÖZET .....	xiii
SUMMARY .....	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ .....	1
1.1. Güneş Enerjisi .....	1
1.2. Dünya’da Güneş Enerjisi Durumu .....	2
1.3. Türkiye’de Güneş Enerjisi Durumu .....	3
1.4. Siirt İli Güneş Enerjisi Durumu .....	4
1.5. Güneş Açılırları .....	5
1.6. Güneş Işımasının Ölçülmesi .....	6
BÖLÜM 2.	
KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	8
BÖLÜM 3.	
FOTOVOLTAİK SİSTEM .....	13
3.1. PV Sistem Elemanları .....	13
3.1.1. Fotovoltaik hücreler .....	13
3.1.1.1. Fotovoltaik hücrelerinin çalışma ilkesi .....	14
3.1.1.2. Fotovoltaik hücre eşdeğer modeli .....	14

3.1.1.3. Güneş paneli eşdeğer modeli .....	15
3.1.2. İnverter (evirici) .....	17
3.1.3. Panel taşıyıcı destek yapılar .....	17
3.1.4. Toplama panoları .....	18
3.1.5. Kablolar .....	18
3.1.6. Transformatör .....	18
3.2. PV Sistem Kayıpları .....	19
3.2.1. Gölgeleme kayıpları .....	19
3.2.2. Tozlanma ve karlanma kayıpları .....	19
3.2.3. Sıcaklık kayıpları .....	20
3.2.4. Mismatch (uyumsuzluk) kayıpları .....	20
3.2.5. Yansıma kayıpları .....	20
3.2.6. Harici ekipman kullanımı kayıpları .....	20
3.2.7. Güneş paneli kayıpları .....	21
3.2.8. İnverter kayıpları .....	21
3.2.9. Kablo kayıpları .....	21
3.2.10. Transformatör kayıpları .....	22
3.3. PV Panel Açısı Belirlenmesi .....	22

#### BÖLÜM 4.

PVSYST PROGRAMININ GENEL TANITIMI .....	23
4.1. Preliminary Design (Ön Tasarım) .....	23
4.1.1. Şebekeye bağlı bir pv sisteminin tasarımı .....	24
4.2. Project Design (Proje Tasarımı) .....	26
4.2.1. Şebekeye bağlı bir PV sisteminin tasarımı .....	26
4.2.1.1. Kurulum yeri seçim bölümü .....	26
4.2.1.2. Yönlendirme bölümü .....	27
4.2.1.3. Sistem bölümü .....	28
4.2.1.4. Kayıplar bölümü .....	30
4.2.1.5. Horizon (ufuk çizgisi) .....	35
4.2.1.6. Near shading (gölgeleme) .....	36
4.2.1.7. Economic evaluation .....	37

4.2.1.8. Miscellaneous tools .....	38
4.2.1.9. Simulation bölümü .....	38
4.3. Databases (Veri Tabanları) .....	39
4.3.1. Meteo databases .....	40
4.3.1.1. PV sisteminin kurulacağı yerin seçimi ve meteorolojik verilerin elde edilmesi .....	40
4.3.1.1.1. PVsyst programında kayıtlı bir yerin seçimi.....	40
4.3.1.1.2. PVsyst programında kayıtlı olmayan bir yerin seçimi.....	41
4.3.2. Component databases .....	43
4.3.2.1. PV sisteminde kullanılan güneş panelinin seçimi .....	43
4.3.2.1.1. PVsyst programında kayıtlı güneş panelinin seçimi .....	43
4.3.2.1.2. PVsyst programında kayıtlı olmayan güneş panelinin oluşturulması .....	44
4.3.2.2. PV sisteminde kullanılacak inverter seçimi .....	45
4.3.2.2.1. PVsyst programında kayıtlı inverter seçimi ....	45
4.3.2.2.2. PVsyst programında kayıtlı olmayan inverterin oluşturulması .....	46
4.4. Tools (Araçlar) .....	47

## BÖLÜM 5.

LEBİT ENERJİ GÜNEŞ SANTRALİNİN GENEL TANITIMI .....	48
5.1. Konum .....	48
5.2. PV Sistem Tek Hat Şeması .....	49
5.3. PV Sistem Elemanları .....	50
5.3.1. Güneş hücreleri .....	50
5.3.2. Panel taşıyıcı destek yapılar .....	50
5.3.3. İnverter (evirici) .....	51
5.3.4. Toplama panosu .....	51
5.3.5. Kablolar .....	51

5.3.6. Transformatör .....	52
5.4. Güneş Paneli Açısının Belirlenmesi .....	52
BÖLÜM 6.	
LEBİT ENERJİ GÜNEŞ SANTRALİNİN PVSYST PROGRAMI İLE	
SİMÜLASYONU .....	53
6.1. Proje Bölümü .....	53
6.2. Kayıt Bölümü .....	57
6.3. Yönlendirme Bölümü .....	58
6.4. Sistem Bölümü .....	59
6.5. Gölgeleme Bölümü .....	62
6.6. Kayıplar Bölümü .....	63
6.7. Horizon Bölümü .....	67
6.8. Simülasyon Bölümü .....	69
BÖLÜM 7.	
PVSYST SİMÜLASYONU İLE GERÇEK ÜRETİM DEĞERLERİNİN	
KARŞILAŞTIRILMASI .....	76
BÖLÜM 8.	
SONUÇ VE ÖNERİLER .....	79
KAYNAKLAR .....	81
ÖZGEÇMİŞ .....	85



## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Amper
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
ETKB	: Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı
I	: Akım
$I_{PH}$	: Panel Fotovoltaik Akım
$I_L$	: Hücre Fotovoltaik Akım
$I_d$	: Diyot Akımı
$I_o$	: Diyot Doyma Akımı
$I_{sh}$	: Paralel Direnç Üzerinden Geçen Akım
kWp	: Kilo Watt Peak
M	: Mega
m/s	: metre/saniye
$N_p$	: Paralel Bağlı Hücre Sayısı
$N_s$	: Seri Bağlı Hücre Sayısı
NOCT	: Hücre Nominal Çalışma Sıcaklığı
PV	: Fotovoltaik
$R_{sh}$	: Paralel Bağlı Direnç
$R_s$	: Seri Bağlı Direnç
W	: Watt
Wp	: Watt Peak
$\theta_z$	: Zenit Açısı
$\Phi$	: Enlem Açısı
$\alpha$	: Azimuth Açısı

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Dünya güneş enerjisi potansiyeli haritası [4] .....	2
Şekil 1.2. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli haritası [8] .....	4
Şekil 1.3. Siirt ili güneş enerjisi potansiyeli haritası [8] .....	4
Şekil 1.4. Siirt ili global radyasyon değerleri ve güneşleme süreleri grafiği [8] .	5
Şekil 1.5. Zenit açısı [9] .....	5
Şekil 1.6. Enlem açısı [9] .....	6
Şekil 1.7. Azimuth açısı [9] .....	6
Şekil 1.8. Piranometre .....	6
Şekil 3.1. Fotovoltaik hücreler .....	14
Şekil 3.2. Güneş pili eşdeğer devresi .....	14
Şekil 3.3. Güneş paneli eşdeğer modeli .....	16
Şekil 3.4. a) Mikro inverter b) Dizi inverter a) Merkezi inverter .....	17
Şekil 3.5. a) Panel taşıyıcı destek yapılarının çakma yöntemi ile montajı b) Panel taşıyıcı destek yapılarının betonarme yapı ile montajı .....	17
Şekil 3.6. a) Doğru gerilim toplama panosu b) Alternatif gerilim toplama panosu .....	18
Şekil 3.7. a) Bina gölgelemesi örneği c) Panel gölgelemesi örneği .....	19
Şekil 3.8. Güneş panelinde tozlanma .....	20
Şekil 3.9. a) Sabit panel taşıyıcı sistem örneği b) Hareketli panel taşıyıcı sistem örneği .....	22
Şekil 4.1. PVsyst programı giriş sayfası .....	23
Şekil 4.2. PVsyst programı preliminary desing sayfası görünümü .....	23
Şekil 4.3. a) Site and Meteo seçimi ekran görüntüsü b) PV sistem bölge seçimi	24
Şekil 4.4. a) System seçimi ekran görüntüsü b) Sistem parametreleri seçimi-1 .	24
Şekil 4.5. Panel tipi, teknolojisi, konumu ve havalandırma durumu seçimi .....	25
Şekil 4.6. a) Sonuçlar bölümü seçim ekranı b) Sonuçlar ekran görüntüsü .....	25

Şekil 4.7. PVsyst programı project desing sayfası görünümü .....	26
Şekil 4.8. a) Project ana ekran görüntüsü b) Bölge seçimi .....	26
Şekil 4.9. a) Kurulum yer seçimi b) Proje kayıt işlemi-1 .....	27
Şekil 4.10. a) Proje kayıt işlemi-2 b) Yönlendirme bölümü ana giriş ekran görüntüsü .....	27
Şekil 4.11. a) Field type seçim seçenekleri b) Panel açısı ve azimuth açısı belirleme .....	28
Şekil 4.12. Grid Connected bölümü ana sayfası .....	28
Şekil 4.13. System ana ekran görüntüsü .....	29
Şekil 4.14. Seri ve paralel panel sayısı seçimi .....	29
Şekil 4.15. a) Detailed losses seçim ekran görüntüsü b) Detailed losses bölümü ekran görüntüsü .....	30
Şekil 4.16. Ohmic losses bölümü ekran görüntüsü .....	30
Şekil 4.17. a) Wiring layout seçimi-1 b) Wiring layout seçimi-2 .....	31
Şekil 4.18. a)Şematik görünü elde etme yolu b)Kablolama şematik görünümü .	31
Şekil 4.19. a) AC circuit bölümü ekran görüntüsü b) External transformer ekran görüntüsü .....	31
Şekil 4.20. Module quality – LID – Mismatch ekran görüntüsü .....	32
Şekil 4.21. a) Tozlanma kaybı default değeri b) Tozlanma kaybının aylara göre ayarlanması .....	33
Şekil 4.22. a) IAM losses ekran görüntüsü b) a) IAM losses detailed study ekran görüntüsü .....	33
Şekil 4.23. Auxiliaries energy losses ekran görüntüsü .....	34
Şekil 4.24. a) Ageing ekran görüntüsü-1 b) Ageing ekran görüntüsü-2 .....	34
Şekil 4.25. a) Unavailability ekran görüntüsü b) Unavailability set random ekran görüntüsü .....	35
Şekil 4.26 a) Horizon bölümüne giriş ekran görüntüsü b) Horizon dosyasının aktarılması-1 .....	35
Şekil 4.27. a) Horizon dosyası ekleme seçenekleri seçim ekranı b) Horizon dosyası eklenmiş ekran görüntüsü .....	36
Şekil 4.28. Near Shadings giriş ekran görüntüsü .....	36
Şekil 4.29. a) Gölgeleme olmadığına dair ekran görüntüsü b)3D boyutlu çizim	37

Şekil 4.30. Economic Evaluation seçim ekran görüntüsü .....	37
Şekil 4.31. a) PV sistem maliyet hesabı ekran görüntüsü b) Karbon salınım hesabı ekran görüntüsü .....	37
Şekil 4.32. a) Miscellaneous tools seçimi ekran görüntüsü b) Miscellaneous tools bölümü ekran görüntüsü .....	38
Şekil 4.33. a) Simulation girişi ekran görüntüsü b) Simülasyon ekran görüntüsü	38
Şekil 4.34. a) Simülasyon verilerinin elde edilmesi için giriş ekran görüntüsü b) Sonuçlara ait rapor dosyası ekran görüntüsü .....	39
Şekil 4.35. Detailed results ekran görüntüsü .....	39
Şekil 4.36. a) Databases bölümüne giriş ekran görüntüsü b) Databases bölümü ekran görünümü .....	40
Şekil 4.37. a) Databases ekran görüntüsü b) Yeni bölge seçimi ekran görüntüsü	41
Şekil 4.38. a) Yeni yer seçimi b) Yeni yere ait koordinatların programa girilmesi .....	41
Şekil 4.39. a) Seçilen yerin bilgilerinin aktarılması b) Seçilen yere ait meteorolojik bilgilerin alınması .....	42
Şekil 4.40. a) Seçilen yerin bilgilerinin kaydedilmesi-1 b) Seçilen yerin bilgilerinin kaydedilmesi-2 .....	42
Şekil 4.41. Yeni yerin programda görünmesi .....	43
Şekil 4.42. a) PV modules seçim ekranı b) PV modül çeşitleri ekran görüntüsü	44
Şekil 4.43. Güneş paneli bilgilerine ait ekran görüntüsü .....	44
Şekil 4.44. a) Yeni panel tasarımı girişi ekran görüntüsü b) Yeni panel tasarımı bilgi girişi ekran görüntüsü .....	45
Şekil 4.45. a) İnverter seçim ekranı b) İnverter çeşitleri ekran görüntüsü .....	45
Şekil 4.46. İnverter bilgilerine ait ekran görüntüsü .....	46
Şekil 4.47. a) Yeni inverter tasarımı girişi ekran görüntüsü b) Yeni inverter tasarımı bilgi girişi ekran görüntüsü .....	46
Şekil 4.48. PVsyst programı Tools sayfası görünümü .....	47
Şekil 5.1. Lebit Enerji güneş santrali uydu görüntüsü .....	48
Şekil 5.2. Lebit Enerji güneş santrali görünümü .....	48
Şekil 5.3. Lebit Enerji güneş santrali tek hat şeması .....	49
Şekil 5.4. Panellerin monte edildiği çelik yapı .....	50

Şekil 5.5. a) Güneş paneli bağlantı kablosu b) Alçak gerilim bağlantı kablosu c) Orta gerilim bağlantı kablosu .....	53
Şekil 6.1. a) Databases bölümüne giriş ekran görüntüsü b) Import meteo data giriş ekran görüntüsü .....	54
Şekil 6.2. a) Import meteo data bölümü ekran görüntüsü b) PVGIS internet sitesi ekran görüntüsü .....	54
Şekil 6.3. Aylık radyasyon datalarını alınmasına ait ekran görüntüsü .....	55
Şekil 6.4. a) Aylık radyasyon datalarını sisteme aktarılmasına ait ekran görüntüsü b) Bölgeye ait koordinatların sisteme aktarılmasına ait ekran görüntüsü .....	55
Şekil 6.5. a) Bölge adının belirlenmesine ait ekran görüntüsü ve .SIT dosyası oluşturma ekran görüntüsü b) .MET dosyası oluşturma ekran görüntüsü .....	56
Şekil 6.6. a) .MET dosyasına verilerin aktarılmasına ait ekran görüntüsü b) Meteorolojik verilerinin aktarıldığına dair ekran görüntüsü .....	56
Şekil 6.7. a) Grid Connected bölümü girişi ekran görüntüsü b) Grid Connected bölümü ana ekran görüntüsü .....	57
Şekil 6.8. Lebit Enerji güneş santralinin koordinat ve meteorolojik verilerinin sisteme aktarılması-1 .....	57
Şekil 6.9. Lebit Enerji güneş santralinin koordinat ve meteorolojik verilerinin sisteme aktarılması-2 .....	58
Şekil 6.10. a)Proje kaydedilmesi ekran görüntüsü 1. adımı b) Proje kaydedilmesi ekran görüntüsü 2. Adımı .....	58
Şekil 6.11. Yönlendirme bilgilerinin girilmesine dair uyarı ekran görüntüsü ....	59
Şekil 6.12. Yönlendirme seçenekleri .....	59
Şekil 6.13. Sistem bilgilerinin aktarılmasına dair uyarının ekran görüntüsü .....	60
Şekil 6.14. Lebit Enerji güneş santrali system bilgileri .....	60
Şekil 6.15. Güneş paneli seçimi ekran görüntüsü .....	61
Şekil 6.16. Inverter seçimi ekran görüntüsü .....	61
Şekil 6.17. a) PVsyst programının default olarak belirlediği inverter sayısı b) Lebit Enerji güneş santralinde kullanılan inverter sayısının girilmesi .....	61

Şekil 6.18. a) PVSyst programının default olarak belirlediği seri ve string sayıları b) Lebit Enerji güneş santralinde seri ve string sayıları .....	62
Şekil 6.19. a) Gölgeleme olmadığına dair ekran görüntüsü b) 3D boyutlu çizim	62
Şekil 6.20. 3 boyutlu çizim ekran görüntüsü .....	63
Şekil 6.21. a) Kayıplar bölümü ana giriş ekran görüntüsü b) Kayıplar bölümü ana giriş ekranı .....	63
Şekil 6.22. Ohmic losses bölümü ekran görüntüsü .....	64
Şekil 6.23. a) Wiring layout seçimi-1 b) Wiring layout seçimi-2 .....	64
Şekil 6.24. a) AC kayıp .....	65
Şekil 6.25. Module quality – LID – Mismatch ekran görüntüsü .....	65
Şekil 6.26. Tozlanma kaybı değeri .....	66
Şekil 6.27. IAM losses ekran görüntüsü .....	66
Şekil 6.28. Auxiliaries energy losses ekran görüntüsü .....	66
Şekil 6.29. Ageing ekran görüntüsü .....	67
Şekil 6.30. Unavailability ekran görüntüsü .....	67
Şekil 6.31. Ufuk çizgisi dosyası oluşturma .....	68
Şekil 6.32. a) Horizon bölümüne giriş ekran görüntüsü b) Horizon dosyasının aktarılması-1 .....	68
Şekil 6.33. a) Horizon dosyasının programa eklenmesi b) Horizon bilgileri .....	69
Şekil 6.34. a) Simulation girişi ekran görüntüsü b) Simülasyon ekran görüntüsü	69
Şekil 6.35. a) Simülasyon verilerinin elde edilmesi için giriş ekran görüntüsü b) Sonuçlara ait rapor dosyası ekran görüntüsü .....	70
Şekil 6.36. Simülasyon sonucu elde edilen rapor sayfa-1 .....	71
Şekil 6.37. Simülasyon sonucu elde edilen rapor sayfa-2 .....	72
Şekil 6.38. Simülasyon sonucu elde edilen rapor sayfa-3 .....	73
Şekil 6.39. Simülasyon sonucu elde edilen rapor sayfa-4 .....	74
Şekil 6.40. Simülasyon sonucu elde edilen rapor sayfa-5 .....	75
Şekil 7.1. Üretim değerleri ile simülasyon değerlerinin karşılaştırılması .....	76
Şekil 7.2. Enerji akış diyagramı .....	77

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 5.1. SolarTürk güneş paneli katalog bilgileri ..... 50

Tablo 5.2. REFUsol 020K inverter katalog bilgiler ..... 51



## ÖZET

Anahtar kelimeler: Şebekeye bağlı PV sistem, PVsyst, Solar radyasyon, Simülasyon, Kayıplar

Bu çalışmada, PVsyst V6.67-TRİAL programı ile şebekeye bağlı PV sisteminin tasarımı yapılarak, gerçek üretim değerleri ile simülasyon değerlerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. PVsyst V6.67-TRİAL programı ile aylık ve yıllık radyasyon miktarı, aylık ve yıllık üretim verileri, PV sisteme ait kayıplar (termal kaybı, kablolama kaybı, gölgeleme kaybı, uyumsuzluk kaybı, tozlanma ve karlanma kaybı, panel kaybı, inverter kaybı vb.) ve performans verileri elde edilmiştir. Geniş bir seçim yelpazesine sahip olan program, ayrıca bölge seçimi, panel, inverter tasarımı imkânları da sunmaktadır.

Bu amaçlar doğrultusunda, 200kWp kurulu güce sahip, Lebit Enerji güneş santraline ait bilgiler, PVsyst V6.67-TRİAL programına aktarılmış, simüle edilmiş ve gerçek üretim verileri ile simülasyon verileri karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonucunda elde edilen rapor ile sisteme ait kayıplar (termal kaybı, kablolama kaybı, gölgeleme kaybı, uyumsuzluk kaybı, tozlanma ve karlanma kaybı, panel kaybı, inverter kaybı vb.) analiz edilmiştir. Yapılan analizde, simülasyon sonuçları ile gerçek üretim değerleri arasında yaklaşık % 0.56'lık bir fark olduğu görüldü. Bu sonuç, tasarım aşamasında olan PV sistemleri için, yapılan fizibilite çalışmalarına büyük katkı sağlayacaktır.



# **DESIGN OF 200KWP LEBIT ENERGY SOLAR POWER PLANT WITH PVSYST AND COMPARISON OF PRODUCTION VALUES AND SIMULATION VALUES**

## **SUMMARY**

Keywords: Grid connected PV System, PVsyst, Simulation, Losses, Solar radiation

In this study, Lebit Energy on-grid PV system was designed and a comparison of actual production values and simulation values was purposed. Amount of monthly and yearly radiation, monthly and yearly production value, system losses (temperature and wind loss, cable loss, shading loss, loss of incompatibility, loss of dust, loss of snow, panel loss), and performance criteria were obtained with PVsyst V6.67-TRIAL program. Also program give chance to inverter design and many geographical site choice with multiple design selection.

For the purposes, actual production values and simulation values were compared with using the datas of 200kWp Lebit Enerji solar power plant, which was transferred and simulated to PVsyst V6.67-TRIAL program. Systematic losses (temperature and wind loss, cable loss, shading loss, loss of incompatibility, loss of dust and snow, loss of panel, loss of inverter, etc.) were analyzed by the report obtained as a result of the simulation. In the analysis shows that, there is a difference about % 0.56 between the simulation results and the actual production values. This will provide big convenience for feasibility studies pf PV systems that are in the design step.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Nüfusun artışı ve teknolojinin hızla gelişmesiyle birlikte, enerji ihtiyacı, gün geçtikçe daha da artmaktadır. Dünyada kullanılmakta olan enerjinin büyük bir çoğunluğu, fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Dünyada enerji ihtiyacı yılda ortalama %4-5 oranında artarken fosil yakıt rezervi daha yüksek oranda azalmaktadır [1]. Ayrıca, fosil yakıtla enerji elde edilirken, çevreye her geçen gün daha fazla zarar verilmektedir. Hem fosil yakıt rezervlerinin gün geçtikçe azalması hem de fosil yakıtların çevreye vermiş olduğu zararlar, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeyi zorunlu kılmıştır [2].

Yenilenebilir enerji kaynağı, enerji kaynağından alınan enerjiye eşit oranda veya kaynağın tükenme hızından daha çabuk bir şekilde kendini yenileyebilmesi olarak tanımlanır. Yenilenebilir enerji kaynakları, hidroelektrik, jeotermal, rüzgâr, biokütle ve güneş olarak sıralanabilir [3]. Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi, kolay ve hızlı kurulumu ile büyük ve küçük ölçekli olabilmesi, son yüzyıllarda dikkatleri üzerinde toplamaktadır. Yapılan araştırmalar sonucunda, dünyada bilinen bütün enerji kaynaklarından, elde edilebilecek enerji, güneşin sadece üç günde yaymış olduğu enerjiye eşittir. Ayrıca, güneş enerjisinin diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına kıyasla, çevreye daha az zarar vermesi, güneş enerjisi kullanımı sırasında, karbondioksit ve diğer sera gazlarından hiçbirini üretmemesi de önemli bir etkindir [1, 2].

### **1.1. Güneş Enerjisi**

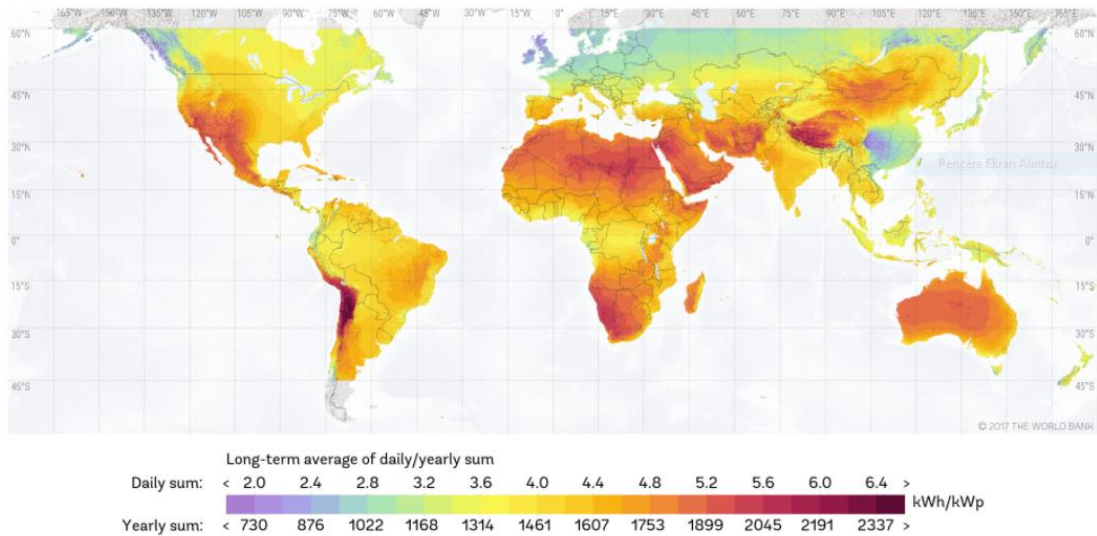
Nükleer yakıt dışında, dünyada kullanılan bütün yakıtların ana kaynağı güneştir. Güneş enerjisi, güneşteki hidrojen atomlarının helyum atomlarına dönüşmesi olarak adlandırılan, füzyon olayı ile ortaya çıkan, ışıma enerjisidir. Füzyon olayı ile ortaya çıkan enerji, çok büyük bir değerde olmasına rağmen, dünya ile güneş arasındaki

mesafe, atmosferdeki karbondioksit, su buharı ve ozon gibi gazların, ışımayı absorbe etmelerinden dolayı, çok küçük bir kısmı dünyaya ulaşmaktadır. Buna rağmen, dünyaya düşen güneş enerjisi, dünya enerji tüketiminin en az yirmi bin katına eşittir [4].

## 1.2. Dünya’da Güneş Enerjisi Durumu

Güneş enerji üretiminde kullanılan fotovoltaik hücreler, ilk kez 1970’li yıllarda üretilmiş olsa da, maliyetinden dolayı kullanımı yaygınlaşmamıştır. Zamanla gelişen teknoloji ile birlikte, fotovoltaik hücre üretim maliyetinin düşmesi, fotovoltaik hücrelerle enerji üretimini, bireysel kullanıcıların kullanımına kadar yaygınlaştırmıştır [2].

Dünyada, güneş enerjisi üretiminde Almanya, Çin ve Japonya başta gelen ülkelerdir. Güneş enerjisini kullanan bu ülkelere baktığımızda, bazıları güneş ışınları potansiyeli bakımından öne çıkarken, bazıları ise sahip oldukları teknoloji birikiminden dolayı öne çıkmaktadır. Şekil 1.1.’de verilen dünya güneş enerjisi potansiyeli haritasında, koyu kırmızı renkli bölgelerde güneş enerjisi potansiyeli yüksekken, mavi renkli bölgelere doğru gidildikçe güneş enerji potansiyeli azalmaktadır.



Şekil 1.1. Dünya güneş enerjisi potansiyeli haritası [5]

Dünyada güneşten elde edilen enerji miktarına bakıldığında, 2016 yılında üretilen enerji 2015 yılına kıyasla %50 arttığı görülmektedir. Brüksel’de düzenlenen enerji zirvesinde, dünyada enerji kapasitesinin 2016 yılında 305GW değerlerine kadar ulaştığı ifade edilmiştir. Raporlar ayrıntılı bir şekilde incelendiğinde, Almanya toplamda 70GW güneş enerjisi üretimi kapasitesi ile zirvede bulunmaktadır [6].

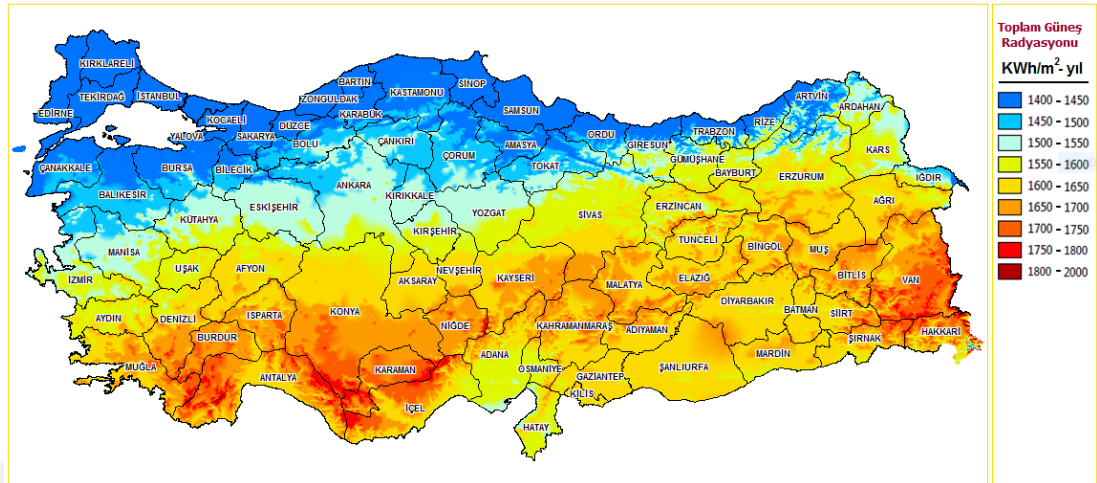
### 1.3. Türkiye’de Güneş Enerjisi Durumu

Coğrafi konumu itibariyle kuzey yarım kürede yer alan Türkiye, sahip olduğu güneş enerji potansiyeli açısından, diğer ülkelere göre oldukça yüksek potansiyele sahiptir. Her ne kadar bu enerji potansiyelini günümüze kadar, yeterli kullanılsa da, çıkartılan yönetmelikler ve teşvikler sayesinde ilgi gün geçtikçe artmaktadır [6, 7].

Türkiye’de, 2014 yılında 40 MW olan kurulu güç kapasitesi, 2015 yılında 249 MW’a ve 2016’da ise 830 MW seviyesine ulaşmıştır [8]. Türkiye’deki toplam kurulu güç kapasitesinin ancak yaklaşık %1’i güneş enerjisinden elde edilebilmektedir. Türkiye’de 2010 yılı öncesinde, güneş sistemleri, genellikle termal amaçlı kullanılırken, 2010 yılından itibaren, güneş enerjisinden elektrik üretimindeki çalışmalar artmaya başlamıştır. Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı kapsamında 2023 yılı için ısıtma ve soğutma amaçlı enerji ihtiyacının en az yüzde 15’inin yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması amacı doğrultusunda, güneş enerjisinin daha etkin, verimli, teknolojik ve yenilikçi bir biçimde kullanılması planlanmaktadır. 2023 yılı brüt elektrik talebinin 500 bin MW olacağı öngörüsü altında, Türkiye tüm güneş potansiyelini kullanmak koşuluyla, 2023 yılına gelindiğinde, elektrik talebinin tamamını sadece güneş enerjisinden karşılayabilecektir. Ancak, mevcut imkân ve maliyetlerin bu öngörünün gerçekleşmesine olanak sağlayamayacağı açıktır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) tarafından yapılan tahminler 2019 yılı için güneş enerjisinde 3 bin MW’lık elektrik üretimi gerçekleştirilmesi ve bu rakamın 2023 yılında 5 bin MW’a ulaştırılması yönündedir [8].

Şekil 1.2.’de verilen Türkiye’nin güneş enerji potansiyeli haritasına bakıldığında, güneş enerjisi potansiyeli bakımından Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz bölgeleri ilk

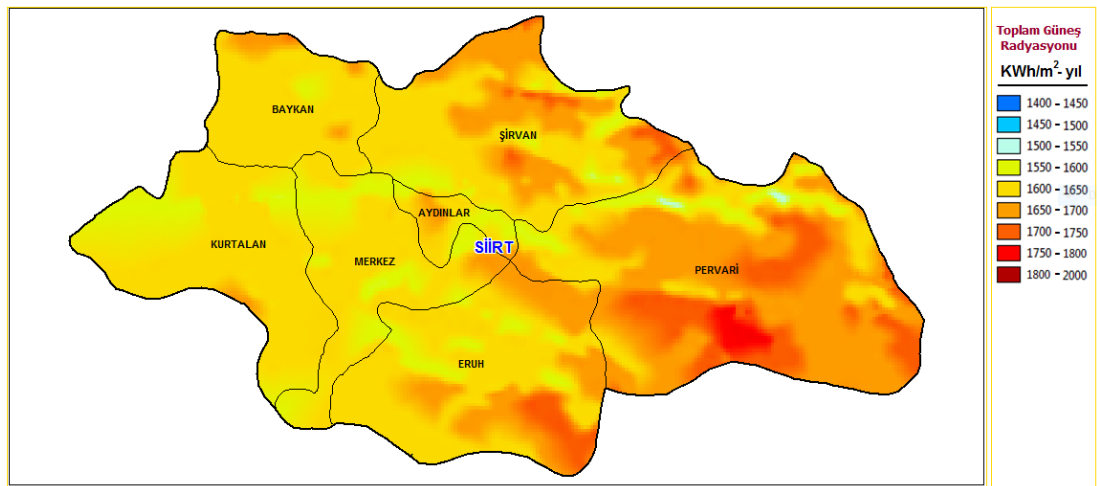
sıralarda yer alırken, Marmara ve Doğu Karadeniz bölgeleri ise ülkenin en az güneş alan bölgeleri arasında bulunmaktadır.



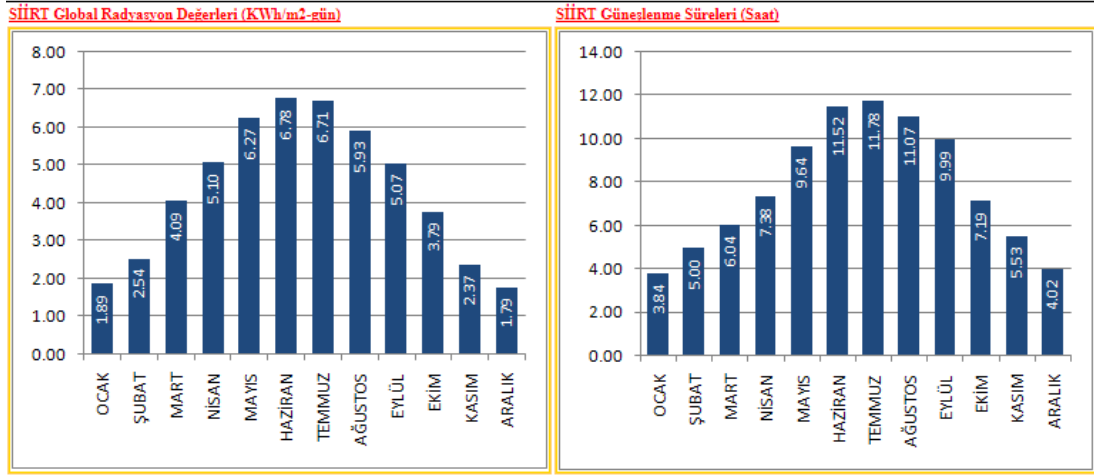
Şekil 1.2. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli haritası [9]

#### 1.4. Siirt İli Güneş Enerjisi Durumu

Güneydoğu Anadolu bölgesinde bulunan Siirt ili, coğrafi konumu açısından, ülkemizdeki diğer illere göre oldukça yüksek güneş enerjisi potansiyele sahiptir. Şekil 1.3.'te verilen Siirt ili güneş enerji potansiyeli haritası, Şekil 1.4.'de ise Siirt ili global radyasyon değerleri ve güneşleme süreleri grafiği verilmiştir.



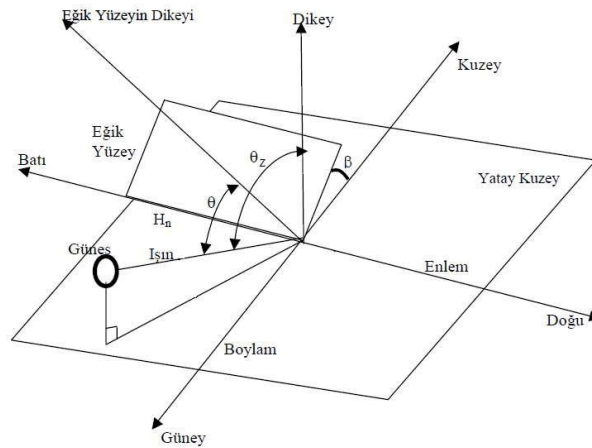
Şekil 1.3. Siirt ili güneş enerjisi potansiyeli haritası [9]



Şekil 1.4. Siirt ili global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri grafiği [9]

## 1.5. Güneş Açıları

Güneş enerjisi uygulamalarında, maksimum verim elde edilebilmesi için maksimum ışığa sağlanmalıdır. Maksimum ışığa, yatay ve eğik düzleme gelen, güneş ışığının hesaplanmasıyla elde edilir. Bu hesaplama için güneş açısı ve parametrelerinden faydalanılır [3].



Şekil 1.5. Zenit açısı [3]

Şekil 1.6.'da zenit açısı ( $\theta_z$ ), güneş yer doğrultusunun yatay düzlemin normali ile yaptığı açıdır. Şekil 1.6.'de enlem açısı ( $\Phi$ ), güneş enerjisi uygulamasının bulunduğu yeri, dünya merkezine birleştiren doğrunun, ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır [3].



Piranometreler, ışınım tutma ve yansıtma özelliği temel alınarak geliştirilmiştir. Piranometrelerin üzerinde bir siyah bir de beyaz renkli kısım bulunur. Siyah renkli kısmı, ışınımı tutar ve sıcaklığı artar, beyaz renkli kısmı ile sıcaklık farkı oluşur ve bu sıcaklık farkı ölçülür [10, 11].





## BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Haydaroğlu ve Gümüş, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi bünyesinde kurulan 250 kWp'lik güneş enerjisi santralının simülasyonunu, PVsyst V6.39 programı ile yapmış ve IEC 61724 standardında belirtilen performans kriterlerine uygun olup olmadığını incelemiştir [12].

Küçükgöze, Erzincan ilinde, kurulması planlanan 50 kW gücünde, bir güneş enerji santralının tasarımını yapmış, maliyet analizini çıkartmış ve bu çalışmaların simülasyonunu PVsyst programını kullanarak yapmıştır [2].

Eke, Didim'de kurulmuş olan 3,8 kWp gücündeki şebekeye bağlı güneş santrali üretim verilerini, PVsyst 3.02 programı vasıtasıyla elde edilen verilerle karşılaştırmış. Sezonluk eğim açısı için %6.67 daha fazla elektrik enerjisi elde edilebileceğini hesaplamıştır. Ayrıca, Muğla merkez kütüphanesi çatısında 54kWp'lik şebekeye bağlı güneş santralının tasarımı ve optimum verimlilik çalışmaları yapılmıştır [13].

Nirwan ve Thakur, PEC University of Technology'de bulunan 1 MW'lık şebekeye bağlı güneş enerjisi santralini incelemiş ve PVsyst yazılımı kullanılarak performansı değerlendirilmiştir. Çalışmasında, 15 derecelik eğim açısı ve -30 derecelik azimuth açısını, 30 derece eğim açısı ve 0 derecelik azimuth açısı olarak optimize ettiğinde %4,71 daha fazla enerji üretebildiğini göstermiştir [14].

Yadav, Kumar ve Chandel, Hindistan'ın Himachal Pradesh kentinde bulunan Hamirpur'da, 1 kWp fotovoltaik sistemi, PVsyst programı kullanılarak tasarlanmış ve simüle edilmiştir. Sistemin yıl boyunca performans oranı 0.724 olarak tahmin edilmiş olup, artan enerji ihtiyaçlarını tamamlamak adına, Hamirpur için uygulanabilir bir seçenek olduğunu göstermiştir [15].

Tallab ve Malek, Aïnmelh M'sila'daki (Cezayir) 1 MW'lık şebekeye bağlık fotovoltaik sistemin tasarımı PVsyst programı ile yapmış ve sabit panel eğim açısı yerine mevsimlik panel eğim açısı tercih edildiğinde, enerji üretiminde %5'lik bir artış sağlayacağını göstermiştir [16].

Ozerdem, Tackie ve Biricik, Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'ndeki ilk şebeke bağlantılı güneş santrali, 1.2 MV'lık Serhatköy güneş santralini PVsyst programı ile modellemiş ve üretim değerleri ile simülasyon değerlerini karşılaştırmıştır. Ayrıca, santralin kurulum maliyeti hesabı yapılarak geri ödemenin 9 yıl içinde olacağını öngörmüşlerdir [17].

Kandasamy, Prabu ve Niruba, Tamilnadu'nun güney kesiminde çeşitli yerlere (Madurai, Sivagangai, Sivakasi, Tuticorin) 1 MW'lık tesisi kurmanın uygunluğu, enerji üretimi, ekonomik fizibilitesini PVsyst programını kullanarak karşılaştırmıştır [18].

Soualmia ve Chenni, Cezayir'deki Oued Kebrite'in bulunduğu bölgede, 15MW gücünde şebekeye bağlı bir güneş santralinin modellemesi ve simülasyonu PVsyst programı ile yapmış ve bu santralinin yıllık % 83.9' luk bir performans sahip olacağını öngörmüştür [19].

Raj, Gupta ve Panda, Hindistan'daki Jaipur kentinde bulunan Poornima Üniversitesi'nde kurulu gücü 100 kWp olan güneş santralini, PVsyst programı ile modellemiş ve simüle etmiştir. Nisan ayına ait gerçek üretim verisi ile PVsyst programıyla elde etmiş olduğu veriyi karşılaştırdığında % 6,75'lik bir hata oranı elde etmiştir [20].

Morshed, Ankon, Chowdhury ve Rahman, Bangladeş Dhaka'da bulunan, 2kW'lık şebekeye bağlı olmayan PV sistemini, SolarMAT, MATLAB, PVsyst ve HOMER programlarını kullanarak simüle ederek, bu programların avantajlarını ve dezavantajlarını belirtmiştir [21].

Lalwani, vd., fotovoltaik sistem simülasyon programlarından PV DesignPro-G, INSEL, RETScreen, PVGIS, PVSOL Expert, HOMER ve PVsyst gibi 11 farklı programı, kullanılabilirliği ve maliyeti, çalışma platformları, çalışma kapasiteleri, kapsamı ve sonuçları ile güncellenebilirlik özelliklerine göre değerlendirmiştir [22].

Sekuçoğlu, fotovoltaik sistem, rüzgâr enerji sistemi ve hibrit sistemlerden elektrik enerjisi üretimi incelenmiş, sistemlerin tasarlanması, karşılaştırılması ve ekonomik analizlerini yapmıştır. Sistem tasarımlarını gerçekleştirmek ve her sisteme ait teknik-ekonomik parametreleri belirlemek için PVsyst ve HOMER programları kullanmıştır. Her iki programının ortak sonuçlarını ve programların ayrı ayrı avantajları ile dezavantajları belirtmiştir [23].

Bayrak ve Cebeci, Elazığ ilinde, mevcut balık yetiştirme çiftliklerinin temel elektrik ihtiyacını karşılamak üzere, 1.1 kW kurulu güce sahip bir PV sistem tasarlayarak sistemin performansı, elektrik yenilenebilir sistemler için, HOMER yazılımında araştırılmıştır. Ayrıca program kullanılarak, sabit açılı güneş paneli sisteminden oluşan 1.1 kW'lık PV sistem ile aynı sistemin iki-eksenli güneş izleme sistemini kullanması durumundaki analizleri yapılarak her iki sistem karşılaştırılmıştır [24].

Yılmaz, Gökçeda'nın elektrik ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynaklarıyla nasıl karşılanabileceği analiz etmiştir. Gökçeda'nın elektrik ihtiyacını karşılayacak yenilenebilir enerjili hibrit (melez) veya hibrit olmayan sistem tasarımının en uygununa karar verebilmek için HOMER programı kullanmış ve sonuç olarak rüzgâr enerjisi kullanılan sistemlerinin kurulmasının daha verimli olacağını ortaya koymuştur [25].

McGowan vd., Brezilya'da günlük 2.64 kW'lık elektrik ihtiyacını karşılamak için bir hibrit güç sistemi tasarlamışlardır. Tasarladıkları sistemler PV paneller, rüzgâr türbini, dizel jeneratör ve bataryadan oluşmaktadır. Bu sistemlerin tasarımı için HOMER ve SOME simülasyon programları kullanılmıştır. İncelemiş oldukları bu sistemde, PV ya da rüzgâr sistemlerinden daha uygun maliyetli olduğu sonucuna varmışlardır [26].

Bali ve Sümer, yenilenebilir enerji sektöründe kullanılan bilgisayar destekli programlar hakkında bilgi vermiş olup, PV\*SOL Expert programının genel özelliklerini belirterek, ücretsiz temin edilebilen diğer programlara nazaran en büyük dezavantajının fiyatı olduğu belirtmiştir [27].

Çiftçi, yapmış olduğu çalışmada, kurulu gücü 1 MW'ın altında olan güneş santrallerinin güç ve maliyet analizlerinin nasıl yapıldığını, örnek bir sistemde farklı cins paneller kullanılması durumundaki sonuçlar incelemiştir. Güç analizi yapılırken fotovoltaik hücrelerin yerleştirildiği coğrafi konumu ile güneş radyasyonunun evrensel ve hücrelerden oluşan panellerin üzerine gelen açılarını da incelenmiş ve matematiksel ifadelerini vermiştir. Bu analizlerinde yapılmasında PVSOL programını kullanılmıştır [28].

Kıyanççek, güneş enerjisi uygulamalarında üretim ve tüketim kapasitelerinin hesaplanarak, kurulması planlanan sistemlerin daha anlaşılır olmasını ve amortisman süresinin daha doğru şekilde belirlenmesini sağlamak, sistem içerisinde ihtiyaç duyulan diğer elemanların karakteristik özelliklerini ortaya çıkarmak amacı ile PVS<sup>2</sup> adlı bir program tasarlamıştır. Tasarlanmış olan bu programın olumlu ve olumsuz yönleri verilerek yeni sürümlerinde bu olumsuz yönlerinin giderilerek diğer PV sistem programları gibi kullanılabilirliği öne sürülmüştür [29].

Lima, vd., Brezilya'da yenilenebilir enerji kullanımı konusuna değinmişlerdir. Güneş enerjisi sistemleri ile ilgili çalışmalar yapmışlar, TRNSYS simülasyon programını kullanarak bir evin sıcak su ve elektrik ihtiyacını karşılayacak sistemin ekonomik analizini yapmışlardır [30].

Gültuna, Gürsu Bursa bölgesinde bulunan fotovoltaik güç santralinin, teknoekonomik ve çevresel optimizasyonuna yönelik bir simülasyon modeli geliştirilmiştir. Geliştirmiş oldukları simülasyon programında elde edilen sonuçları, RetScreen simülasyon yazılımından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılarak doğrulanmıştır [31].

Yapılan literatür taraması ve araştırmalar sonucunda, geniş seçim yelpazesine sahip, PV sistem elemanlarını altyapısında barındırarak hızlı ulaşım imkanı sağlaması, PV sistemlerde bulunan kayıpların ayrıntılı olarak sisteme aktarılabilmesi, default seçim şartlarının literatüre uygun olması, 3 boyutlu çizim özelliği ile gölgeleme kayıplarının tespit edilebilmesi, ekonomik analiz yapılabilmesi ve gerçek sonuçlar ile simülasyon sonuçları arasında çok az bir fark olması, çalışmada PVsyst programının kullanımını ve bu tez çalışması içinde yapılan tüm modelleme ve analizler bu program aracılığıyla gerçekleştirilmiştir.



## **BÖLÜM 3. FOTOVOLTAİK SİSTEM**

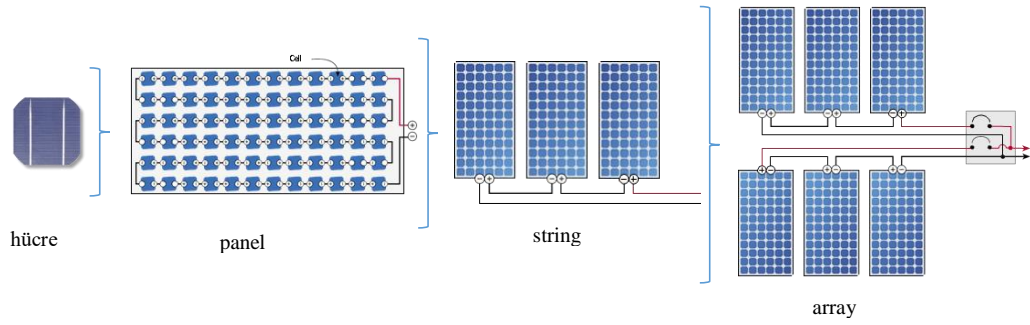
PV sistemleri, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerin genel adıdır. Kurulum amaçlarına göre; şebekeye bağlı (on grid) PV sistemleri ve şebekeye bağlı olmayan (stand alone) PV sistemleri olarak ikiye ayrılır. Şebekeye bağlı PV sisteminde; güneşten elde edilen ışığa güneş panelleri ile doğru gerilime, doğru gerilim invertörler aracılığı ile alternatif gerilime, alternatif gerilim ise doğrudan veya trafo üzerinden enterkonnekte sisteme aktarılır. Şebekeye bağlı olmayan PV sisteminde ise; güneşten elde edilen ışığa, güneş panelleri ile doğru gerilime çevrildikten sonra elde edilen enerji regülatör aracılığı ile akü grubunda şarj edilir. Akü grubunda depolanan enerji invertör ile alternatif gerilime çevrilerek kullanılır.

### **3.1. PV Sistem Elemanları**

#### **3.1.1. Fotovoltaik hücreler**

Fotovoltaik hücreler (Photovoltaic, PV) ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken malzemelerden meydana gelmektedir. Fotovoltaik hücrelerinin şekilleri, kare, dikdörtgen veya daire biçiminde, alanları 100 cm<sup>2</sup> civarında, kalınlıkları ise 0,2–0,4 mm arasındadır.

Şekil 3.1.'de, fotovoltaik hücreler seri ve paralel bağlanarak güneş panellerini (modül) meydana getirir. Güneş panelleri seri bağlanarak dizileri (string), stringler ise paralel bağlanarak dizeleri (array) meydana getirir.



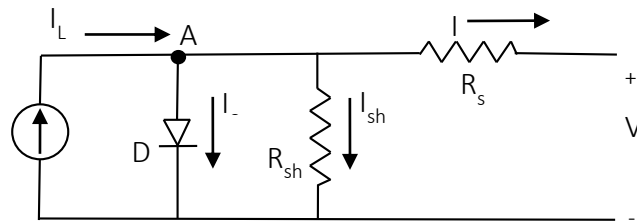
Şekil 3.1. Fotovoltaik hücreler

### 3.1.1.1. Fotovoltaik hücrelerinin çalışma ilkesi

Fotovoltaik hücrelerinin çalışma ilkesi, Fotovoltaik (Photovoltaic) olayına dayanır. Fotovoltaik olayı ilk kez 1839 yılında Becquerel tarafından bulunmuştur. Fotovoltaik olayda fotonlar elektronlara çarpar ve serbest yük çiftleri oluşturur, bu sayede geride pozitif yüklü bir alan kalır. Bir taraf negatif yük diğer taraf ise pozitif yük ile yüklendiğinden, hücre arasında gerilim farkı meydana gelir.

### 3.1.1.2. Fotovoltaik hücre eşdeğer modeli

Fotovoltaik hücrelerinin eşdeğer devre modeli, ilk olarak Lorenzo tarafından 1994 yılında tanımlanmıştır. Şekil 3.1.'de verilen bu eşdeğer devre modeli, bir akım kaynağı, akım kaynağına paralel bir diyot, diyota paralel bir topraklama direnci ve tüm bunlara seri bağlı bir iç dirençten oluşur [32].



Şekil 3.2. Güneş pili eşdeğer devresi

Şekil 3.1.'de verilen devrede, A noktasına Kirchoff Akım Yasasını uygulandırsa;

$$I_L = I_0 + I_{sh} + I \quad (3.1)$$

denklemleri elde edilir. Diyot gerilimi ve diyot akımı;

$$V_d = V + R_s \cdot I \quad (3.2)$$

$$I_d = I_0 \left( e^{\frac{q \cdot V_d}{n \cdot k \cdot T}} - 1 \right) = I_0 \left( e^{\frac{q \cdot (V + R_s \cdot I)}{n \cdot k \cdot T}} - 1 \right) \quad (3.3)$$

olarak ifade edilir. Şekil 3.2.'de verilen devrede, diyota paralel olan  $R_{sh}$  direncinin üzerinden geçen akım ise;

$$I_{sh} = \frac{V_d}{R_{sh}} = \frac{V + R_s \cdot I}{R_{sh}} \quad (3.4)$$

olarak elde edilir. (Denklem 3.3) ve (Denklem 3.4), (Denklem 3.1)'de yerine konularsa; (Denklem 3.5)'te verildiği gibi elde edilir.

$$I = I_L - I_0 \left( e^{\frac{q \cdot V_d}{n \cdot k \cdot T}} - 1 \right) - \frac{V + R_s \cdot I}{R_{sh}} \quad (3.5)$$

(Denklem 3.5)'te paralel direnç  $R_{sh}$  çok küçük olduğu için, ihmal edilebilir. (Denklem 3.5)'ten  $V$  değeri çekilirse;

$$V = \frac{n \cdot k \cdot T}{q} \cdot \ln \left[ \frac{I_L + I_0 - I}{I_0} \right] - R_s \cdot I \quad (3.6)$$

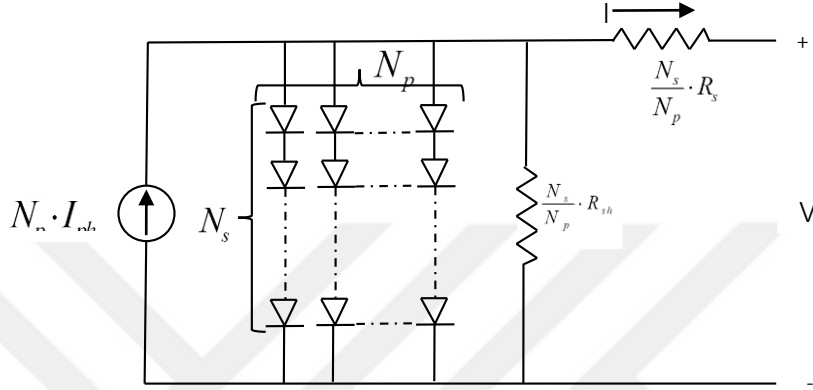
(Denklem 3.6)'te verilen fotovoltaik hücrenin uçlarındaki gerilim değeri elde edilir.

### 3.1.1.3. Güneş paneli eşdeğer modeli

Fotovoltaik hücreler güneş sistemlerinin en küçük birimi olup tek başına çok küçük değerlerde (0.5V) gerilim üretirler. Haliyle, bu küçük değerdeki gerilim tek başına



kullanılamaz. Kullanılabilir bir değerde güç elde edebilmek için fotovoltaik hücrelerinin seri ve paralel bağlanması gerekmektedir. Bu şekilde elde edilen yapıya güneş paneli (modül) denir. Şekil 3.3.'de verilen güneş paneli eşdeğer devresinde  $N_s$  seri bağlı hücre sayısını,  $N_p$  ise paralel bağlı hücre sayısını ifade eder. Seri hücre sayısı ( $N_s$ ) panel gerilimi artırırken, paralel hücre sayısı ( $N_p$ ) panel akımını artırır. [32]



Şekil 3.3. Güneş paneli eşdeğer modeli

Şekil 3.3.'te verilen devrede, panel akım denklemi;

$$I = N_p \cdot I_L - N_p \cdot I_0 \left( e^{\frac{V + I \cdot R_s}{\frac{N_s}{N_p} \cdot n \cdot k \cdot T}} - 1 \right) - \frac{N_p \cdot V}{\frac{N_s}{N_p} \cdot R_s} + R_s \cdot I \quad (3.7)$$

olarak elde edilir.(Denklem 3.7)'de paralel direnç  $R_{sh}$  çok küçük olduğu için ihmal edilebilir. (Denklem 3.7)'de  $V$  değeri çekilirse, (Denklem 3.8)'te verilen güneş panelinden elde edilecek gerilim değeri elde edilir.

$$V = \frac{N_s \cdot n \cdot k \cdot T}{q} \cdot \ln \left[ \frac{I_L + I_0 - I + N_p}{I_0 \cdot N_p} \right] - \frac{N_s}{N_p} \cdot R_s \cdot I \quad (3.8)$$

### 3.1.2. İverter (Evirici)

İverter, girişindeki doğru gerilimi, çıkışında istenen genlik ve frekansta alternatif gerilimine dönüştüren cihazlardır. Beslenmek istenen yükün cinsine ve gücüne göre, tek fazlı ve üç fazlı olarak tasarlanabilen inverterler, şebekeye bağlı PV sistemlerde kullanılan inverter ve şebeken bağımsız PV sistemlerinde kullanılan inverterler olmak üzere ikiye ayrılır. Şebekeye bağlı inverterler ise, güç kapasitelerine göre, Şekil 3.4.'te verilen mikro, dizi ve merkezi inverter olarak üçe ayrılır [1].



PV sistemlerinde inverter seçimi yapılırken; verim, minimum ve maksimum çalışma gerilimi, çalışma sıcaklığı, nominal çıkış gerilimi gibi özellikleri ile ürünün montajı, bakımı, sevkiyatı gibi harici durumlar da göz önünde bulundurulur.

### 3.1.3. Panel taşıyıcı destek yapılar



Şekil 3.5.a) Panel taşıyıcı destek yapılarının çakma yöntemi ile montajı b) Panel taşıyıcı destek yapılarının betonarme yapı ile montajı

Panel taşıyıcı destek yapılar, panelinin güneşe bakış açısının değişmemesini ve belirlenen konumda durmasını sağlar. Doğal hava koşullarına (rüzgar, kar yükü vd.) ve korozyona karşı, çoğunlukla çelik galvaniz kaplama özelliğine sahiptir. Panel

taşıyıcı destek yapıları bölgenin yapısına göre, Şekil 3.5.a.'da verilen çakma yöntemi ile çakılarak veya Şekil 3.5.b.'de verilen ayaklarına beton atma ile sağlamlaştırılır.

### 3.1.4. Toplama panoları

PV sistemlerde kullanılan inverter tipine göre, Şekil 3.6.a.'da verilen doğru gerilim toplama panosu veya Şekil 3.6.b.'de verilen alternatif gerilim toplama panolarının kullanılması gereklidir. Merkezi inverter kullanılıyorsa doğru gerilim toplama panosu, dizi inverter kullanılıyorsa alternatif gerilim toplama panosu kullanılır. Bu panolarda toplanan enerji tek bir kablo ile ana toplama panosuna taşınır.



a)



b)

Şekil 3.6. a) Doğru gerilim toplama panosu b) Alternatif gerilim toplama panosu

### 3.1.5. Kablolar

PV sistemlerinde kullanılan kablolar, paneller arası bağlantı kabloları, panel ile inverter arasında doğru gerilim taşıyıcı kablolar, inverter ile transformatör ve transformatör ile enterkonnekte sistem arasında alternatif gerilim taşıyıcı kablolar olarak gruplandırılabilir. Kablolardan kaynaklanan kayıplar, PV sisteminin verimi doğrudan etkilediği için, kablo kesitinin iyi hesaplanması oldukça önemlidir [1].

### 3.1.6. Transformatör

Transformatörler, PV sistemlerinde, inverter arayıcılığı ile elde edilen alternatif gerilimi, enterkonnekte sisteme aktarmayı sağlayan cihazlardır. Transformatörlerde demir ve bakır kayıpları olarak iki tür kayıp vardır. Bu kayıplar çok yüksek olmamasına rağmen, düşük verimle çalışan PV sistemlerinde önemli bir yer tutar [33].

### 3.2. PV sistem kayıpları

PV sistemlerinde kayıplar; çevresel koşullardan PV sisteminin tasarımına, sistem elemanlarının özelliklerinden bu elemanların seçimine kadar birçok etkene bağlıdır

#### 3.2.1. Gölgeleme kayıpları

Bu kayıp türü, PV sistemlerinin verimini azaltan en önemli etkenlerden biridir. Gölgeleme kayıpları, Şekil 3.7.a.'da verildiği gibi PV sisteminin kurulu olduğu yerdeki ağaç, bina, direk vb. ekipmanlardan kaynaklanabilirken, Şekil 3.7.b.'de verildiği gibi güneş panellerinin dizilimi doğru planlanmasından da meydana gelebilir [34-36].



Şekil 3.7. a) Bina gölgelemesi örneği c) Panel gölgelemesi örneği

#### 3.2.2. Tozlanma ve karlanma kayıpları

Bu kayıp türü, PV sistemlerinde, güneş panellerinin herhangi bir sebepten dolayı kirlenmesi ya da kar ile kaplanmasından kaynaklanır. PV sisteminin kurulduğu alan çok fazla toz fırtınalarının görüldüğü bir bölge ise kayıplar daha da fazla olmaktadır. Yapılan araştırmalar, kayıp miktarının olağanüstü durumlar haricinde %4'ü geçmediğini ortaya koymaktadır. Şekil 3.8.'deki gibi tozlanmış güneş panellerin belli aralıklarla temizliği yapılarak bu kayıplar azaltılabilir. Ancak unutulmaması gereken bir diğer konu da, büyük güçlü PV sistemlerinde, özellikle su problemi olan bölgelerde, bu işlem çok külfetli olabilir [34, 35].



Şekil 3.8. Güneş panelinde tozlanma

### 3.2.3. Sıcaklık kayıpları

Bu kayıp türü, PV sisteminin bulunduğu ortamdaki sıcaklıktan kaynaklanır. Ortam sıcaklığı arttıkça, kayıp artar, güneş panelinin verimi düşer. Güneş panelini oluşturan güneş hücrelerinin,  $800\text{W/m}^2$  ışınım,  $1\text{m/s}$  rüzgâr ve  $20^\circ\text{C}$  ortam koşullarındaki sıcaklığına Hücre Nominal Çalışma Sıcaklığı (NOCT) denilir. Bu değer güneş paneli katalog bilgilerinden elde edilebilir [34, 35].

### 3.2.4. Mismatch (uyumsuzluk) kayıpları

Bu kayıp türü, PV sistemini oluşturan her panelin maksimum gücünün toplamı ile tüm dizinin maksimum gücü arasındaki fark olarak ifade edilir. Uyumsuzluk kaybı, kısmi gölgeleme, güneş paneli yaşlılık faktörü, güneş paneli güç toleransı, farklı çalışma sıcaklığı, farklı ışınım miktarı gibi sebeplerden dolayı meydana gelebilir [34-36].

### 3.2.5. Yansıma kayıpları

Bu kayıp türü, güneş panellerinin üzerine düşen ışınımın, bir kısmı panel üzerinden geri yansımından kaynaklanır. Yansımayı engellemek için, güneş panellerinin dış yüzeyi yansımayı engelleyici temperli bir yapıyla kaplanırken, hücreler de yansımayı önleyici malzeme ile kaplanmaktadır [34-37].

### 3.2.6. Harici ekipman kullanımı kayıpları

Bu kayıp türü, PV sistemlerinde, aydınlatma armatürü, kamera, klima, televizyon gibi enerji tüketen ekipmanlar tarafından meydana getirilen kayıplardır.

### 3.2.7. Güneş paneli kayıpları

Bu kayıp türü, güneş panelinin yaşlanma faktörü ve güç toleransı sebebiyle meydana gelen kayıplardır. Güneş paneli üreticileri, panel başına 10. yılda %90, 25. yılda %80 güç garantisi vermektedir. Diğer bir ifade ile PV sistemlerinde, güneş panelinin yaşlanmasından dolayı kayıpların yıllar geçtikçe daha çok arttığı söylenebilir. Ayrıca, güç toleransı yüksek olan güneş panellerinin kullanıldığı PV sistemlerinde, uyumsuzluk kayıpları daha yüksek olacağı için, güneş paneli seçiminde güç toleransı düşük olanlar tercih edilmelidir [34, 35].

### 3.2.8. İnverter kayıpları

Bu kayıp türü, güneş panellerinden elde edilen doğru gerilimin alternatif gerilime çevrilmesi sırasında ve inverter gücünün doğru hesaplanmaması sonucunda, güneş panelleri tarafından üretilen enerji miktarından düşük kalması nedeni ile oluşan kayıplardır. Güneş panellerinin üretebileceği maksimum güç hesaplanmalı ve inverter gücü bu güce eşit veya daha yüksek olacak şekilde seçilmelidir. Ayrıca, doğru gerilimin alternatif gerilime dönüşüm verimini değerlendirirken, sadece nominal güçteki verim değeri değil, ağırlıklı ortalama verim değeri göz önünde bulundurulmalıdır [34-36].

### 3.2.9. Kablo kayıpları

Bu kayıp türü, güneş panellerinin kendi arasında ve güneş paneli ile inverter arasında doğru akım kablolama, inverter ile transformator arasında ve transformator ile şebeke arasında alternatif akım kablolamadan kaynaklanan omik kayıplardır. Kablo kesiti seçimleri, PV sistemlerinin tasarım aşamasında, çözülmesi gereken en önemli konulardan birisidir. Kablo kesiti hesaplamaları doğru yapılmadan seçilen kablolar PV sistemlerinde verimi düşüreceği gibi yangına da sebebiyet verebilir [34-37].

### 3.2.10. Transformatör kayıpları

Bu kayıp türü, transformatörün boşa çalışma kayıpları (demir kayıpları) ve yükte çalışma kayıpları (demir ve bakır kayıpları) olarak ikiye ayrılır. Boşa çalışma kayıpları, histerezis ve fuko kayıplarından oluşmaktadır. Bakır kayıpları, sargılar üzerinden geçen akımlarından kaynaklanır [33].

### 3.3. PV panel açısı belirlenmesi

PV sistemlerinde, optimum verim elde edilmesinde en önemli konulardan biri güneş panellerinin güneşe bakış açısının belirlenmesidir. Maksimum verimi elde etmek için atılması gereken ilk adım maksimum güneş ışımmasının sağlanmasıdır. Bu hedefe ulaşmak için Şekil 3.9.a.'da verilen sabit veya Şekil 3.9.b.'de verilen hareketli panel taşıyıcı sistemleri kullanılır [3, 38].



a)



b)

Şekil 3.9. a) Sabit panel taşıyıcı sistem örneği b) Hareketli panel taşıyıcı sistem örneği

Sabit panel taşıyıcı sistemlerinde, yıllık veya mevsimlik panel açısı belirlenir, yıl boyunca veya mevsim boyunca panel sabit açıda durur. Hareketli taşıyıcı sistemlerde ise, maksimum ışımayı elde etmek için kontrol mekanizması yardımı ile panel açısı sürekli değişir. Hareketli taşıyıcı sistemlerin kullanılması maksimum ışımayı sağlarken, kurulum maliyeti ve doğal hava koşulları (rüzgar, kar birikimi vb.) göz önünde bulundurulduğunda, sabit taşıyıcı sistemlerin kullanımı daha ekonomiktir.

## BÖLÜM 4. PVSYST PROGRAMININ GENEL TANITIMI

PVsyst programı çalıştırıldığında kullanıcının karşısına Şekil 4.1.'de verilen, 4 alt bölümden meydana gelen ekran görüntüsü çıkar. Bu bölümler aşağıda sırasıyla tanıtılmıştır.



Şekil 4.1. PVsyst programı giriş sayfası

### 4.1. Preliminary Design (Ön Tasarım)

Şekil 4.2.'de verilen 'Preliminary design' (ön tasarım) bölümünde, incelenecek sistemin kabaca ve hızlı bir şekilde değerlendirilmesi yapılır. Bu bölüm, şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız ve pompa sistemlerinin ayrı ayrı tasarımını içerir.

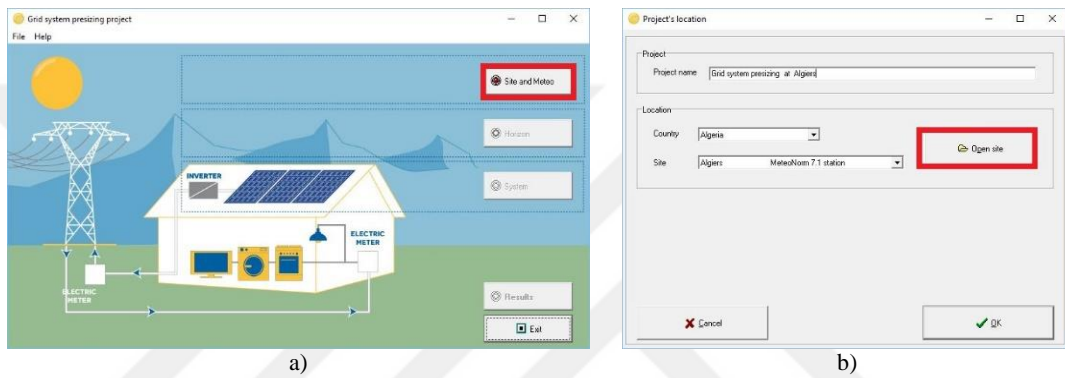


Şekil 4.2. PVsyst programı preliminary desing sayfası görünümü

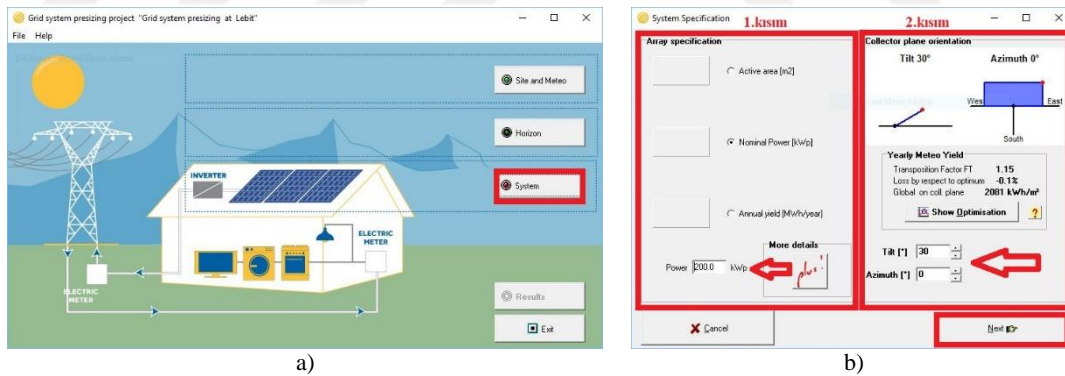


#### 4.1.1. Şebekeye bağlı bir pv sisteminin tasarımı

Şebekeye bağlı bir PV sisteminin tasarımı yapılmak istenilirse; Şekil 4.2.'de 'Grid Connected' sekmesi seçilir ve Şekil 4.3.a.'ya geçiş yapılır. Şekil 4.3.a.'da kırmızı ile işaretlenen 'Site and Meteo' butonuna tıklanarak, Şekil 4.3.b.'de verilen pencereye ulaşılır. Bu penceredeki 'Open site' butonuna tıklanarak, PV sisteminin tasarlanacağı yer seçimi yapılır. Daha sonra penceredeki 'ok' butonuna tıklanarak, Şekil 4.4.a.'da görülen ekran görüntüsüne geçiş yapılır.



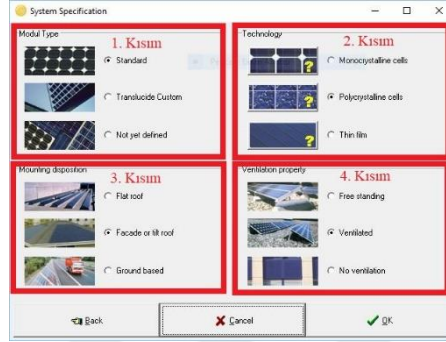
Şekil 4.3. a) Site and Meteo seçimi ekran görüntüsü b) PV sistem bölge seçimi



Şekil 4.4. a) System seçimi ekran görüntüsü b) Sistem parametreleri seçimi-1

Şekil 4.4.a.'da kırmızı ile işaretlenen 'System' butonuna tıklanır ve Şekil 4.4.b ekran görüntüsüne geçilir. Şekil 4.4.b.'de 1. kısım olarak belirtilen 'Array specification' bölümünde, panel alanı, nominal güç veya yıllık verim seçeneklerin biri seçilir ve ok ile gösterilen boşluğa değeri yazılır. Şekil 4.4.b.'de 2. kısım olarak belirtilen 'Collector plane orientation' bölümünde ise panel açısı ve azimuth açısı ok ile gösterilen yere girilir. Ardından Şekil 4.4.b.'de 'Next' butonuna tıklanarak, Şekil 4.5.a ekran görüntüsüne geçiş yapılır.

Şekil 4.5.'da 1. kısım olarak belirtilen bölümde panel tipi, 2. kısım olarak belirtilen bölümde panel teknolojisi, 3. kısım olarak belirtilen bölümde panel konumu ve 4. kısım olarak belirtilen bölümde panel havalandırma bilgileri seçilir ve 'ok' butonuna tıklanarak, Şekil 4.6.a.'ya geçiş yapılır.

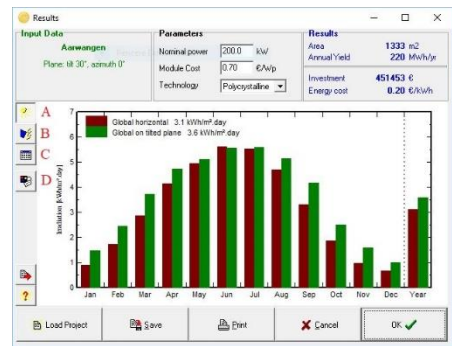


Şekil 4.5. Panel tipi, teknolojisi, konumu ve havalandırma durumu seçimi

Şekil 4.6.a.'da kırmızı ile işaretlenen 'Result' butonuna tıklanır ve Şekil 4.6.b ekran görüntüsüne geçilir. Şekil 4.6.b.'de A butonuna tıkladığında, PV sistemine ait bir yıl boyunca aylık periyotlarla ışınma tablosuna, B butonuna tıkladığında, PV sistemine ait bir yıl boyunca aylık periyotlarla üretilen enerji tablosuna, C butonuna tıkladığında PV sistemine ait bir yıl boyunca aylık periyotlarla sonuçlar tablosuna, D butonuna tıkladığında ise PV sisteminin maliyet tablosuna ulaşılır. Yapılan çalışmanın kaydedilmesi için 'ok' butonuna, sonuçların çıktı olarak alınması için 'print' butonuna tıklanır.



a)



b)

Şekil 4.6. a) Sonuçlar bölümü seçim ekranı b) Sonuçlar ekran görüntüsü

## 4.2. Project Desing (Proje Tasarımı)

Şekil 4.7.'de verilen 'Project desing' (proje tasarım) bölümünde, incelenecek sistemin ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmesi yapılır. Bu bölüm, şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız, pompa ve DC üretim sistemlerinin ayrı ayrı tasarımını içerir.

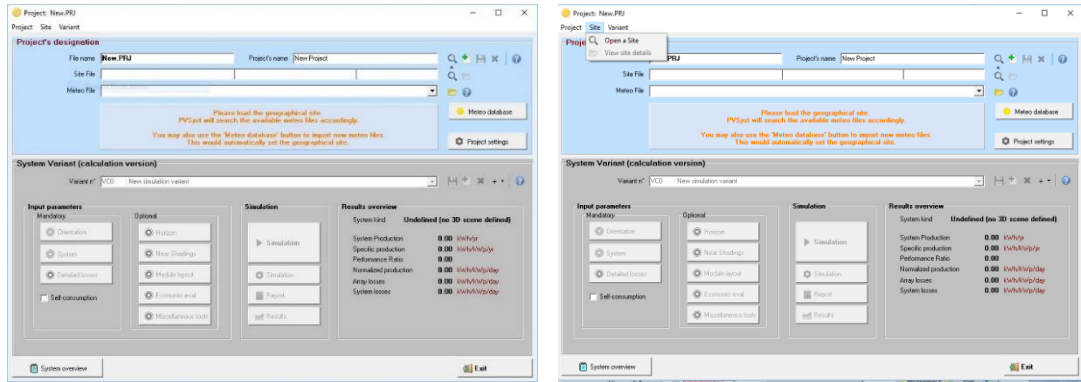


Şekil 4.7. PVsyst programı project desing sayfası görünümü

### 4.2.1. Şebekeye bağlı bir pv sisteminin tasarımı

### 4.2.2. Kurulum yeri seçim bölümü

Şebekeye bağlı bir PV sisteminin tasarımı yapılmak istenilirse; Şekil 4.7.'de 'Grid Connected' sekmesi seçilir, Şekil 4.8.a.'da verilen proje ana ekran görüntüsüne geçiş yapılır. Şekil 4.8.b.'de gösterildiği gibi 'Site' sekmesinin altında bulunan 'Open site' tıklanır.

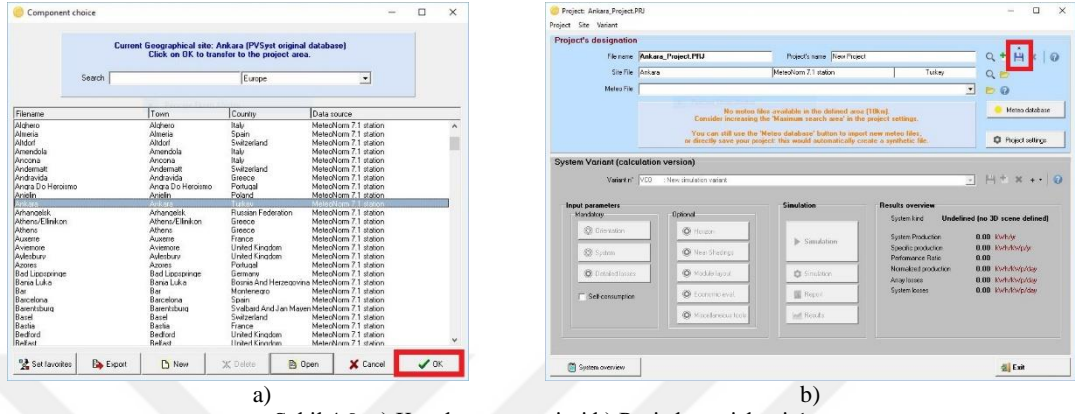


a)

b)

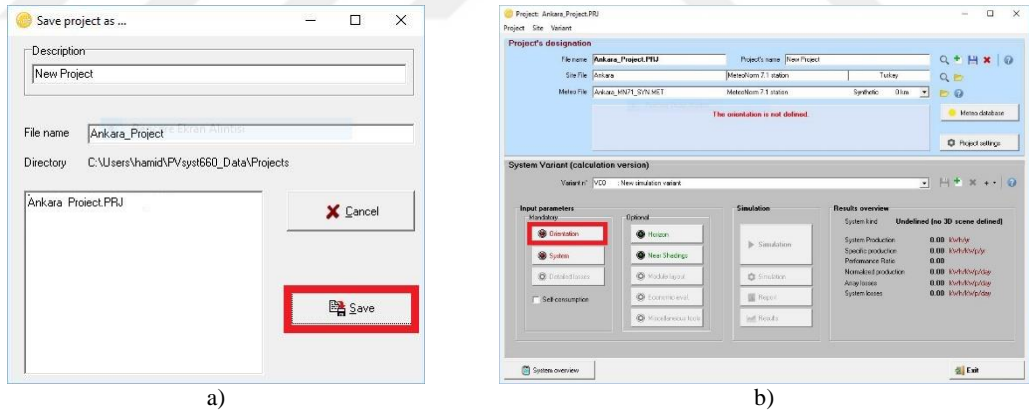
Şekil 4.8. a) Project ana ekran görüntüsü b) Bölge seçimi

Şekil 4.9.a.'da verilen pencerede PV sisteminin kurulumunun yapılacağı bölgenin seçimi yapılır ve 'ok' butonuna tıklanarak, Şekil 4.9.b.'de verilen proje ana sayfasına geçiş yapılır.



Şekil 4.9. a) Kurulum yer seçimi b) Proje kayıt işlemi-1

Şekil 4.9.b.'de kırmızı ile gösterilen kaydet butonuna tıklanır, Şekil 4.10.a.'da gelen ekranda proje ismi yazılır, 'Save' butonuna tıklanarak kaydedilir ve Şekil 4.10.b.'de verilen ekran görüntüsüne geçiş yapılır.

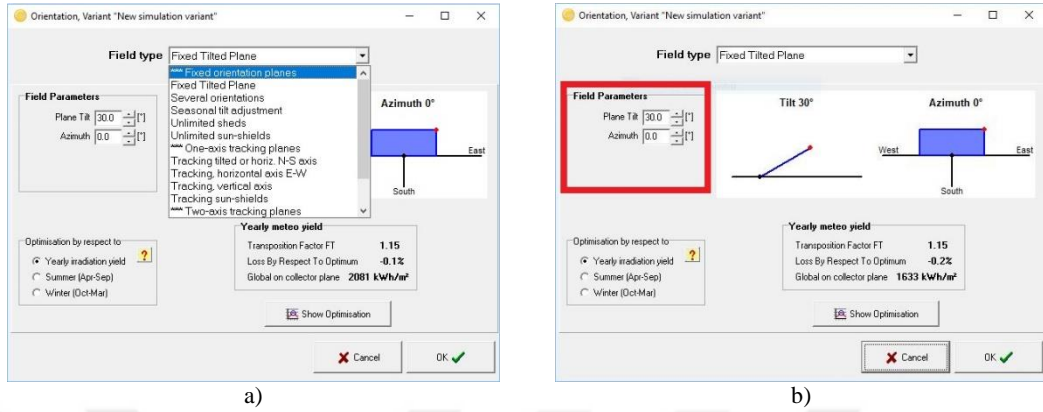


Şekil 4.10. a) Proje kayıt işlemi-2 b) Yönlendirme bölümü ana giriş ekran görüntüsü

### 4.2.3. Yönlendirme bölümü

Şekil 4.10.b.'de kırmızı ile belirtilmiş olan 'Orientation' butonuna tıklanarak Şekil 4.11.a.'da verilen ekran görüntüsüne geçilir. Şekil 4.11.a.'da 'Field type' bölümünden panelin sabit, tek eksen hareketli ve çift eksen hareketli olması seçeneklerinden biri seçilir. Şekil 4.11.b.'de kırmızı ile işaretlenmiş olan 'Field Parametres' bölümünde

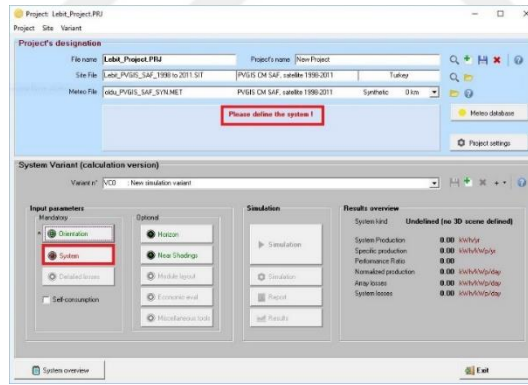
panel açısı ve azimuth açısı girilir. ‘Ok’ butonuna tıklanarak, Şekil 4.12.’de verilen ekran görüntüsüne geçiş yapılır.



Şekil 4.11.a) Field type seçim seçenekleri b) Panel açısı ve azimuth açısı belirleme

#### 4.2.4. Sistem bölümü

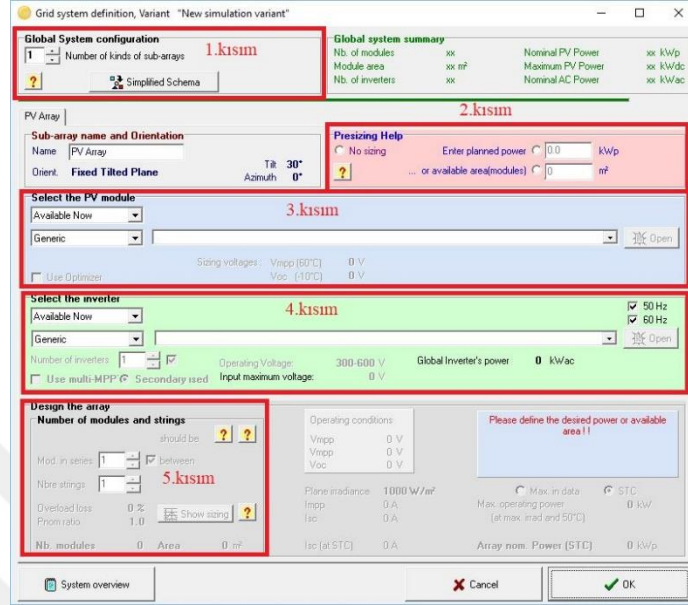
Şekil 4.12.’de kırmızı ile işaretlenmiş olan ‘System’ butonuna tıklanarak, Şekil 4.13.’ye geçiş yapılır.



Şekil 4.12. Grid Connected bölümü ana sayfası

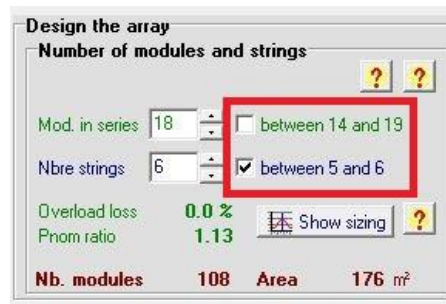
Şekil 4.13.’de 1.kısım olarak belirtilen ‘Global System configuration’ bölümünde; kaç adet PV sisteminin birbirine bağlanacağı belirtilir. PVsyst programı en fazla 5 adet PV sisteminin birbirine bağlanmasına izin verir. Şekil 4.13.’de 2.kısım olarak belirtilen ‘Presizing Help’ bölümünde; PV sisteminin planlanan toplam güç miktarı girilerek toplam gerekli alan bilgisi görülür veya PV sisteminin kurulacağı toplam alan girilerek, elde edilebilecek toplam güç bilgisi görülür. Şekil 4.13.’de 3.kısım olarak belirtilen ‘Select the PV module’ bölümünde; PV sisteminde kullanılan güneş paneli

seçilir. Şekil 4.13.'de 4.kısım olarak belirtilen 'Select the Inverter' bölümünde; PV sisteminde kullanılan inverter seçilir.



Şekil 4.13. System ana ekran görüntüsü

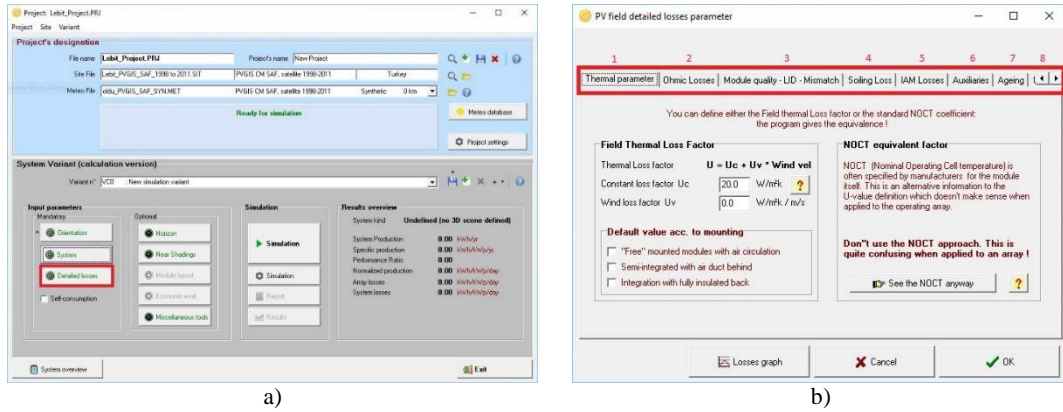
Şekil 4.13.'de 5.kısım olarak belirtilen 'Desing the array' bölümünde; PV sisteminde seri ve paralel güneş paneli sayıları belirtilir. PVsyst programı seçimi yapılan inverter ve güneş paneline göre, Şekil 4.14.'de kırmızı ile belirtildiği gibi en fazla ve en az seri ve paralel güneş paneli sayısı aralığının belirtir.



Şekil 4.14. Seri ve paralel panel sayısı seçimi

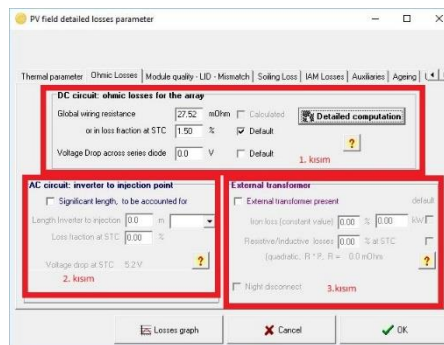
PV sistemine ait yukarıda belirtilen bütün veriler programa tanıtılır ve Şekil 4.13.'te 'ok' butonuna tıklanarak, Şekil 4.15.a.'da verilen program ana ekranına dönülür.

#### 4.2.5. Kayıplar bölümü



Şekil 4.15. a) Detailed losses seçim ekran görüntüsü b) Detailed losses bölümü ekran görüntüsü

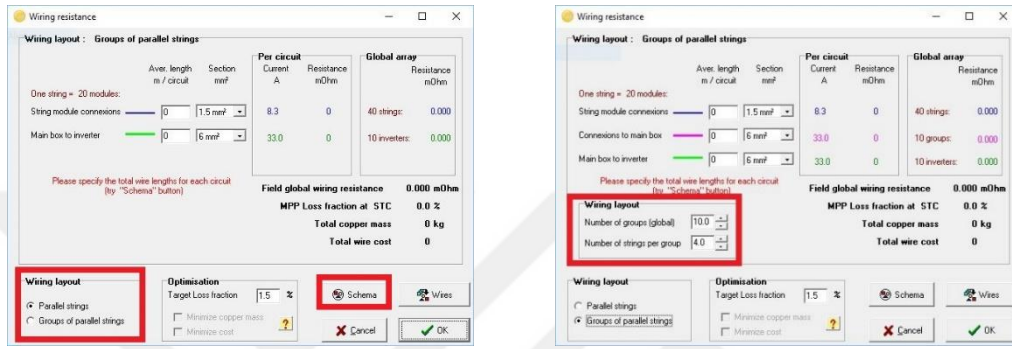
Şekil 4.15.a.'da verilen program ana ekranından kırmızı ile belirtilmiş olan 'Detailed losses' butonuna tıklanarak, Şekil 4.15.b.'ye geçiş yapılır. Şekil 4.15.b.'de 'Thermal Parametres' sekmesi, PV sisteminde termal şartlardan kaynaklanan kayıpları ifade eder. PVsyst programı termal şartlardan kaynaklanan kayıplar Şekil 4.15.b.'de 'Field Thermal Loss Factor' bölümünde verilen denklem ile hesaplanabileceği gibi, 'See the NOCT anyway' butonuna tıklanarak, güneş paneli katalogunda belirtilen NOCT değerini girerek de hesaplanabilir. Şekil 4.15.b.'de 'Ohmic losses' sekmesi, PV sistemindeki omik kayıpların belirtildiği bölümdür. Şekil 4.16.'da görülen Ohmic losses bölümü; 'DC Circuit', 'AC Circuit' ve 'External Transformer' olarak üç kısımda incelenir.



Şekil 4.16. Ohmic losses bölümü ekran görüntüsü

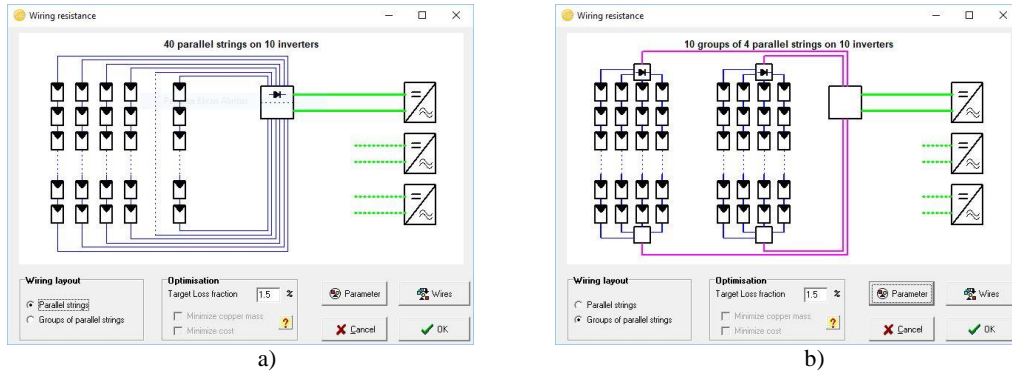
Şekil 4.16.'da 1. kısım, doğru gerilim kaybının belirtildiği bölümdür. PVsyst programı default olarak %1,5'lik doğru gerilim kaybını öngörmektedir. Ayrıntılı olarak hesap

yapılması istenirse Şekil 4.16.'da 'Detailed computation' sekmesi seçilir ve Şekil 4.17.a.'da verilen pencereye geçiş yapılır. Şekil 4.17.a.'da kırmızı ile işaretlenmiş olan 'wiring layout' bölümü dizilerin, paralel ve paralel bağlı grup olduğunun belirtildiği bölümdür. Default olarak paralel bağlı seçeneği seçilidir. Şekil 4.17.b.'de verilen 'group of parallel string' seçeneği seçilerek kırmızı ile işaretlenmiş olan 'wiring layout' bölümünden paralel bağlı grup sayısı belirtilir.



a) b)  
Şekil 4.17. a) Wiring layout seçimi-1 b) Wiring layout seçimi-2

Şekil 4.17.a.'da kırmızı ile belirtilen 'Schema.' butonuna tıklandığında, PV sistemine ait şematik görüntüsü olan Şekil 4.18.a ve Şekil 4.18.b elde edilir.



a) b)  
Şekil 4.18. a)Şematik görünüşü elde etme yolu b)Kablolama şematik görünümü

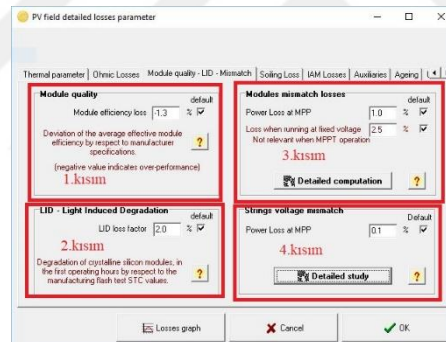
Şekil 4.16.'da 2. kısım, alternatif gerilim kaybının belirtildiği bölümdür. Alternatif gerilim kaybın hesaplanması için, Şekil 4.19.a.'da kırmızı ile belirtilen boşluğa inverter ile elektrik sayacının bağlantı noktası arasındaki mesafe girilir ve kablo kesiti seçilir.





Şekil 4.19. a) AC circuit bölümü ekran görüntüsü b) External transformer ekran görüntüsü

Şekil 4.16.'da 3. kısım olan 'External Transformer', harici transformatör kullanıldığında, transformatörden kaynaklanan demir ve bakır kayıplarının girildiği bölümdür. Şekil 4.19.b.'de görüldüğü gibi PVsyst programı default olarak demir kaybını %0.1, bakır kaybını ise %1 olarak almaktadır. Ayrıca, 'Night disconnect' seçeneği yardımıyla PV sisteminin üretimde olmadığı gece saatlerinde devre dışı bırakılarak şebekeden enerji çekimi engellenebilir.

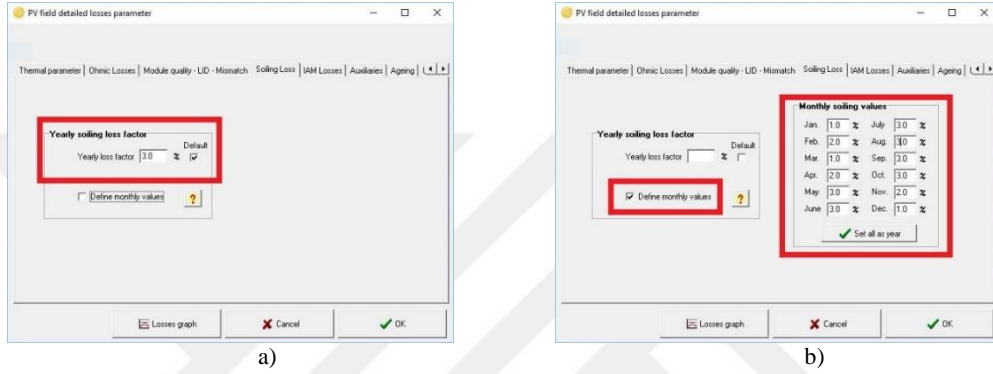


Şekil 4.20. Module quality – LID – Mismatch ekran görüntüsü

Şekil 4.15.b.'de 'Module quality – LID – Mismatch' sekmesi seçilerek Şekil 4.20.'ye geçiş yapılır. Şekil 4.20.'de 1. kısım olarak belirtilen 'Module quality' bölümünde panel kalitesinden kaynaklanan kayıp miktarı boşluğa girilir. PVsyst programı default olarak %1.3 'lük bir kaybı öngörmektedir. Şekil 4.20.'de 2. kısım olarak belirtilen 'Modules mismatch losses' bölümünde paneller arası uyumsuzluk kayıplarının değeri girilir. PVsyst programı default olarak %1'lik bir kaybı öngörmektedir. Şekil 4.20.'de 3. kısım olarak belirtilen 'Light Induced Degradation' bölümünde kristal özellikli panellerin günün ilk saatlerindeki ilk ışığa aldıklarında meydana gelen kayıpların değeri girilir. PVsyst programı default olarak %2'lik bir kaybı öngörmektedir. Şekil 4.20.'de 4. kısım olarak belirtilen 'Strings voltage mismatch' bölümünde stringler

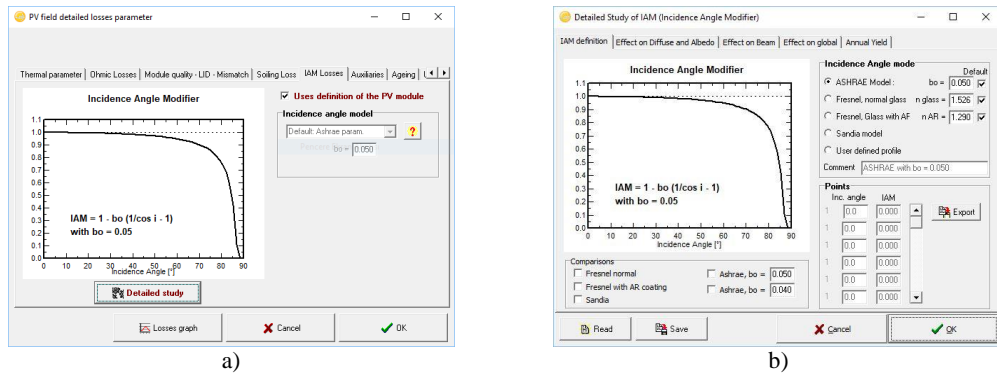
arası gerilim uyumsuzluk kayıplarının değeri girilir. PVsyst programı default olarak %1'lik bir kaybı öngörmektedir.

Şekil 4.15.b.'de 'Soiling Loss' sekmesi seçilerek PV sisteminin tozlanma kaybı girilir. Şekil 4.21.a.'da görüldüğü üzere PVsyst programı default olarak yıllık %3'lük bir kaybı öngörmektedir. Şekil 4.21.b.'de 'Define monthly values' seçeneği seçilerek, tozlanma kaybı değeri, aylık olarak ayrı ayrı da girilebilir.



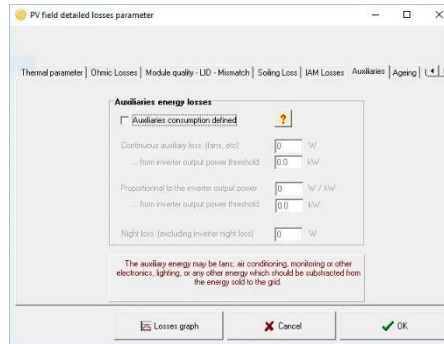
Şekil 4.21. a) Tozlanma kaybı default değeri b) Tozlanma kaybının aylara göre ayarlanması

Şekil 4.15.b.'de 'IAM Losses' sekmesi seçilerek PV sisteminin yansıma kaybı girilir. Şekil 4.22.a.'da 'Uses definition of the PV module' seçeneği default olarak seçilidir. Eğer yansıma kaybı ayrıntılı olarak belirtilmek istenirse 'Detailed study' butonuna tıklanır ve Şekil 4.22.b.'ye geçilir. Şekil 4.22.b.'de 'ASHRAE Model', 'Fresnel, normal glass', 'Fresnel, Glass with AF', 'Sandia model' veya 'User defined profile' seçeneklerinden biri seçilir.



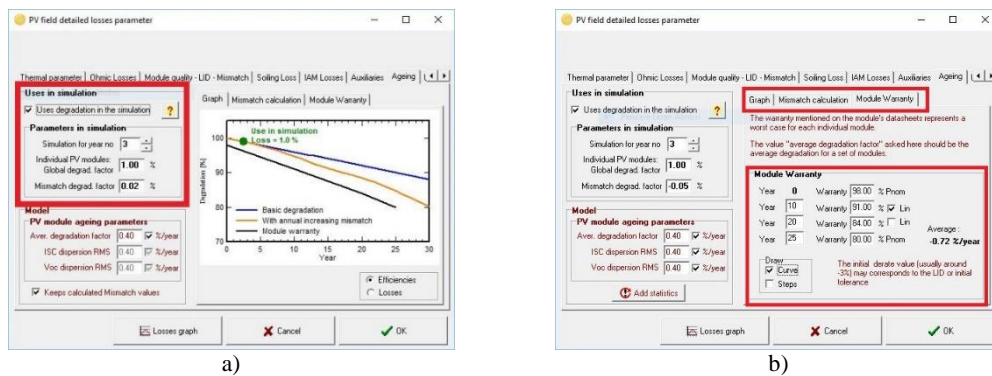
Şekil 4.22. a) IAM losses ekran görüntüsü b) a) IAM losses detailed study ekran görüntüsü

Şekil 4.15.b.'de 'Auxiliaries energy losses' sekmesi seçilerek PV sisteminin harici ekipmanlardan (fan, klima, bilgisayar, aydınlatma armatürü vb.) kaynaklanan kayıplar girilir. Şekil 4.23.'de 'Auxiliaries consumption defined' seçeneği seçilerek, harcadığı güç miktarı belirtilir.



Şekil 4.23. Auxiliaries energy losses ekran görüntüsü

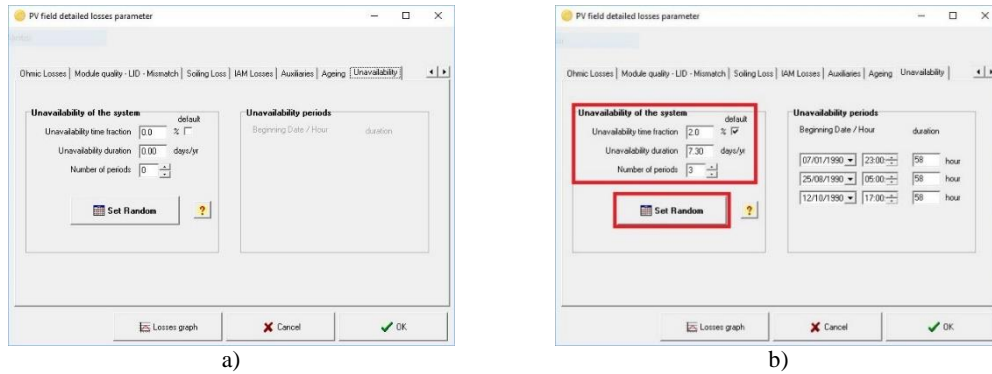
Şekil 4.15.b.'de 'Ageing' sekmesi seçilerek PV sistemini oluşturan güneş panellerinin yaşlanmadan kaynaklı kayıp girilir. Şekil 4.24.a.'da 'Uses in simulation' bölümünde 'Uses degradation in the simulation' sekmesi seçilerek kullanılan güneş paneli yaşı girilir. 'Model' bölümünde ise güneş paneli yaşlılık parametreleri girilir. Şekil 4.24.b.'de 'Module Warranty' sekmesi seçilerek güneş paneli üreticisi tarafından verilen garanti parametreleri girilir.



Şekil 4.24. a) Ageing ekran görüntüsü-1 b) Ageing ekran görüntüsü-2

Şekil 4.15.b.'de 'Unavailability' sekmesi seçilerek PV sisteminde arıza ve bakım sebebiyle üretimin durmasından kaynaklanan kayıpları belirtilir. Şekil 4.25.a.'da 'Unavailability of the system' bölümünden PV sisteminin çalışmadığı süre ve

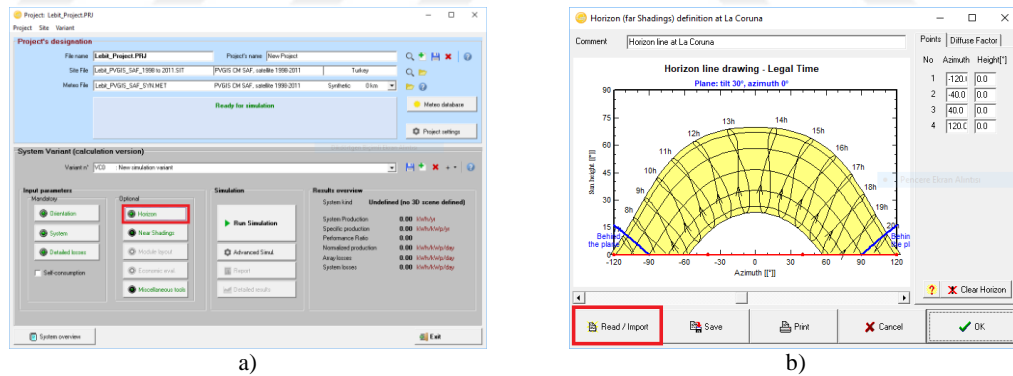
periyotları girilir. Şekil 4.25.b.'de PVsyst programı default olarak bu kayıpları da belirtir.



Şekil 4.25. a) Unavailability ekran görüntüsü b) Unavailability set random ekran görüntüsü

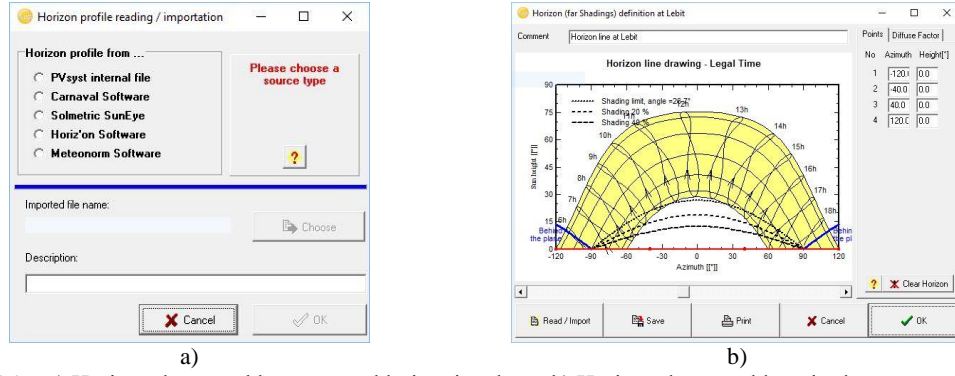
#### 4.2.6. Horizon (ufuk çizgisi)

Şekil 4.26.a.'da verilen program ana sayfasında 'Horizon'[39] butonuna tıklanır ve Şekil 4.26.b.'ye geçilir. Şekil 4.26.b.'de kırmızı ile belirtilen 'Read/Import' butonuna tıklanarak, Şekil 4.27.a.'ya geçilir.



Şekil 4.26 a) Horizon bölümüne giriş ekran görüntüsü b) Horizon dosyasının aktarılması-1

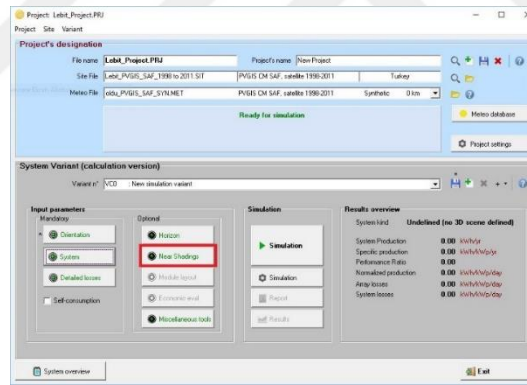
Şekil 4.27.a.'da 'Horizon profile form...' bölümünde belirtilen 'PVsyst internal file', 'Canaval Software', 'Solmetric SunEye', 'Horiz'on Software' ve 'Meteonorm Software' seçeneklerden biri seçilir. Şekil 4.27.a.'daki 'Choose' butonuna tıklanır ve daha önceden hazırlanan horizon dosyası seçilir. Ardından, 'ok' butonuna tıklanarak Şekil 4.27.b.'de verilen ekran elde edilir.



Şekil 4.27. a) Horizon dosyası ekleme seçenekleri seçim ekranı b) Horizon dosyası eklenmiş ekran görüntüsü

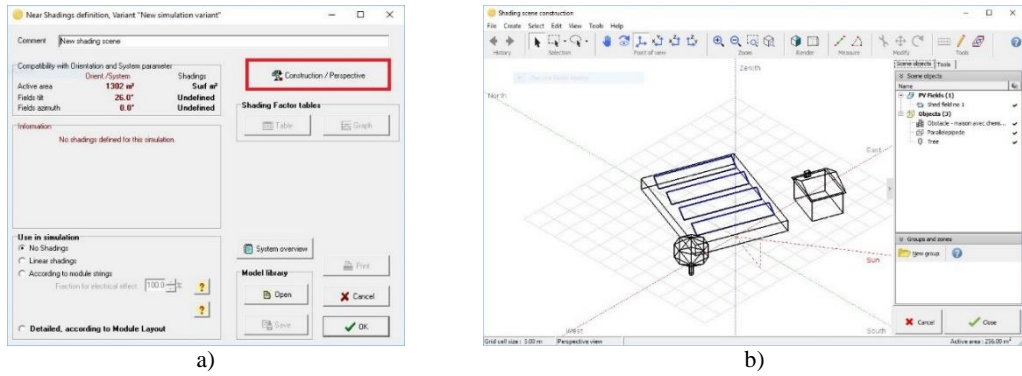
#### 4.2.7. Near shading (gölgeleme)

Şekil 4.28.'de kırmızı ile belirtilmiş olan 'Near Shading' butonuna tıklanarak Şekil 4.29.a.'da verilen ekran görüntüsüne geçilir. Şekil 4.29.a.'da PVsyst programı, PV sistemi üzerinde herhangi bir gölgeleme olmadığını kabul eder. Default değeri 'No Shading' seçeneğidir.



Şekil 4.28. Near Shadings giriş ekran görüntüsü

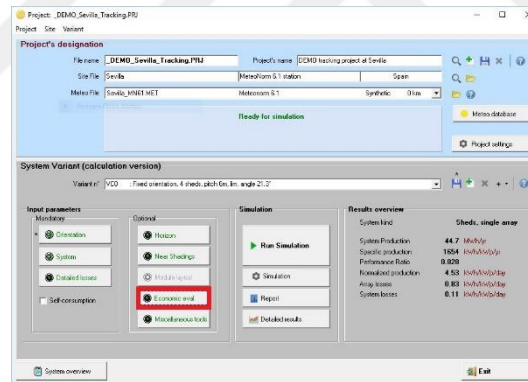
PV sisteminin etrafında gölge oluşturacak bir etken var ise veya panellerin birbirine gölge oluşturup oluşturmayacağı bilinmek istenirse, Şekil 4.29.a.'da 'Construction/Perspective' butonuna tıklanır ve Şekil 4.29.b.'de verilen 3D boyutlu çizim paneline geçilerek PV sisteminin 3D boyutlu çizimi yapılır.



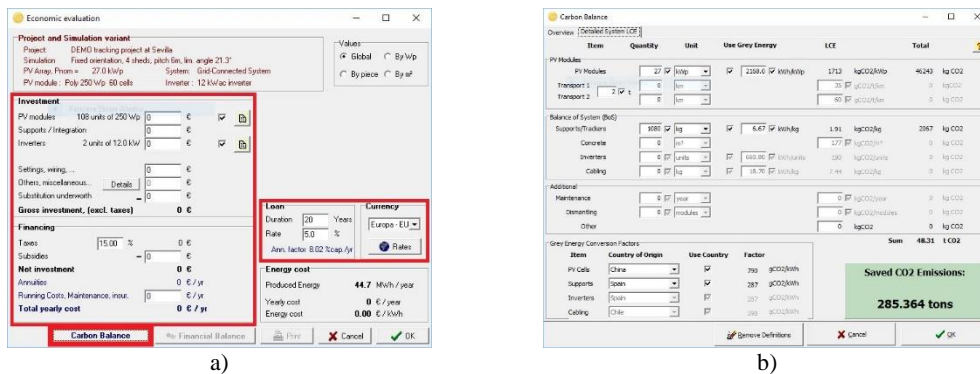
Şekil 4.29. a) Gölgeleme olmadığma dair ekran görüntüsü b)3D boyutlu çizim

## 4.2.8. Economic evaluation

Şekil 4.30.'da kırmızı ile belirtilen 'Economic Evaluation' butonuna tıklanarak, Şekil 4.31.a.'da verilen ekran görüntüsüne geçilir. Şekil 4.31.a.'da 'Investment' bölümünde, PV sisteminin kurulum maliyet hesabı yapılırken ve 'Carbon Balance' sekmesi seçilerek, Şekil 4.31.b.'de karbon salınımı hesabı yapılır.



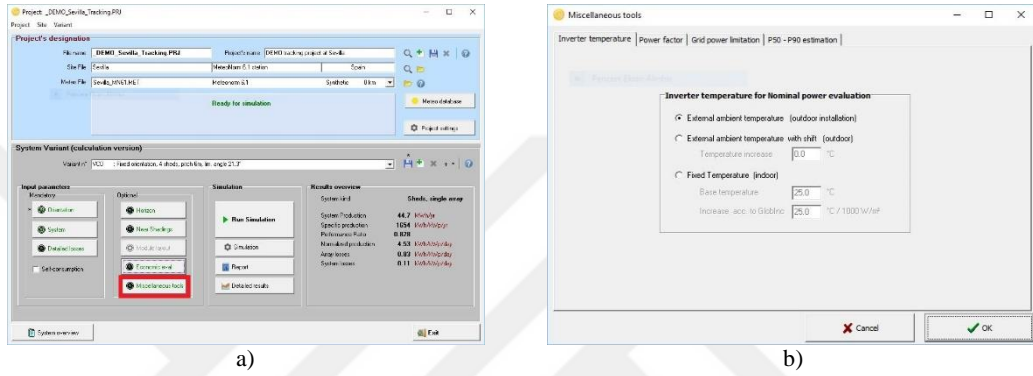
Şekil 4.30. Economic Evaluation seçim ekran görüntüsü



Şekil 4.31. a) PV sistem maliyet hesabı ekran görüntüsü b) Karbon salınımı hesabı ekran görüntüsü

#### 4.2.9. Miscellaneous tools

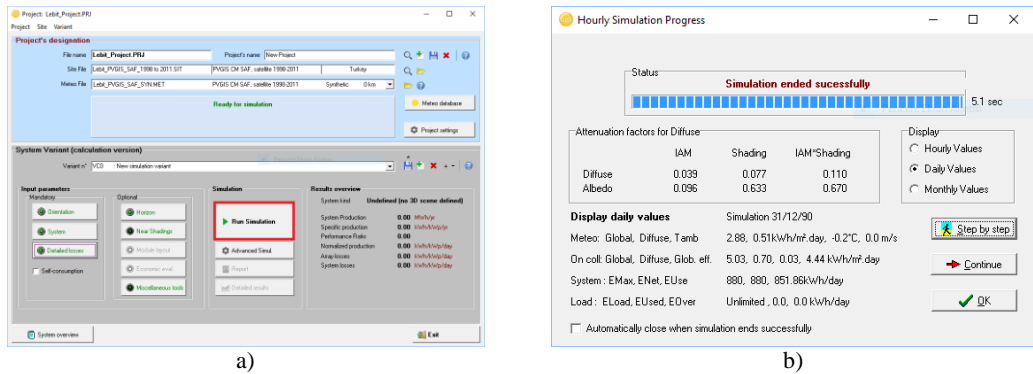
Şekil 4.32.a.'da kırmızı ile belirtilen 'Miscellaneous tools' butonuna tıklanarak, Şekil 4.32.b.'de verilen ekran görüntüsüne geçilir. Şekil 4.32.b.'de 'Inverter temperature' sekmesi seçilerek, inverter sıcaklık değeri, 'Power factor' sekmesi seçilerek, PV sisteminin güç faktörü değeri, 'Grid power limitation' sekmesi seçilerek de PV sisteminin varsa güç sınırlaması değeri girilir.



Şekil 4.32. a) Miscellaneous tools seçimi ekran görüntüsü b) Miscellaneous tools bölümü ekran görüntüsü

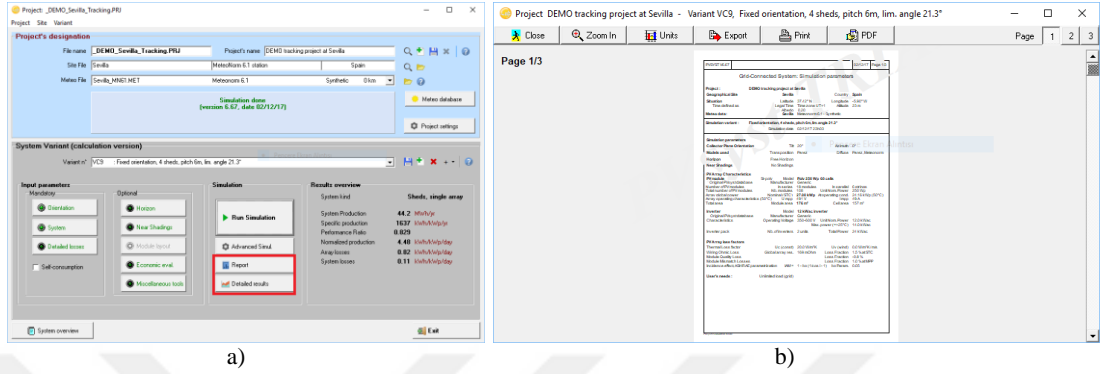
#### 4.2.10. Simulation bölümü

Şekil 4.33.a.'da kırmızı ile belirtilen 'Simulation' butonuna tıklanarak, simülasyon işlemi başlatılır ve Şekil 4.33.b.'de verilen ekran görüntüsüne geçilir. Simülasyon tamamlandıktan sonra Şekil 4.33.b.'de 'ok' butonuna tıklanarak, Şekil 4.34.a.'ya geçilir.



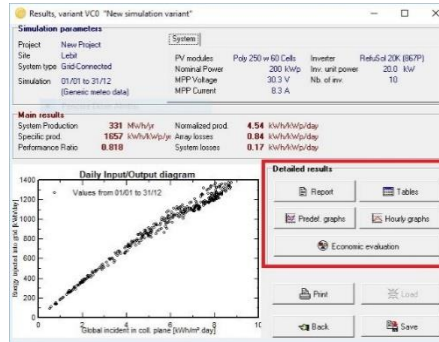
Şekil 4.33. a) Simulation giriş ekran görüntüsü b) Simülasyon ekran görüntüsü

Şekil 4.34.a.'da kırmızı ile belirtilen 'Report' butonuna tıklandığında Şekil 4.34.b.'de verilen rapor dosyasına ulaşılır. Eğer sonuçlar detaylı olarak incelenmek istenirse, 'Detailed results' butonuna tıklanarak, Şekil 4.35.'e geçilir.



Şekil 4.34.a) Simülasyon verilerinin elde edilmesi için giriş ekran görüntüsü b) Sonuçlara ait rapor dosyası ekran görüntüsü

Şekil 4.35.'te kırmızı ile belirtilen 'Detailed results' bölümünde; 'Report' butonuna tıklanarak rapor dosyasına, 'Tables' butonuna tıklanarak sonuçlara ait tablolara, 'Predef. Graphs' butonuna tıklanarak sonuçlara ait grafiklere, 'Hourly Graphs' butonuna tıklanarak sonuçlara ait saatlik grafiklere, 'Economic evaluation' butonuna tıklanarak ise PV sisteminin maliyet hesabına ulaşılır.

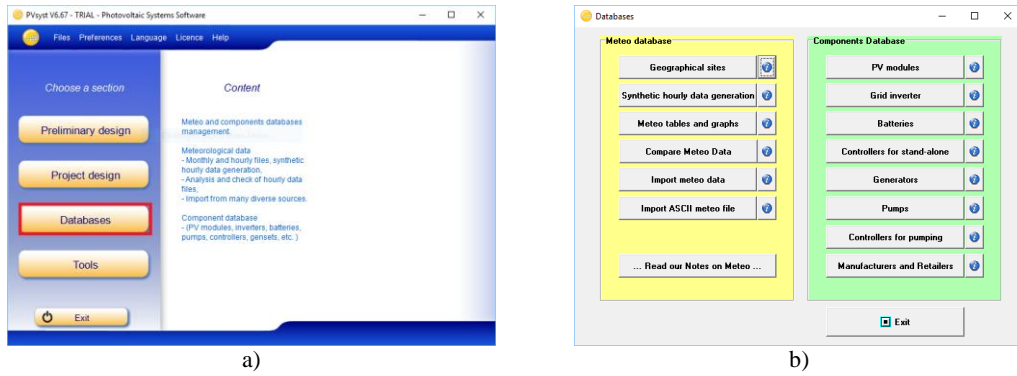


Şekil 4.35. Detailed results ekran görüntüsü

### 4.3. Databases (veri tabanları)

'Databases' bölümü, PV sistemlerinin tasarımı yapılacağı bölgeye ait meteorolojik verilerin ve PV sistemlerinde kullanılan ekipmanlara ait bilgilerin olduğu ya da eklenebildiği bölümdür. Şekil 4.36.a.'da kırmızı ile belirtilmiş olan 'Databases' butonuna tıklanarak, Şekil 4.36.b.'de verilen ekran görüntüsüne geçilir.





Şekil 4.36. a) Databases bölümüne giriş ekran görüntüsü b) Databases bölümü ekran görünümü

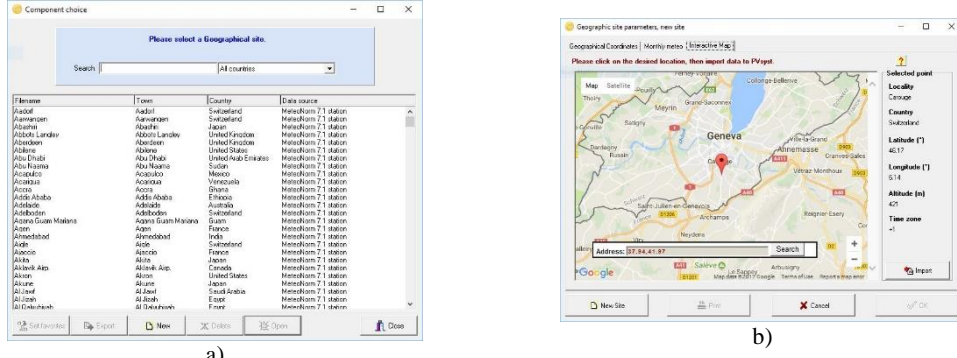
### 4.3.1. Meteo databases

'Meteo database' bölümünde; 'Geographical sites' alt bölümü PV sisteminin kurulumu yapılacak olan yere ait bilgilere ulaşmayı, 'Synthetic hourly data generation' alt bölümü saatlik meteorolojik veriler üretilmesini, 'Meteo Tables and Graphs' alt bölümü saatlik, günlük veya aylık meteorolojik verilere ait tablo ve grafiklere ulaşmayı, 'Compare Meteo Data' alt bölümü meteorolojik verilerin hızlıca karşılaştırılmasını, 'Import meteo data' bölümü harici web sitelerinden elde edilen meteorolojik verilerin aktarılmasını, 'Import ASCII meteo files' bölümü ASCII meteorolojik dosyalarının aktarılması sağlar.

#### 4.3.1.1. PV sisteminin kurulacağı yerin seçimi ve meteorolojik verilerin elde edilmesi

##### 4.3.1.1.1. PVsyst programında kayıtlı bir yerin seçimi

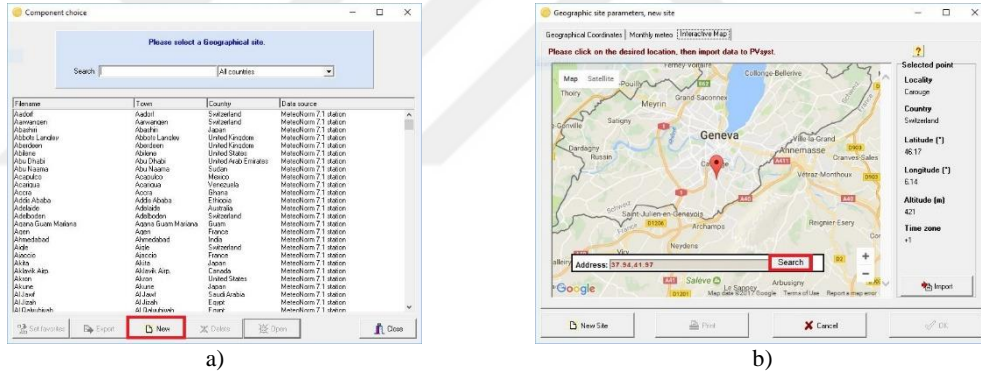
PV sisteminin kurulacağı yere ait yer ve meteorolojik bilgiler PVsyst programında kayıtlı ise; Şekil 4.36.b.'de 'Meteo database' bölümünde, 'Geographical sites' butonuna tıklanır. Şekil 4.37.a.'da verilen ekrandan yer seçilir seçilir ve open butonu tıklanarak, Şekil 4.37.b.'ye geçiş yapılır. Şekil 4.37.b.'de 'Geographical Coordinates' sekmesine tıklanarak seçilen bölgeye ait koordinat bilgisine, 'Monthly meteo' sekmesine tıklanarak seçilen bölgeye ait meteorolojik bilgilere ve 'Interactive Map' sekmesine tıklanarak seçilen bölgenin harita üzerinde görünümüne ulaşılır.



Şekil 4.37. a) Databases ekran görüntüsü b) Yeni bölge seçimi ekran görüntüsü

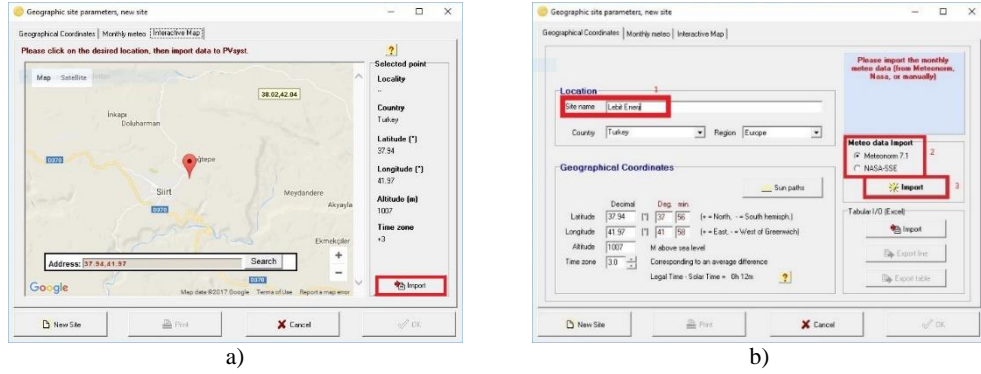
#### 4.3.1.1.2. PVsyst programında kayıtlı olmayan bir yerin seçimi

Eğer PV sisteminin kurulacağı yere ait yer ve meteorolojik bilgiler PVsyst programında kayıtlı değilse; Şekil 4.37.a.'da verilen ekran kırmızı ile işaretlenmiş olan 'New' butonuna tıklanır ve Şekil 4.38.b.'ye geçiş yapılır.



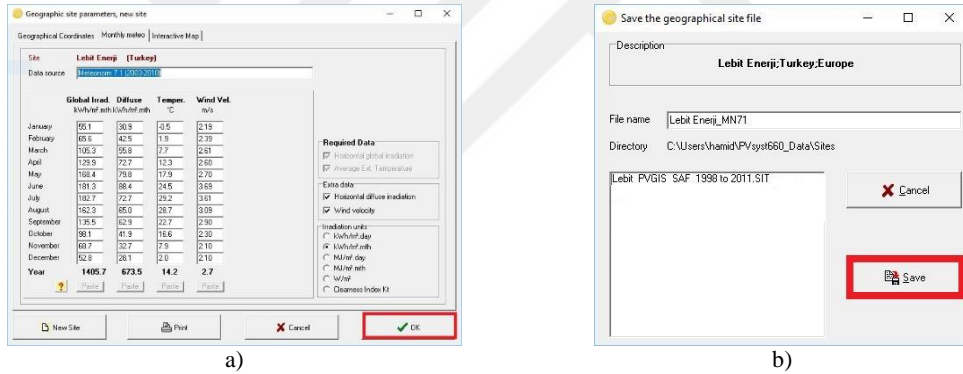
Şekil 4.38. a) Yeni yer seçimi b) Yeni yere ait koordinatların programa girilmesi

Şekil 4.38.b.'de kırmızı ile belirtilen boşluğa PV sisteminin kurulacağı yerin koordinat bilgileri girilir, 'Search' butonuna tıklanır ve Şekil 4.39.a.'da verilen ekran görüntüsüne geçiş yapılır. Koordinat bilgileri aktarımının sağlanması için Şekil 4.39.a.'da kırmızı ile belirtilen 'Import' butonuna tıklanır ve Şekil 4.39.b.'de verilen ekran görüntüsüne geçiş yapılır.



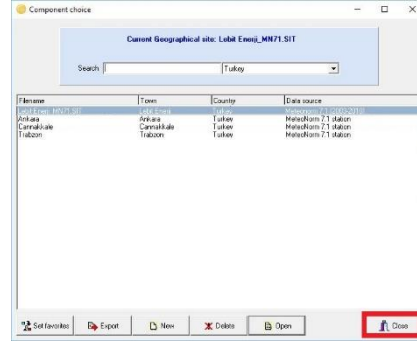
Şekil 4.39. a) Seçilen yerin bilgilerinin aktarılması b) Seçilen yere ait meteorolojik bilgilerin alınması

Şekil 4.39.b.'de kırmızı ile belirtilen ve 1 numara ile adlandırılan 'Location' bölümüne yer ismi yazılır ve Tab tuşuna basılır. Ardından, meteorolojik verilerin aktarımı için; 2 numara ile adlandırılan 'Meteo data Import' bölümünden "Meteonorm 7.1 veya NASA-SSE" seçeneklerinden biri seçilerek, 3 numara ile adlandırılan 'Import' butonuna tıklanır ve Şekil 4.40.a.'da verilen ekran görüntüsüne geçiş yapılır.



Şekil 4.40. a) Seçilen yerin bilgilerinin kaydedilmesi-1 b) Seçilen yerin bilgilerinin kaydedilmesi-2

Şekil 4.40.a.'da 'Ok' butonuna tıklanır ve Şekil 4.40.b.'de verilen ekran görüntüsüne geçiş yapılır. Şekil 4.40.b.'de 'Save' butonuna tıklanarak bilgiler kaydedilir ve 'Component choice' bölümünde Şekil 4.41.'da gibi gözükür.



Şekil 4.41. Yeni yerin programda görünmesi

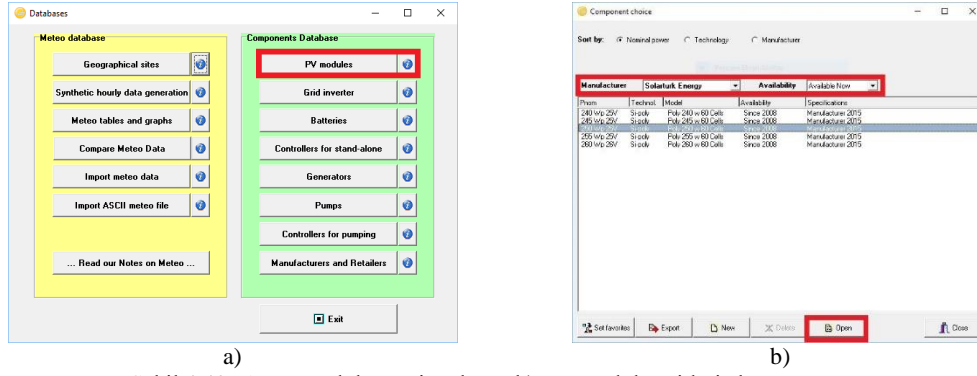
### 4.3.2. Component databases

‘Components Databases’ bölümünde; ‘PV modules’ alt bölümü güneş panellerine, ‘Grid Inverter’ alt bölümü şebekeye bağlı PV sistemlerinde kullanılacak olan inverterlere, ‘Batteries’ alt bölümü akülere, ‘Controllers for stand alone’ alt bölümü şebekeye bağlı olmayan PV sisteminde kullanılacak olan şarj kontrollerine, ‘Generators’ alt bölümü jeneratörlere, ‘Pumps’ alt bölümü pompalara, ‘Controllers of pumping’ alt bölümü şebekeye bağlı olmayan pompayı besleyen PV sisteminde kullanılacak olan pompa kontrolörüne ait bilgilere ulaşmayı sağlar. ‘Manufacturers and Retailers’ alt bölümü ise PV sistemlerinde kullanılan bu ekipmanları üreten ve satan firmalara ait iletişim bilgilerine ulaşmayı sağlar.

#### 4.3.2.1. PV sisteminde kullanılan güneş panelinin seçimi

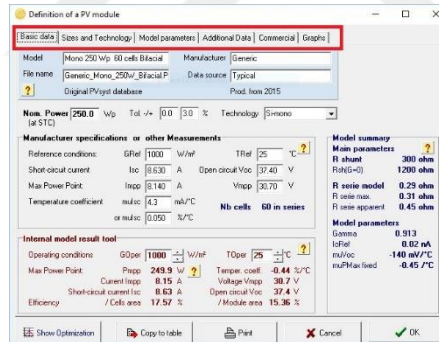
##### 4.3.2.1.1. PVsyst programında kayıtlı güneş panelinin seçimi

PV sisteminde kullanılacak olan güneş paneline ait bilgiler PVsyst programında kayıtlı ise; Şekil 4.42.a.’da ‘Component database’ bölümündeki, ‘PV modules’ butonuna tıklanır. Şekil 4.42.b.’de verilen ekrandan güneş paneli seçilir ve ‘Open’ butonu tıklanarak Şekil 4.43.’te güneş paneline ait verilere ulaşılır.



Şekil 4.42. a) PV module seçim ekranı b) PV modül çeşitleri ekran görüntüsü

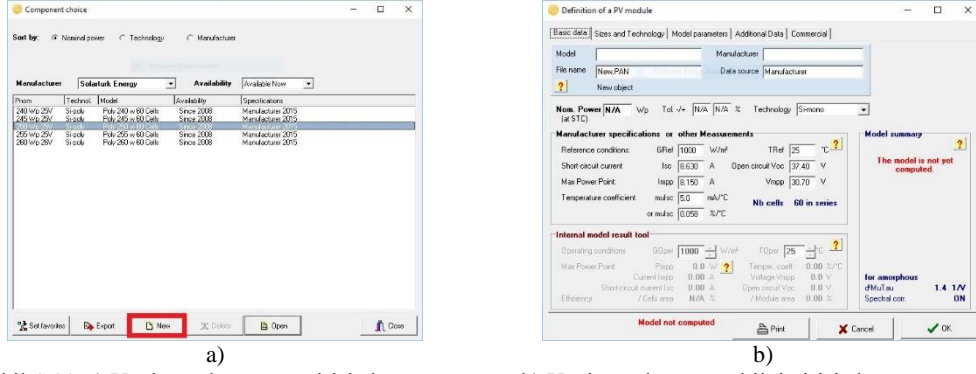
Şekil 4.43.'te 'Basic Data' sekmesine tıklandığında güneş paneline ait genel bilgilere, 'Sizes and Technology' sekmesine tıklandığında güneş paneline ait boyut ve üretim teknolojisi bilgisine, 'Model parameters' sekmesine tıklandığında güneş panelini oluşturan, güneş hücrelerindeki seri ve paralel direnç ve sıcaklık, 'Commercial' sekmesine tıklandığında güneş panelinin üretici firma ve maliyet bilgisine, 'Graphs' sekmesine tıklandığında güneş paneline ait bilgilerin grafiklerine ulaşılır. 'Additional Data' sekmesine tıklandığında ise LID, IAM, I-V grafikleri gibi veriler eklenir.



Şekil 4.43. Güneş paneli bilgilerine ait ekran görüntüsü

#### 4.3.2.1.2. PVsyst programında kayıtlı olmayan güneş panelinin oluşturulması

PV sisteminde kullanılacak olan güneş paneli PVsyst programında kayıtlı değilse veya yeni bir güneş paneli tasarımı yapıldı ise; Şekil 4.44.a.'da verilen pencerede, kırmızı ile işaretlenmiş olan 'New' butonuna tıklanır ve Şekil 4.44.b.'ye geçiş yapılır.



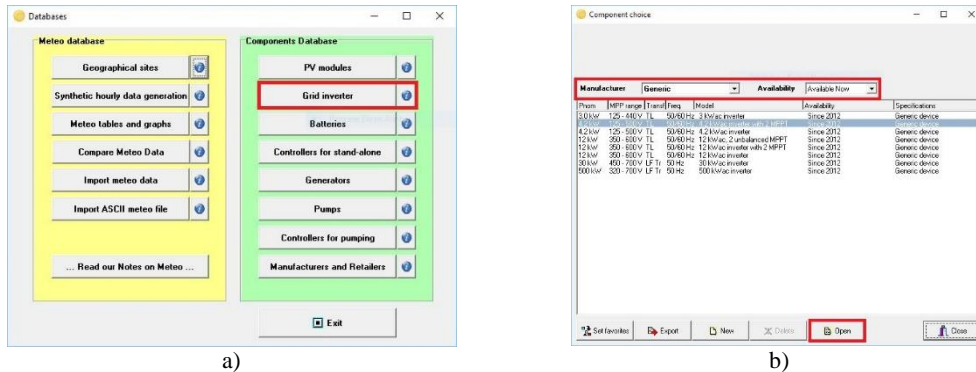
Şekil 4.44. a) Yeni panel tasarımı girişi ekran görüntüsü b) Yeni panel tasarımı bilgi girişi ekran görüntüsü

Şekil 4.44.b.'de güneş paneline ait bilgiler doldurulduktan sonra 'ok' butonuna tıklanır ve PVsyst programına eklenir.

### 4.3.2.2. PV sisteminde kullanılacak inverter seçimi

#### 4.3.2.2.1. PVsyst programında kayıtlı inverter seçimi

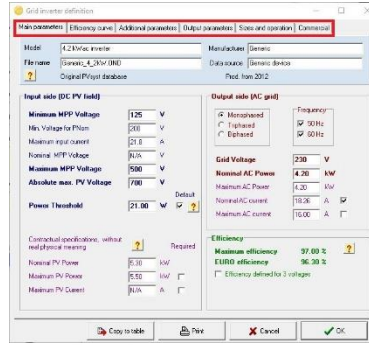
PV sisteminde kullanılacak olan invertere ait bilgiler PVsyst programında kayıtlı ise; Şekil 4.45.a.'da 'Component database' bölümünde, 'Grid inverter' butonuna tıklanır. Şekil 4.45.b.'de verilen ekrandan inverter seçilir ve 'Open' butonu tıklanarak, Şekil 4.43.'te invertere ait verilere ulaşılır.



Şekil 4.45. a) İnverter seçim ekranı b) İnverter çeşitleri ekran görüntüsü

Şekil 4.46.'da 'Main parametres' sekmesine tıklandığında invertere ait genel bilgilere, 'Efficiency curve' sekmesine tıklandığında invertere ait verimlilik eğrilerine, 'Output parametres' sekmesine tıklandığında güç faktörü ve maksimum AC güç bilgisine, 'Sizes and operation' sekmesine tıklandığında invertere ait boyut ve operasyon

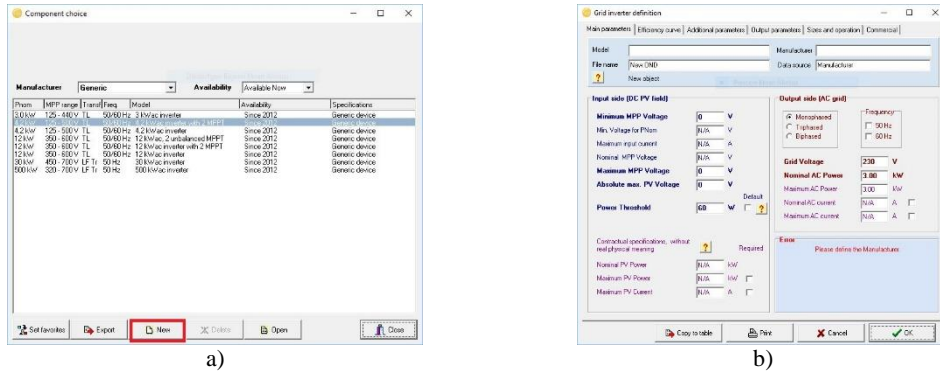
bilgisine, ‘Commerical’ sekmesine tıkladığında inverterin üretici firma ve maliyet bilgisine ulaşılır. ‘Additional Parametres’ sekmesine tıkladığında, MPPT, gece tüketim, diğer tüketim gibi veriler eklenir.



Şekil 4.46. İnverter bilgilerine ait ekran görüntüsü

#### 4.3.2.2.2. PVsyst programında kayıtlı olmayan inverterin oluşturulması

PV sisteminde kullanılacak olan inverter PVsyst programında kayıtlı değilse veya yeni bir inverter tasarımı yapıldı ise; Şekil 4.47.a.’da verilen pencerede, kırmızı ile işaretlenmiş olan ‘New’ butonuna tıklanır ve Şekil 4.47.b.’ye geçiş yapılır.

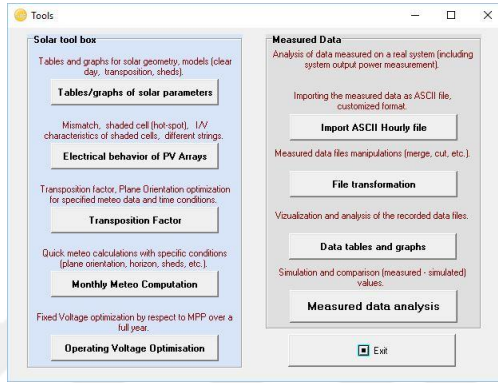


Şekil 4.47. a) Yeni inverter tasarımı girişi ekran görüntüsü b) Yeni inverter tasarımı bilgi girişi ekran görüntüsü

Şekil 4.47.b.’de invertere ait bilgiler doldurulduktan sonra ‘ok’ butonuna tıklanır ve PVsyst programına eklenir.

#### 4.4. Tools (araçlar)

'Tools' (araçlar) bölümü ise bir güneş santralının davranışını hızlı bir şekilde tahmin etmek ve görselleştirmek için ek araçlar sunmaktadır. Ayrıca mevcut güneş santrallerinin ölçüm verilerinin simülasyona yakın bir karşılaştırma için alınmasına izin veren özel bir takım seti de içerir.



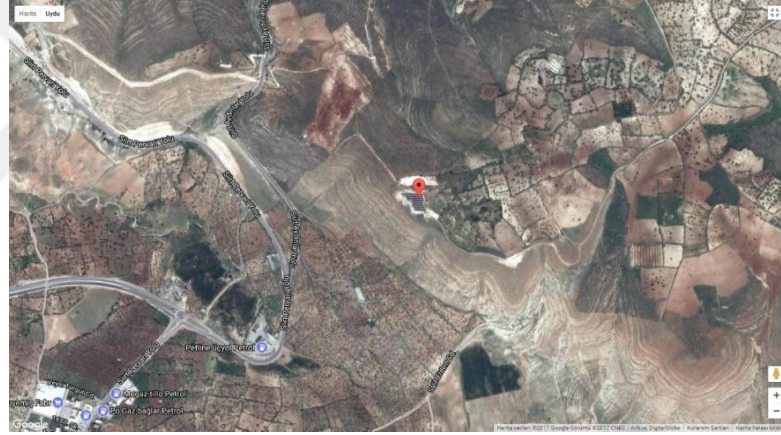
Şekil 4.48 PVsyst programı Tools sayfası görünümü



## BÖLÜM 5.LEBİT ENERJİ GÜNEŞ SANTRALİNİN GENEL TANITIMI

### 5.1. Konum

Lebit Enerji güneş santrali Siirt ili Merkez İlçesine bağlı Bağtepe mevkiinde, (N 37.945; E 41.973) koordinatlarında kurulmuştur. Lebit Enerji güneş santraline ait Şekil 5.1.'de uydu görüntüsü ve Şekil 5.2.'de yakından görünümü verilmiştir.



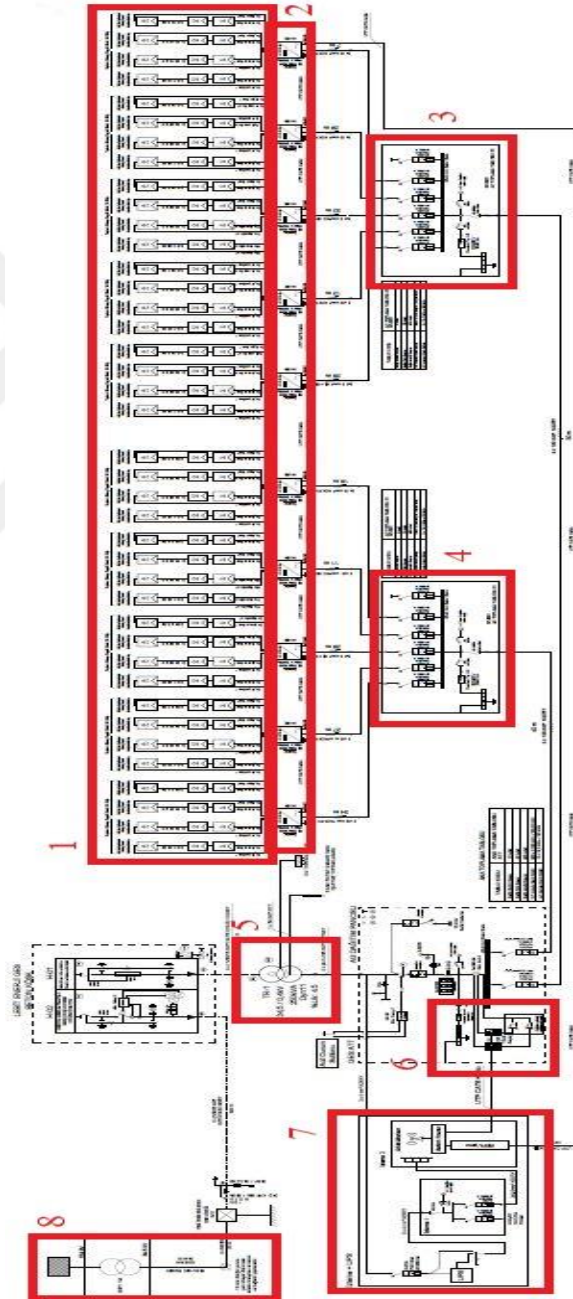
Şekil 5.1. Lebit Enerji güneş santrali uydu görüntüsü



Şekil 5.2. Lebit Enerji güneş santrali görünümü

## 5.2. PV Sistem Tek Hat Şeması

Lebit Enerji güneş santraline ait tek hat şeması olan Şekil 5.3.'te, güneş panelleri 1 numaralı kutu ile, inverterler 2 numaralı kutu ile, AC toplama panoları 3 ve 4 numaralı kutu ile, transformatör 5 numaralı kutu ile, çift yönlü sayaç 6 numaralı kutu ile, uzaktan izleme ünitesi 7 numaralı kutu ile ve Pervari fideri 8 numaralı kutu ile belirtilmiştir.



Şekil 5.3. Lebit Enerji güneş santrali tek hat şeması

### 5.3. PV Sistem Elemanları

#### 5.3.1. Güneş hücreleri

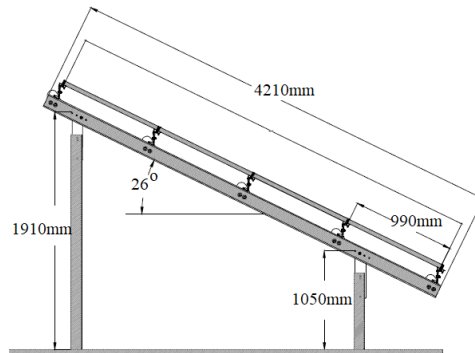
Lebit Enerji güneş santralinde, Tablo 5.1.'de katalog bilgileri verilen SolarTürk marka güneş panellerinden toplam 800 adet kullanılmıştır. 20'şer adet güneş paneli seri bağlanarak 40 adet string oluşturulmuş. 4'er adet string paralel bağlanarak 10 adet array meydana getirilmiştir.

Tablo 5.1. SolarTürk Güneş Paneli Katalog Bilgileri

ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLER		TEKNİK BİLGİLER		
Nominal Güç	(Wp)	250	Hücre Sayısı	60 (6x10)
Nominal Güç Toleransı	(Wp)	-0/+5	Hücre Tipi	Polikristal
Nominal Güç Voltajı	(V)	31.28	Hücre ölçüsü (mm)	156x156
Nominal Güç Akımı	a)	8.01	Panel Ölçüsü UxExY (mm)	1665x1001x42
Kısa Devre Akımı	a)	8.66	Ağırlık (kg)	19
Açık Devre Voltajı	(V)	37.66	Bağlantı Tipi	Tyco
Maksimum Sistem Gerilimi	(V)	1000		
Diyot Akımı	a)	5		

#### 5.3.2. Panel taşıyıcı destek yapılar

Lebit Enerji güneş santralinde, Şekil 5.4.'te verilen panel taşıyıcı destek yapıları, alt kısmı yerden 1050 mm, üst kısmı ise yerden 1900 mm yükseklikte, 4210 mm boyunda, yatayla 26°'lik bir açı yapacak şekilde, beton bloklar üzerine monte edilmiştir. Doğal hava şartlarından zarar görmemesi için galvaniz kaplamalı metal yapı kullanılmıştır.



Şekil 5.4 Panellerin monte edildiği çelik yapı

### 5.3.3. İnverter (evirici)

Lebit Enerji güneş santralinde Tablo 5.2.'de katalog bilgileri verilen REFUsol 020K marka inverterden her array çıkışına bir adet konulmak üzere toplam 10 adet kullanılmıştır. Montajı, sevkiyatı ve bakımı açısından kolaylık sağladığı için dizi inverter tercih edilmiştir.

Tablo 5.2 REFUsol 020K İnverter katalog bilgileri

DC DATA			AC DATA		
Max. PV Power	kW	21.2	Rated AC power	kW	19.2
MPPT range	V	480...850	Max. AC power	kW	19.2
Max. DC voltage	V	1000	AC grid connection	V	400
Max. DC current	A	41	Cos $\phi$	0.9i..0.9c	
MPP tracking	one fast		Max. AC current	A	29
Number of DC connect.	6		THD	% 1.8	
DC-disconnection switch	Evet		Max. efficiency	%98.2	
Internal overvoltage prt.	Tip 3		İnfeed strating at	W	20

### 5.3.4. Toplama panosu

Lebit Enerji güneş santralinde dizi inverter kullanıldığından, 2 adet alternatif gerilim toplama kullanılmıştır.

### 5.3.5. Kablolar

Lebit Enerji güneş santralinde Şekil 5.5.a.'da verilen güneş paneli bağlantı kabloları, Şekil 5.5.b.'de verilen alçak gerilim kabloları ve Şekil 5.5.c.'de verilen orta gerilim kabloları kullanılmıştır.



Şekil 5.5. a) Güneş paneli bağlantı kablosu b) Alçak gerilim bağlantı kablosu c) Orta gerilim bağlantı kablosu

### **5.3.6. Transformatör**

Lebit Enerji güneş santralinde AC gerilimi (400 V) enterkonnekte sisteme (34,5 kV) aktarmayı sağlamak amacıyla 1 adet transformatör kullanılmıştır.

### **5.4. Güneş Paneli Açısının Belirlenmesi**

Lebit Enerji güneş santralinde; hareketli taşıyıcı panel destek yapılarının, kurulum maliyeti, bakımı ve doğal hava koşulları göz önünde bulundurulduğunda sabit panel taşıyıcı destek yapıları kullanımı tercih edilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda, yıllık maksimum ışımanın elde edilmesi için panel açısı  $26^{\circ}$  olarak belirlenmiştir.

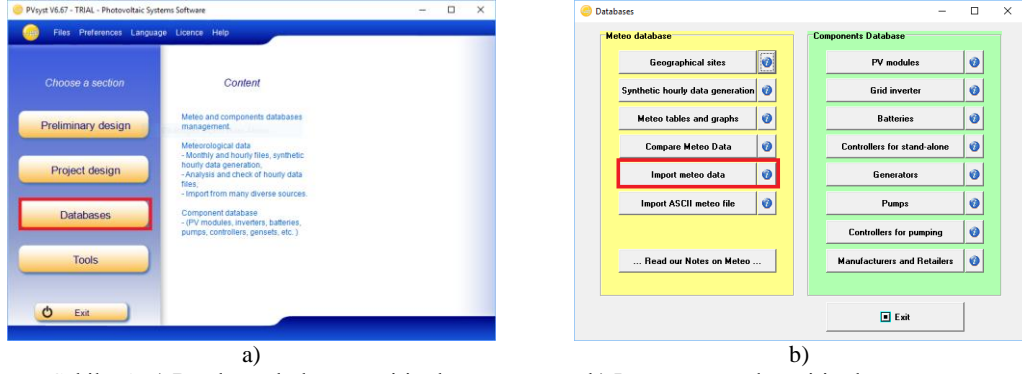
## **BÖLÜM 6.LEBİT ENERJİ GÜNEŞ SANTRALİNİN PVSYST PROGRAMI İLE SİMÜLASYONU**

Lebit Enerji güneş santralının PVsyst programı ile simülasyonu, 8 temel başlık altında incelenecektir. Bu başlıklar aşağıda belirtilmiştir.

1. Proje Bölümü: Santralin kurulacağı yerin PVsyst programına tanıtılıp, meteorolojik bilgiler aktarılmaktadır.
2. Kayıt Bölümü: PV sisteminin kayıt işlemi açıklanmaktadır.
3. Yönlendirme Bölümü: Güneş paneli ve azimuth açısı bilgilerinin programa girişi tanıtılmaktadır.
4. Sistem Bölümü: Güneş paneli, inverter ve seri-paralel dizilere ait bilgilerinin programa nasıl tanıtıldığı açıklanmaktadır.
5. Gölgeleme Bölümü: 3D boyutlu olarak santralin gölgeleme hesapları yapılmaktadır.
6. Kayıplar Bölümü: Kablo kayıpları, panel kayıpları, tozlanma kayıpları gibi santral kayıplarının programa nasıl girildiği anlatılmaktadır.
7. Horizon Bölümü: Ufuk çizgisinin programa tanıtılması açıklanmaktadır.
8. Simülasyon Bölümü: Santrale ait bütün verilerin rapor ve tablolar halinde analiz anlatılmaktadır.

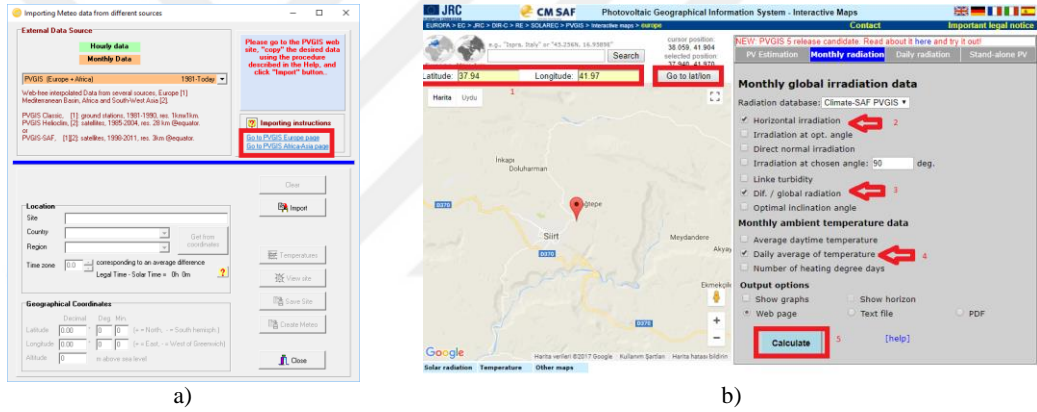
### **6.1. Proje Bölümü**

Lebit Enerji güneş santralının kurulumun yapıldığı yere ait bilgiler, PVsyst programı veri tabanında yer almamaktadır. Kurulum yerine ait koordinat bilgileri, ışıma ve sıcaklık verilerinin PVsyst programının Databases bölümüne eklenmesi için Şekil 6.1.a.'da verilen 'Databases' bölümü seçilerek, Şekil 6.1.b.'ye geçilir.



Şekil 6.1. a) Databases bölümüne giriş ekran görüntüsü b) Import meteo data giriş ekran görüntüsü

Şekil 6.1.b.'de 'Import meteo data' bölümü seçilerek, Şekil 6.2.a. ekranına geçilir. Şekil 6.2.a.'da kırmızı ile belirtilen 'Go to PVGIS Eurpo page veya Go to Africa-Asia page' internet linkine tıklanır ve Şekil 6.2.b.'de görülen internet sayfasına geçilir. [40]

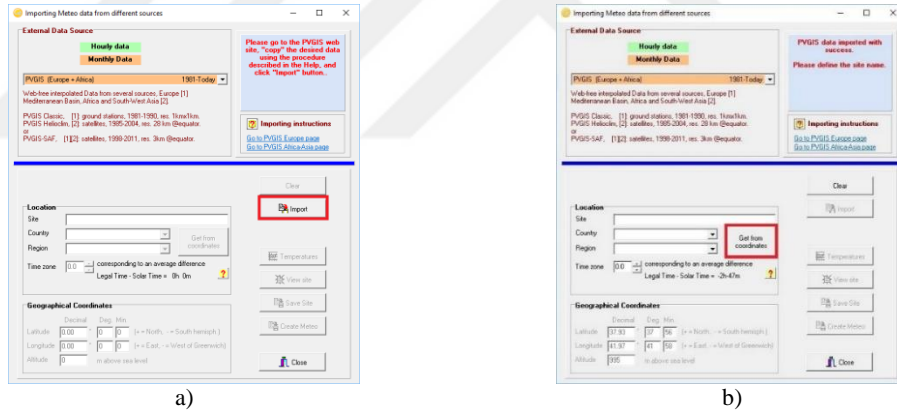


Şekil 6.2. a) Import meteo data bölümü ekran görüntüsü b) PVGIS internet sitesi ekran görüntüsü

Şekil 6.2.b.'de verilen internet sayfasında, kırmızı ile belirtilen 1 numaralı yere bölgenin koordinat bilgileri (37.94;41.97) girilir ve 'Go to lat/lon' butonuna tıklanır. Ardından 'Monthly radition' sekmesi seçilir ve kırmızı ile belirtilen 2,3,4 numaralı sekmeler olan 'Horizontal irradiation', 'Dif / global radition' ve 'Daily average of temprature' sekmeleri seçilir ve 5 numara ile belirtilen 'calculatar' butonuna tıklanarak Şekil 6.3.'te verilen ekran görüntüsüne geçilir.

Şekil 6.3. Aylık radyasyon datalarını alınmasına ait ekran görüntüsü

Şekil 6.3.'te verilen ekran görüntüsünde olduğu gibi yazılar seçilir ve CTRL+C tuşuna basılarak kaydedilir. Şekil 6.4.a.'da kırmızı ile belirtilen 'Import' butonuna tıklanarak, kaydedilen verilen PVsyst programına aktarılır. Şekil 6.4.b.'de kırmızı ile belirtilen 'Get from coordinates' butonuna tıklanarak, santrale ait koordinat bilgilerinin de programa kaydedilmesi sağlanır ve Şekil 6.5.a.'ya geçiş yapılır.



Şekil 6.4. a) Aylık radyasyon datalarını sisteme aktarılmasına ait ekran görüntüsü b) Bölgeye ait koordinatların sisteme aktarılmasına ait ekran görüntüsü

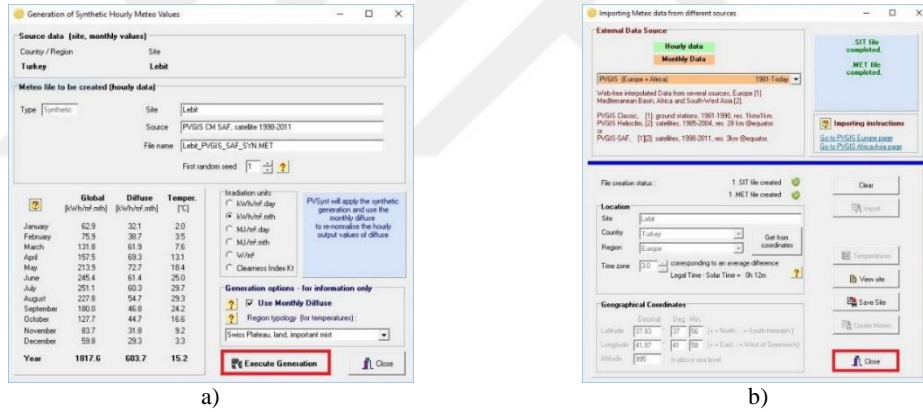
Şekil 6.5.a.'da 'Location' bölümünde, kırmızı ile belirtilen 1 numaralı yere Lebit Enerji güneş santralının kurulduğu yerin adı yazılır ve verileri kaydetmek için kırmızı ile belirtilen 2 numaralı 'Save site' butonuna tıklanır. Ardından Şekil 6.5.b.'de kırmızı ile belirtilen 'Create Meteo' butonuna tıklanarak, Şekil 6.6.a.'ya geçiş yapılır.





Şekil 6.5. a) Bölge adının belirlenmesine ait ekran görüntüsü ve .SIT dosyası oluşturma ekran görüntüsü b) .MET dosyası oluşturma ekran görüntüsü

Şekil 6.6.a.'da kırmızı ile belirtilen 'Execute Generation' butonuna tıklanarak, Şekil 6.6.b.'de ye geçilir. Şekil 6.6.b.'de kırmızı ile belirtilen 'Close' butonuna tıklanarak Lebit Enerji güneş santralinin kurulacağı yere ait koordinat bilgileri ve meteorolojik verilerin aktarımı sağlanır.

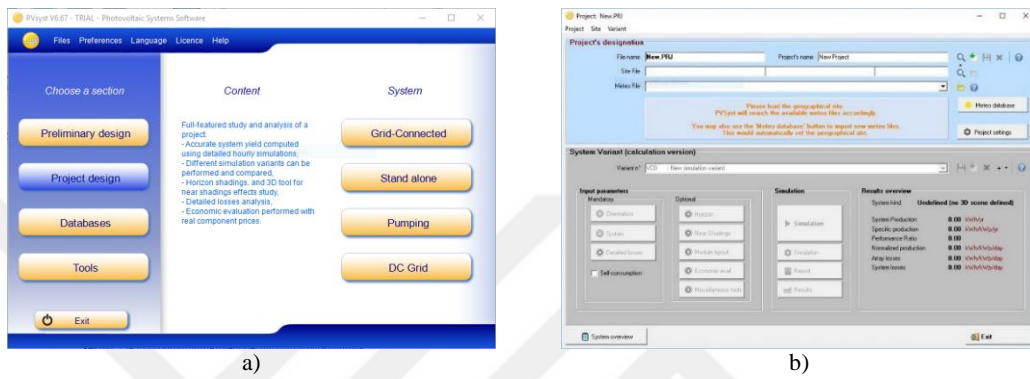


Şekil 6.6. a) .MET dosyasına verilerin aktarılmasına ait ekran görüntüsü b) Meteorolojik verilerinin aktarıldığına dair ekran görüntüsü

Bu çalışmada, meteorolojik veriler 'Geographical Sites' bölümü kullanılarak programa aktarıldığında, 'Meteonorm 7.1 veya NASA-SSE' den elde edilen veriler ile işlem yapılmaktadır. Ancak, 'Meteonorm 7.1 veya NASA-SSE' den elde edilen meteorolojik veriler (ışınma, sıcaklık vb.) gerçek veriler ile karşılaştırıldığında çok düşük kalmaktadır. Bu durum da programın sonuçları ile gerçek sonuçlar arasında büyük farklılıklar ortaya çıkarmaktadır. Meteorolojik veriler PVGIS sitesi aracılığı ile elde edildiğinde görüldü ki gerçek sonuçlar ile simülasyon sonuçları daha uyumlu oluyor.

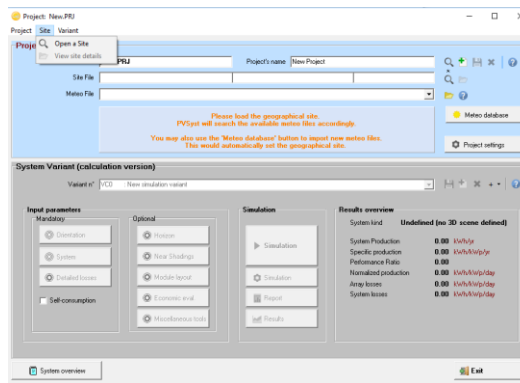
## 6.2. Kayıt Bölümü

Lebit Enerji güneş santralının kurulacağı yere ait bilgilerin, PVsyst programına tanıtılmasından sonra, Şekil 6.7.a.'da verilen programın giriş sayfasından 'Project desing' bölümü seçilir ve ardından 'Grid-Connected' alt bölümüne tıklanarak, Şekil 6.7.b.'de verilen 'Grid Connected' bölümü ana sayfasına ulaşılır.



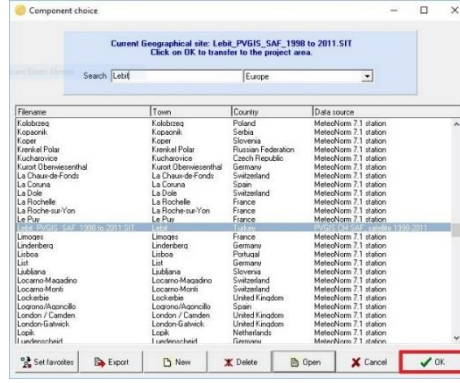
Şekil 6.7. a) Grid Connected bölümü girişi ekran görüntüsü b) Grid Connected bölümü ana ekran görüntüsü

Şekil 6.8.'de verilen 'Grid Connected' ana sayfasında, 'Site' sekmesi altındaki 'Open a Site' tıklanarak Şekil 6.9.'da verilen ekrana geçilir.



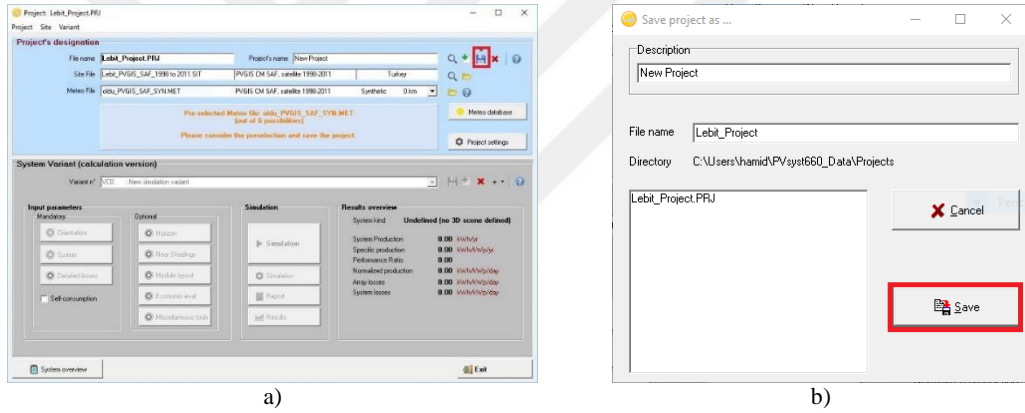
Şekil 6.8 Lebit Enerji güneş santralının koordinat ve meteorolojik verilerinin sisteme aktarılması-1

Şekil 6.9.'da Lebit Enerji güneş santraline ait veri seçilir ve kırmızı ile belirtilen 'Ok' butonuna tıklanarak Şekil 6.10.a.'da verilen Grid Connected' ana sayfasına geçilir.



Şekil 6.9. Lebit Enerji güneş santralının koordinat ve meteorolojik verilerinin sisteme aktarılması-2

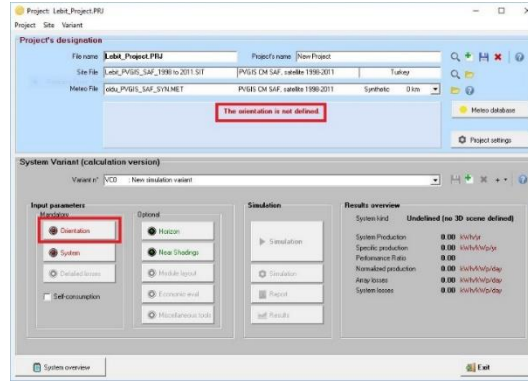
Şekil 6.10.a.'da verilen Grid Connected' ana sayfasında kırmızı ile belirtilen kayıt simgesine tıklanır ve Şekil 6.10.b.'de verilen ekranda kırmızı ile belirtilen 'Save' butonuna tıklanarak proje kaydedilir.



Şekil 6.10. a)Proje kaydedilmesi ekran görüntüsü 1. adımı b) Proje kaydedilmesi ekran görüntüsü 2. adımı

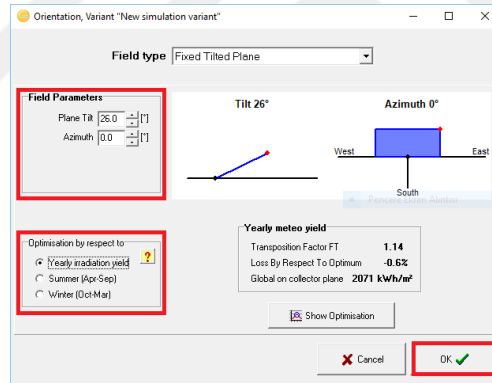
### 6.3. Yönlendirme Bölümü

Şekil 6.10.b.'de kayıt işlem yapıldıktan sonra Şekil 6.11.'de verilen 'Grid Connected' ana sayfasının ortasında kırmızı ile belirtilen 'The orientation is not defined' (yönlendirme tanımlanmadı) uyarısı gelir. Şekil 6.11.'de kırmızı ile belirtilen 'Orientation' butonuna tıklanarak, Şekil 6.12.'ye geçilir.



Şekil 6.11. Yönlendirme bilgilerinin girilmesine dair uyarı ekran görüntüsü

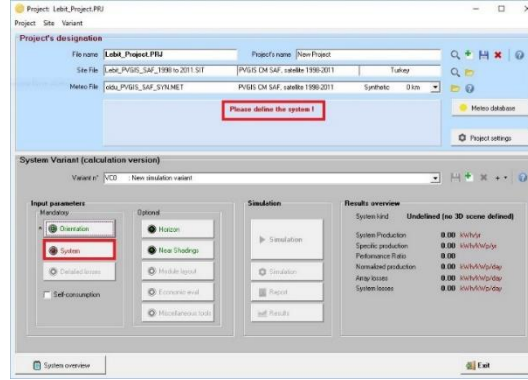
Şekil 6.12.'de 'Field type' sekmesine tıklanarak 'Fixed Tilted Plane' seçeneği seçilir. 'Field parameters' bölümünde 'Plane tilt'  $26^{\circ}$ , 'Azimuth'  $0^{\circ}$  olarak girilir. 'Optimisation by respect to' bölümünden 'Yearly irradiation yield' seçeneği seçilir ve 'Ok' butonuna tıklanarak, Şekil 6.13.'te verilen 'Grid Connected' ana sayfasına geçilir.



Şekil 6.12. Yönlendirme seçenekleri

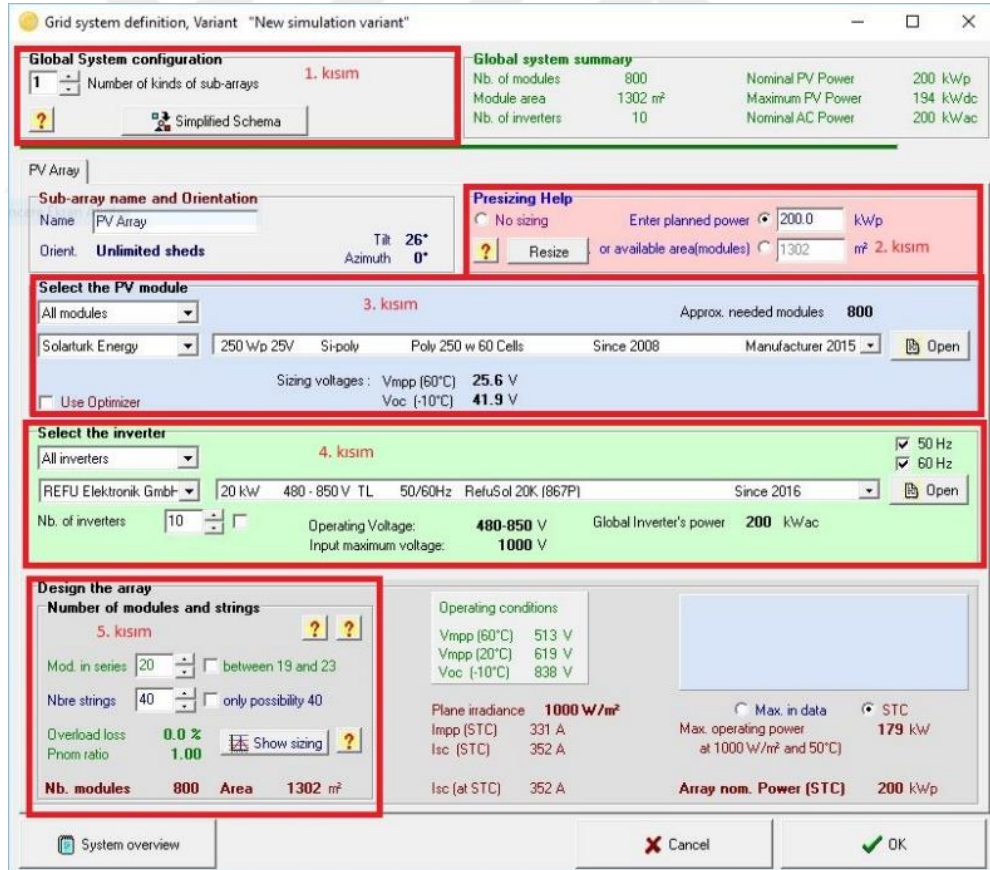
#### 6.4. Sistem Bölümü

Şekil 6.13.'te verilen 'Grid Connected' ana sayfasının ortasında kırmızı ile belirtilen 'Please define the system' (sistemi tanımlayın) uyarısı gelir. Şekil 6.13.'te kırmızı ile belirtilen 'System' butonuna tıklanarak Şekil 6.14.'e geçiş yapılır.



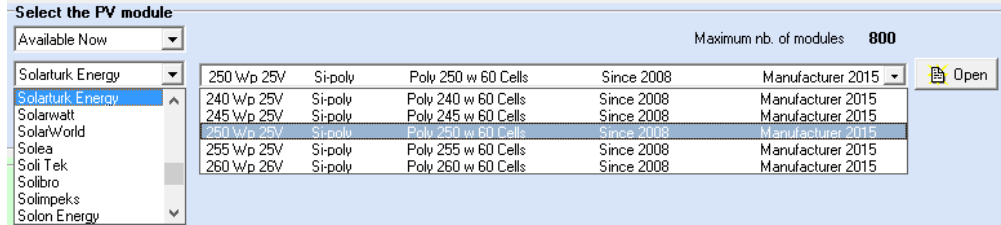
Şekil 6.13. Sistem bilgilerinin aktarılmasına dair uyarının ekran görüntüsü

Şekil 6.14.'de 1. kısım olarak ifade edilen 'Global system configuration' bölümünde birden fazla çeşitli array olmadığı için sayı 1 olarak ayarlanır. Şekil 6.14.'de 2. kısım olarak ifade edilen 'Presizing help' bölümünde Lebit Enerji güneş santralinin kurulu gücü 200 kWp belirtilir.



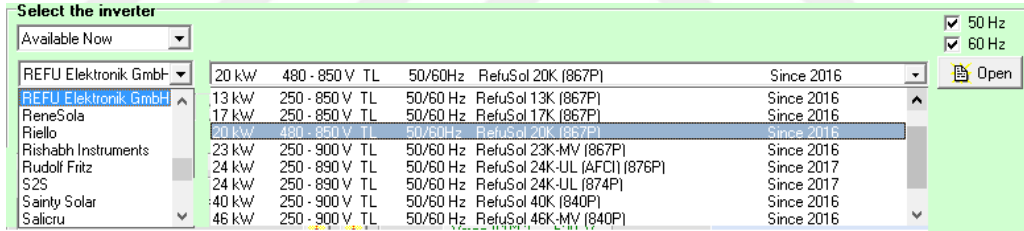
Şekil 6.14. Lebit Enerji güneş santrali system bilgileri

Şekil 6.14.'de 3. kısım olarak ifade edilen 'Select the PV module' bölümünde Şekil 6.15.'te verildiği şekilde ilk önce 'SolarTurk Energy' firması, ardından firmaya ait güneş panellerinden '250 Wp 25V Si-poly Poly 250 W 60 Cells Since 2008 Manufacturer 2015' seçilir.

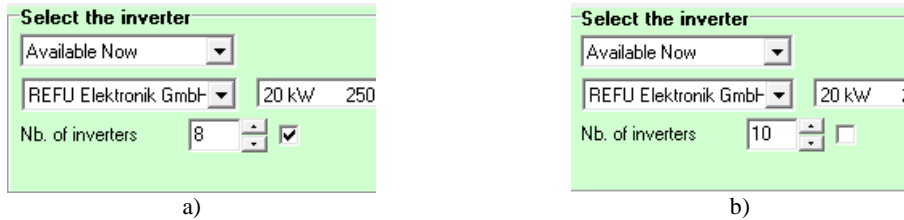


Şekil 6.15. Güneş paneli seçimi ekran görüntüsü

Şekil 6.14.'de 4. kısım olarak ifade edilen 'Select the inverter' bölümünde Şekil 6.16.'da verildiği şekilde ilk önce 'REFU Elektronik GmbH' firması, ardından firmaya ait inverterlerden '20 kW 480-850V TL 50/60 Hz RefuSol 20K (867P) Since 2016' seçilir.



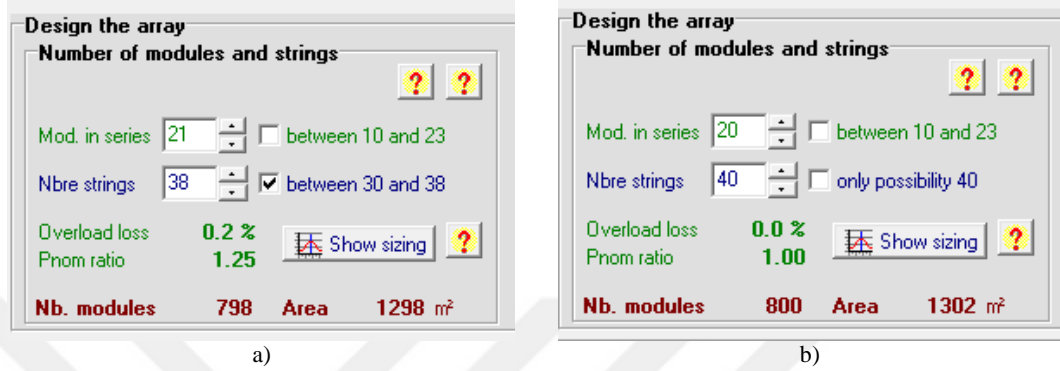
Şekil 6.16. Inverter seçimi ekran görüntüsü



Şekil 6.17. a) PVsyst programının default olarak belirlediği inverter sayısı b) Lebit Enerji güneş santralinde kullanılan inverter sayısının girilmesi

İnverter seçimi yapıldıktan sonra PVsyst programı default olarak inverter sayısını Şekil 6.17.a.'da görüldüğü gibi 8 olarak belirler. Lebit Enerji güneş santralinde toplam 10 adet inverter kullanıldığından inverter sayısı Şekil 6.17.b.'de görüldüğü gibi 10 olarak değiştirilir.

Şekil 6.14.'de 5. kısım olarak ifade edilen 'Desing the array' bölümünde Şekil 6.18.a.'da verildiği gibi default olarak seri güneş paneli sayısını 21, string sayısının 38 olarak belirtir. Lebit Enerji güneş santralinde, seri güneş paneli sayısı 20, string sayısı 40 olduğu için, Şekil 6.18.b.'de verildiği gibi seri panel ve string sayısı değiştirilir.

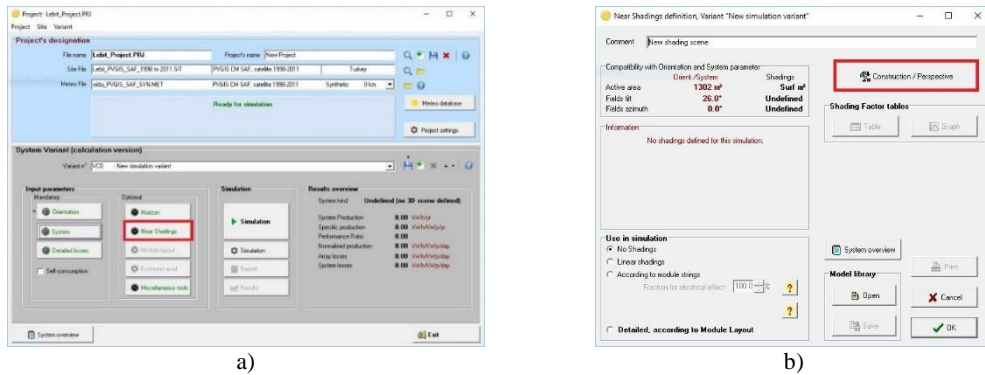


Şekil 6.18. a) PVsyst programının default olarak belirlediği seri ve string sayıları b) Lebit Enerji güneş santralinde seri ve string sayıları

Son olarak Şekil 6.14.'de 'Ok' butonuna tıklanır ve Şekil 6.19.a.'da verilen 'Grid Connected' ana sayfasına geçilir.

## 6.5. Gölgeleme Bölümü

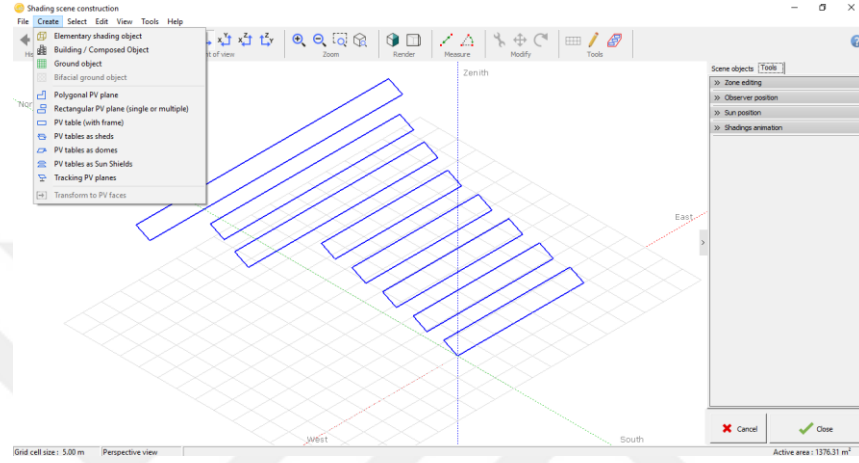
Şekil 6.19.a.'da verilen 'Grid Connected' ana sayfasında 'Near Shading' butonuna tıklanır ve Şekil 6.19.b.'ye geçilir.



Şekil 6.19. a) Gölgeleme olmadığına dair ekran görüntüsü b) 3D boyutlu çizim

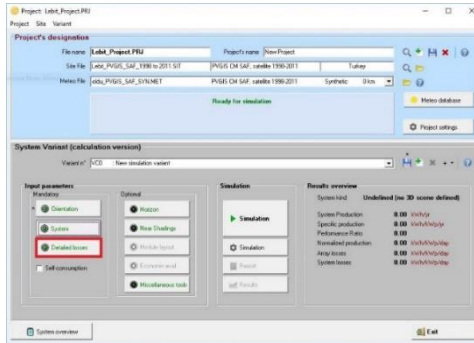
Lebit Enerji güneş santralinin kurulu olduğu yerde herhangi bir gölgelemeye sebebiyet verecek nesne olmamasına rağmen, panellerin diziliminden kaynaklanan bir

gölgeleme olabileceğini düşünerek, Şekil 6.19.b.'de kırmızı ile belirtilmiş olan 'Construction / Perspective' butonuna tıklanır ve Şekil 6.20.'de verilen ekrana geçilir. Şekil 6.20.'de 'Create' sekmesine tıklanır ve 'Rectangular PV plane' seçeneği seçilerek çizim işlemi yapılır. Çizim tamamlandıktan sonra Şekil 6.20.'de 'Close' butonuna tıklanır ve Şekil 6.21.a.'da verilen 'Grid Connected' ana sayfasına dönlür.

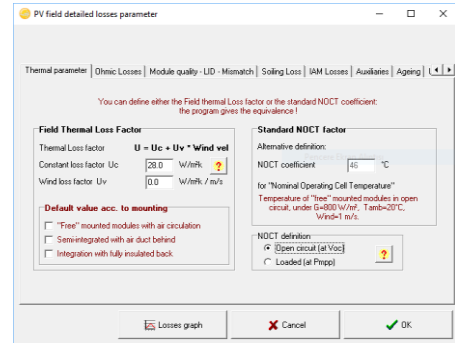


Şekil 6.20. 3 boyutlu çizim ekran görüntüsü

## 6.6. Kayıplar Bölümü



a)

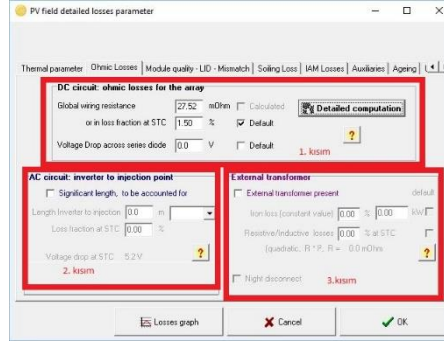


b)

Şekil 6.21. a) Kayıplar bölümü ana giriş ekran görüntüsü b) Kayıplar bölümü ana giriş ekranı

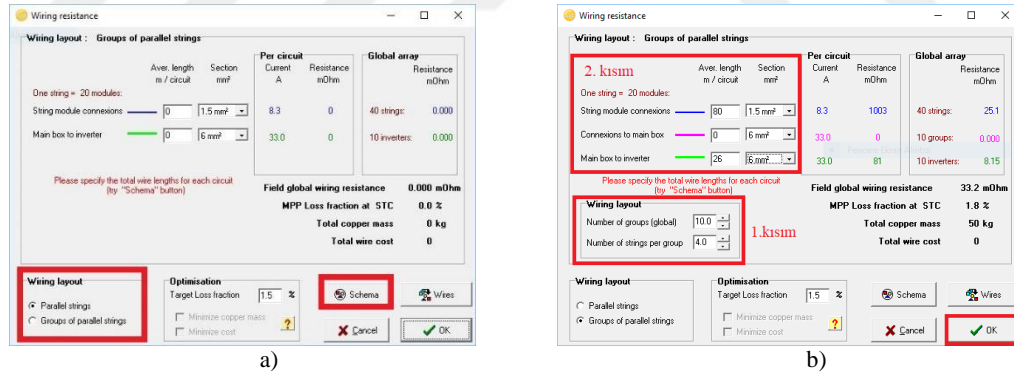
Şekil 6.21.a.'de verilen 'Grid Connected' ana sayfasında kırmızı ile belirtilen 'Detailed losses' butonuna tıklanarak Şekil 6.21.b.'ye geçiş yapılır. Şekil 6.21.b.'de 'Thermal Parametres' sekmesine tıklanarak Lebit Enerji güneş santralinde kullanılan güneş paneline ait katalog bilgilerinden elde edilen NOCT değeri, PVsyst programına girilir.





Şekil 6.22. Ohmic losses bölümü ekran görüntüsü

Şekil 6.21.b.'de 'Ohmic losses' sekmesi tıklanarak Şekil 6.22.'e geçiş yapılır. Şekil 6.22.'de 1. kısımda DC kayıpların belirtilmesi için 'Detailed computation' butonuna tıklanır ve Şekil 6.23.a.'da verilen pencereye geçiş yapılır. Şekil 6.23.a.'da 1. kısım olarak belirtilen 'wiring layout' bölümünde 'group of parallel string' seçeneği seçilerek kırmızı ile işaretlenmiş olan 'wiring layout' bölümünden 'Number of groups (global)' sayısı '10', 'number of string per group' sayısı ile '4', 2. kısım olarak belirtilen 'Groups of parallel strings' bölümünde paneller arası kablo uzunluğu '80', paneller ile inverter arası kablo uzunluğu '26' olarak yazılır ve 'Ok' butonuna tıklanır.



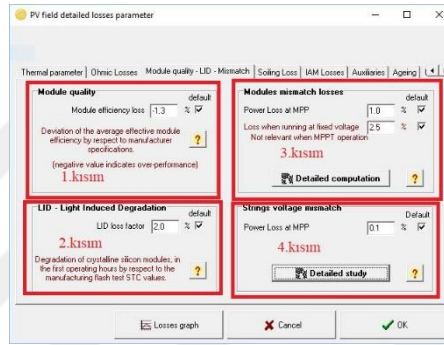
Şekil 6.23. a) Wiring layout seçimi-1 b) Wiring layout seçimi-2

Şekil 6.22.'de 2. kısımda AC kayıpların belirtilmesi için, Şekil 6.24.a.'da görüldüğü gibi 'Significant length, to be accounted for' seçilir ve inverter ile injection noktası arasındaki mesafe ve kablo kesiti seçilir. Şekil 6.22.'de 3. kısımda kullanılan harici transformatör kayıpların belirtildiği bölümdür. Ancak, Lebit Enerji güneş santralinde, çift yönlü sayaç, transformatörden önce konulduğu için, transformatör kayıpları simülasyonda değerlendirmeye alınmamıştır. Bu sebeple, Şekil 6.24.b.'de 'External transformer present' seçeneği seçilmemiştir.



Şekil 6.24. a) AC kayıp

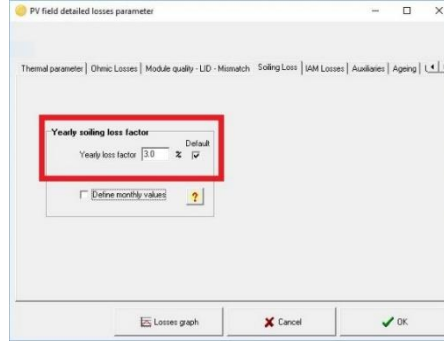
Şekil 6.21.b.’de ‘Module quality – LID – Mismatch’ sekmesi tıklanarak Şekil 6.25.’e geçiş yapılır.



Şekil 6.25. Module quality – LID – Mismatch ekran görüntüsü

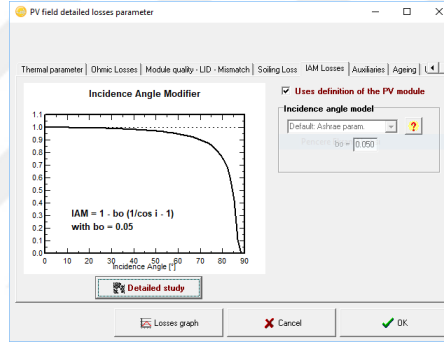
Şekil 6.25.’te 1. kısım olarak belirtilen ‘Module quality’ bölümünde panel kalitesi default değer olarak %1.3, 2. kısım olarak belirtilen ‘Modules mismatch losses’ bölümünde paneller arası uyumsuzluk kayıpları default değer olarak %1, 3. kısım olarak belirtilen ‘Light Induced Degradation’ bölümünde kristal özellikli panellerin günün ilk saatlerindeki ilk ışığa aldıklarında meydana gelen kayıplar default değer olarak %2 ve 4. kısım olarak belirtilen ‘Strings voltage mismatch’ bölümünde stringler arası gerilim uyumsuzluk kayıpları default değer olarak %1 seçilir.

Şekil 6.21.b.’de ‘Soiling Loss’ sekmesi tıklanarak Şekil 6.26.’e geçiş yapılır. Lebit Enerji güneş santralinde hiç temizlik yapılmadığından default değer olarak yıllık %3 seçildi.



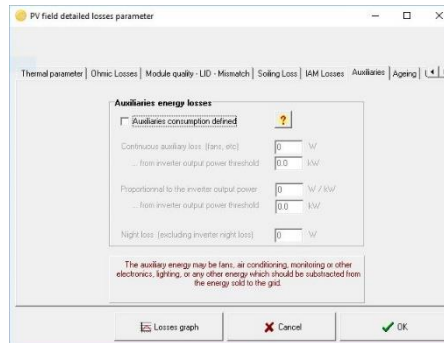
Şekil 6.26. Tozlanma kaybı değeri

Şekil 6.21.b.'de 'IAM Losses' sekmesi tıklanarak, Şekil 6.27.'ya geçiş yapılır. Lebit Enerji güneş santralinde PVsyst programı default seçeneği 'Uses definition of the PV module' seçildi.



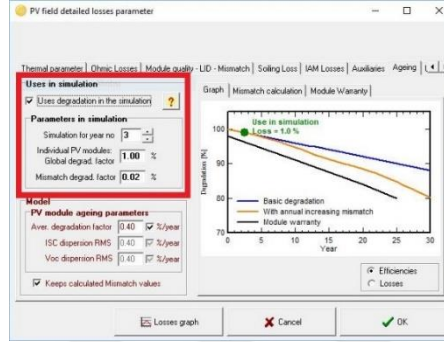
Şekil 6.27. IAM losses ekran görüntüsü

Şekil 6.21.b.'de 'Auxiliaries energy' sekmesi tıklanarak, Şekil 6.28.'e geçiş yapılır. Lebit Enerji güneş santralinde enerji tüketen bir ekipman olmadığı için 'Auxiliaries consumption defined' seçeneği seçilmemiştir.



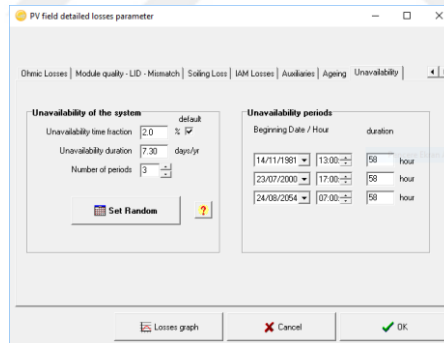
Şekil 6.28. Auxiliaries energy losses ekran görüntüsü

Şekil 6.21.b.'de 'Ageing' sekmesi tıklanarak, Şekil 6.28.'ye geçiş yapılır. Lebit Enerji güneş santrali 2014 yılında kurulduğundan, güneş panellerinin 3 yıldır kullanıldığını belirtmek için Şekil 6.29.'de 'Uses in simulation' bölümünde 'Uses degradation in the simulation' seçilir ve 'Simulation for year no' kısmına '3' olarak girilir.



Şekil 6.29 Ageing ekran görüntüsü

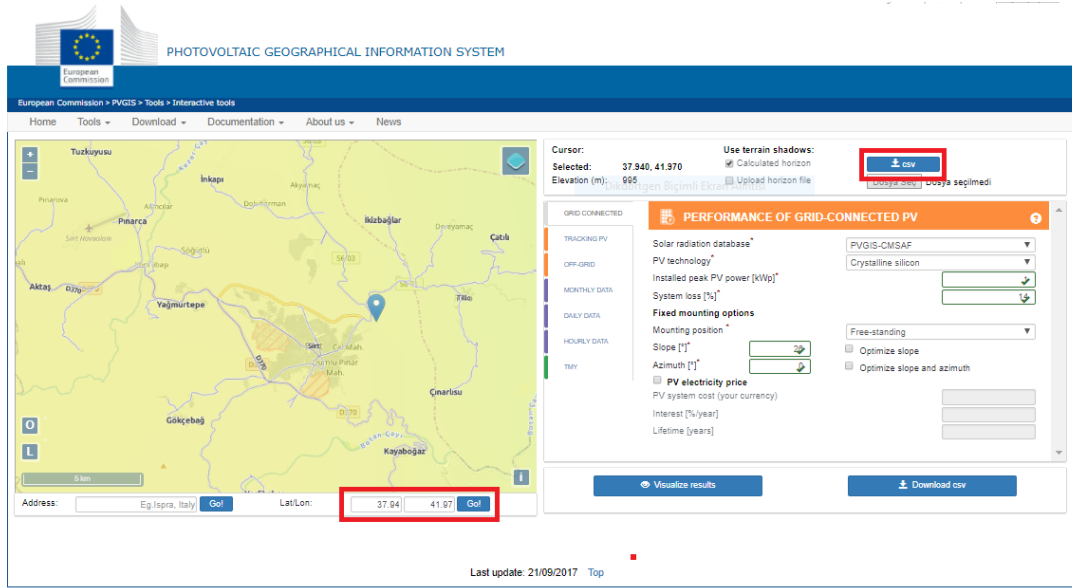
Şekil 6.21.b.'de 'Unavailability' sekmesi tıklanarak Şekil 6.30.'a geçiş yapılır. Lebit Enerji güneş santralinin üretim yapmadığı süreler tespit edilemediği için, PVsyst programı default seçeneği seçildi.



Şekil 6.30. Unavailability ekran görüntüsü

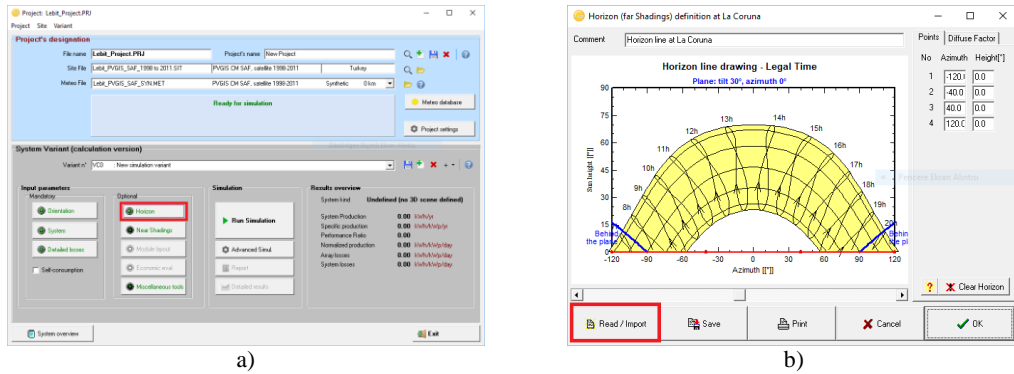
## 6.7. Horizon Bölümü

Ufuk çizgisi bilgisinin sisteme aktarılması için ilk önce, Şekil 6.31.'de verilen '[http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html#](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#)' internet sayfasına gidilir [41]. Şekil 6.31.'de kırmızı ile belirtilen boşluğa Lebit Enerji güneş santralinin koordinat bilgisi girilir ve 'Go' butonuna tıklanır. Ardından, Şekil 6.31.'de kırmızı ile belirtilen '.csv' butonuna tıklanarak .csv dosyası indirilir.



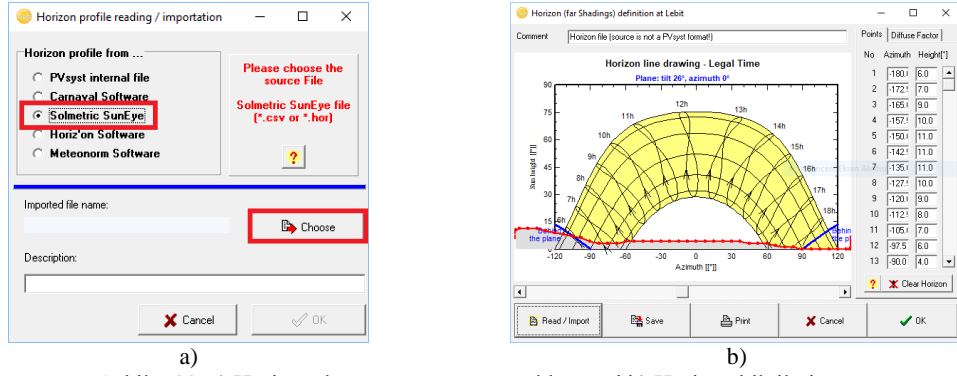
Şekil 6.31. Ufuk çizgisi dosyası oluşturma

Şekil 6.32.a.'da verilen 'Grid Connected' ana sayfasında 'Horizon' butonuna seçilir ve Şekil 6.32.b.'ye geçilir. Şekil 6.32.b.'de kırmızı ile belirtilen 'Read/Import' butonuna tıklanarak Şekil 6.33.a.'ya geçilir.



Şekil 6.32. a) Horizon bölümüne giriş ekran görüntüsü b) Horizon dosyasının aktarılması-1

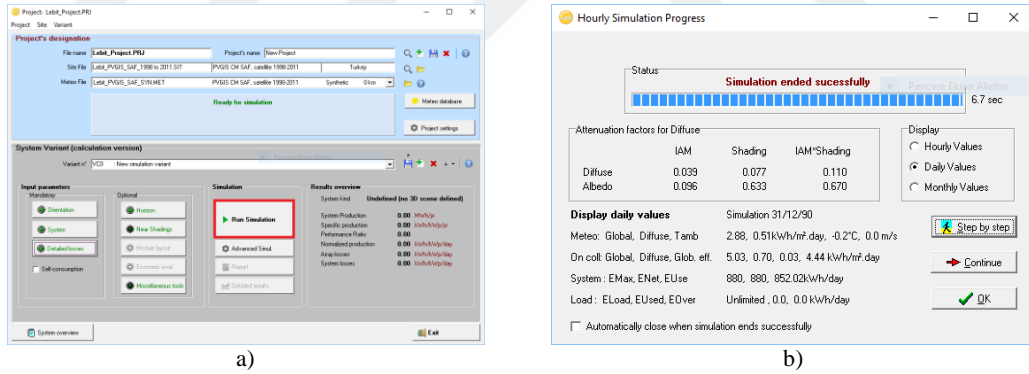
Şekil 6.33.a.'da kırmızı ile belirtilen 'Solmetric SunEye' seçeneği seçilir ve ardından 'Choose' butonuna tıklanarak indirilen horizon dosyası seçilerek aktarılır.



Şekil 6.33. a) Horizon dosyasının programa eklenmesi b) Horizon dosyalarının

## 6.8. Simülasyon Bölümü

Şekil 6.34.a.'da kırmızı ile belirtilmiş olan 'Simulation' butonuna tıklanarak, simülasyon işlemi başlatılır ve Şekil 6.34.b.'de verilen ekran görüntüsüne geçilir. Simülasyon tamamlandıktan sonra Şekil 6.34.b.'de 'ok' butonuna tıklanarak Şekil 6.35.a.'ya geçilir. Şekil 6.35.a.'da kırmızı ile belirtilen 'Detailed results' butonuna tıklanarak Şekil 6.35.b.'ye geçilir.



Şekil 6.34. a) Simulation girişi ekran görüntüsü b) Simülasyon ekran görüntüsü

Şekil 6.35.b.'de 'Report' butonuna tıklanarak, Şekil 6.36, Şekil 6.37, Şekil 6.38, Şekil 6.39 ve Şekil 6.40 da verilen rapor sayfalarına ulaşılır. Şekil 6.36' da Lebit Enerji güneş santralının kurulum yeri bilgilerine, panel açısı bilgisine, panel ve inverter bilgilerine, seri ve paralel bağlı panel bilgisine, PV sistem kayıp bilgilerine (termal, tozlanma, yansıma, uyumsuzluk, vb.) ulaşılır. Şekil 6.37' de horizon (ufuk çizgisi) veri ve grafiğine ulaşılır. Şekil 6.38.'de Lebit Enerji güneş santralının 3 boyutlu çizimine ve gölgeleme kaybı grafiğine ulaşılır. Şekil 6.39.'da PV sisteminin, üretim verilerine

ve performans bilgisine ulaşılır. Şekil 6.40.'da da PV sisteme ait enerji akış diyagramına ulaşılır.

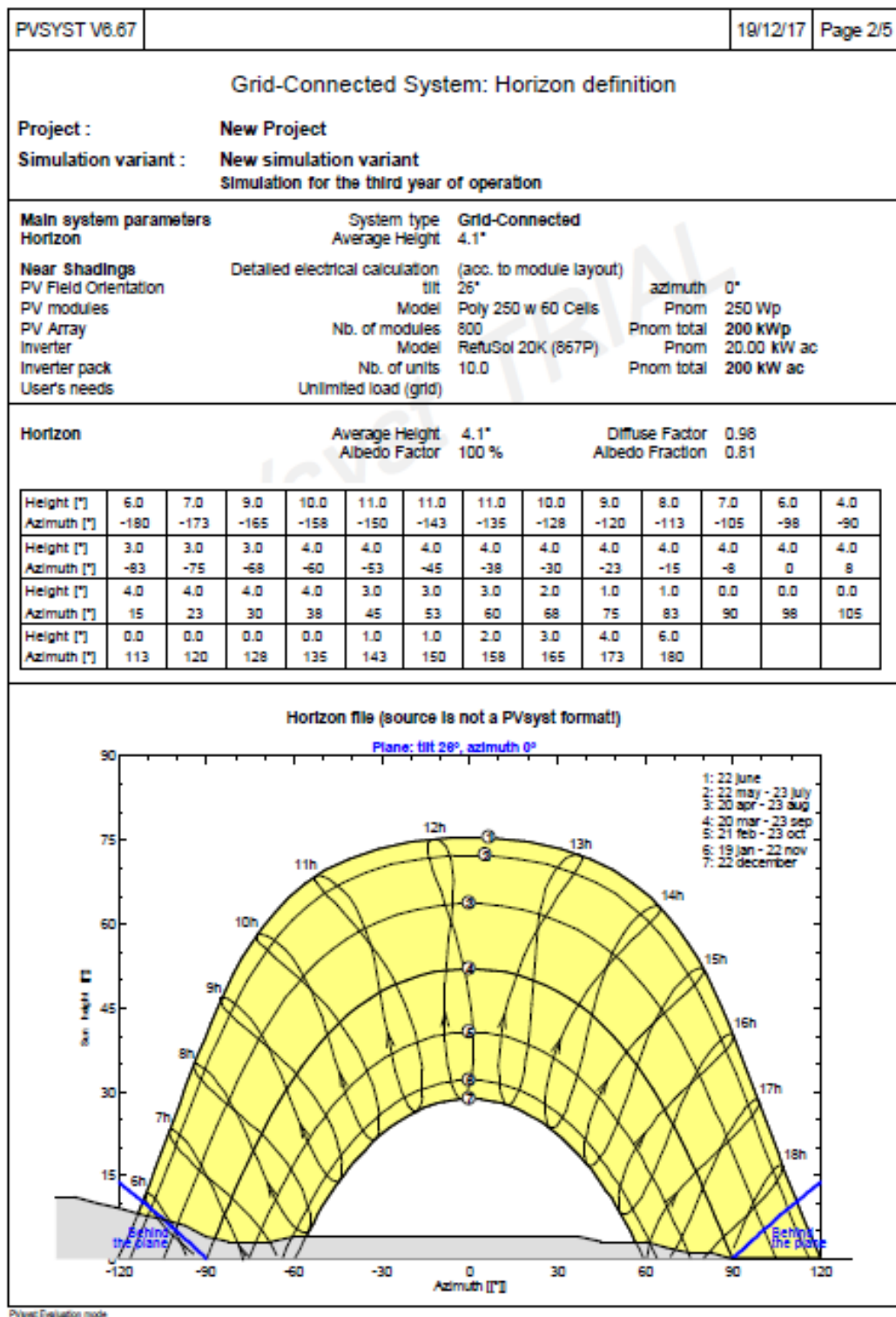


Şekil 6.35. a) Simülasyon verilerinin elde edilmesi için giriş ekran görüntüsü b) Sonuçlara ait rapor dosyası ekran görüntüsü

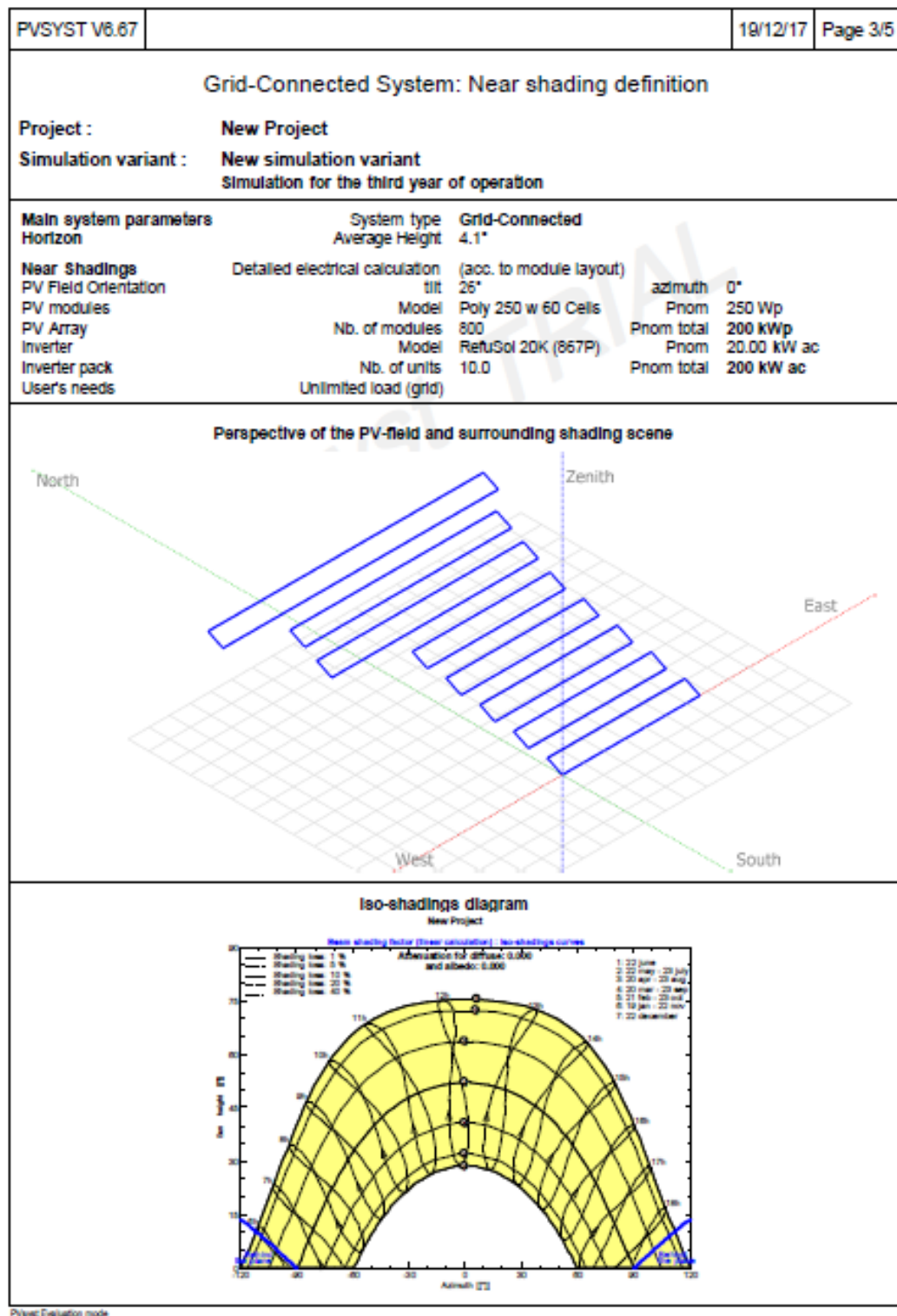
PVSYST V6.67		19/12/17	Page 1/5
<b>Grid-Connected System: Simulation parameters</b>			
<b>Project :</b>	<b>New Project</b>		
<b>Geographical Site</b>	<b>Leblit</b>	<b>Country</b>	<b>Turkey</b>
<b>Situation</b>	<b>Latitude</b>	37.93° N	<b>Longitude</b> 41.97° E
<b>Time defined as</b>	<b>Legal Time</b>	Time zone UT+3	<b>Altitude</b> 995 m
<b>Meteo data:</b>	<b>Albedo</b>	0.20	
	<b>Son</b>	PVGIS CM SAF, satellite 1998-2011 - Synthetic	
<b>Simulation variant :</b>	<b>New simulation variant</b>		
	<b>Simulation date</b>	19/12/17 11h54	
	<b>Simulation for the</b>	<b>third year of operation</b>	
<b>Simulation parameters</b>			
<b>Collector Plane Orientation</b>	<b>Tilt</b>	26°	<b>Azimuth</b> 0°
<b>Models used</b>	<b>Transposition</b>	Perez	<b>Diffuse</b> Perez, Meteonorm
<b>Horizon</b>	<b>Average Height</b>	4.1°	
<b>Near Shadings</b>	<b>Detailed electrical calculation</b>	(acc. to module layout)	
<b>PV Array Characteristics</b>			
<b>PV module</b>	<b>SI-poly</b>	<b>Model</b>	<b>Poly 250 w 60 Cells</b>
<b>Custom parameters definition</b>	<b>Manufacturer</b>	Solar Turk Energy	
<b>Number of PV modules</b>	<b>In series</b>	20 modules	<b>In parallel</b> 40 strings
<b>Total number of PV modules</b>	<b>Nb. modules</b>	800	<b>Unit Nom. Power</b> 250 Wp
<b>Array global power</b>	<b>Nominal (STC)</b>	200 kWp	<b>At operating cond.</b> 179 kWp (50°C)
<b>Array operating characteristics (50°C)</b>	<b>U mpp</b>	540 V	<b>I mpp</b> 331 A
<b>Total area</b>	<b>Module area</b>	1333 m <sup>2</sup>	<b>Cell area</b> 1168 m <sup>2</sup>
<b>Inverter</b>			
<b>Custom parameters definition</b>	<b>Model</b>	<b>RefuSol 20K (867P)</b>	
<b>Characteristics</b>	<b>Manufacturer</b>	REFU Elektronik GmbH	
<b>Inverter pack</b>	<b>Operating Voltage</b>	250-850 V	<b>Unit Nom. Power</b> 20.0 kWac
	<b>Nb. of Inverters</b>	10 units	<b>Total Power</b> 200 kWac
<b>PV Array loss factors</b>			
<b>Array Soiling Losses</b>			<b>Loss Fraction</b> 3.0 %
<b>Thermal Loss factor</b>	<b>Uc (const)</b>	23.0 W/m <sup>2</sup> K	<b>Uv (wind)</b> 0.0 W/m <sup>2</sup> K / m/s
<b>Wiring Ohmic Loss</b>	<b>Global array res.</b>	33 mOhm	<b>Loss Fraction</b> 1.8 % at STC
<b>Series Diode Loss</b>	<b>Voltage Drop</b>	0.7 V	<b>Loss Fraction</b> 0.1 % at STC
<b>LID - Light Induced Degradation</b>			<b>Loss Fraction</b> 2.0 %
<b>Module Quality Loss</b>			<b>Loss Fraction</b> -1.3 %
<b>Module Mismatch Losses</b>			<b>Loss Fraction</b> 1.0 % at MPP
<b>Strings Mismatch loss</b>			<b>Loss Fraction</b> 0.10 %
<b>Module average degradation</b>	<b>Year no</b>	3	<b>Loss factor</b> 0.4 %/year
<b>Mismatch due to degradation</b>	<b>Imp RMS dispersion</b>	0.4 %/year	<b>Voc dispersion RMS</b> 0.4 %/year
<b>Incidence effect, ASHRAE parametrization</b>	<b>IAM =</b>	1 - bo (1/cos I - 1)	<b>bo Param.</b> 0.05
<b>System loss factors</b>			
<b>Wiring Ohmic Loss</b>	<b>Wires: 3x120.0 mm<sup>2</sup></b>	120 m	<b>Loss Fraction</b> 2.3 % at STC
<b>User's needs :</b>	<b>Unlimited load (grid)</b>		

Şekil 6.36. Simülasyon sonucu elde edilen rapor sayfa-1

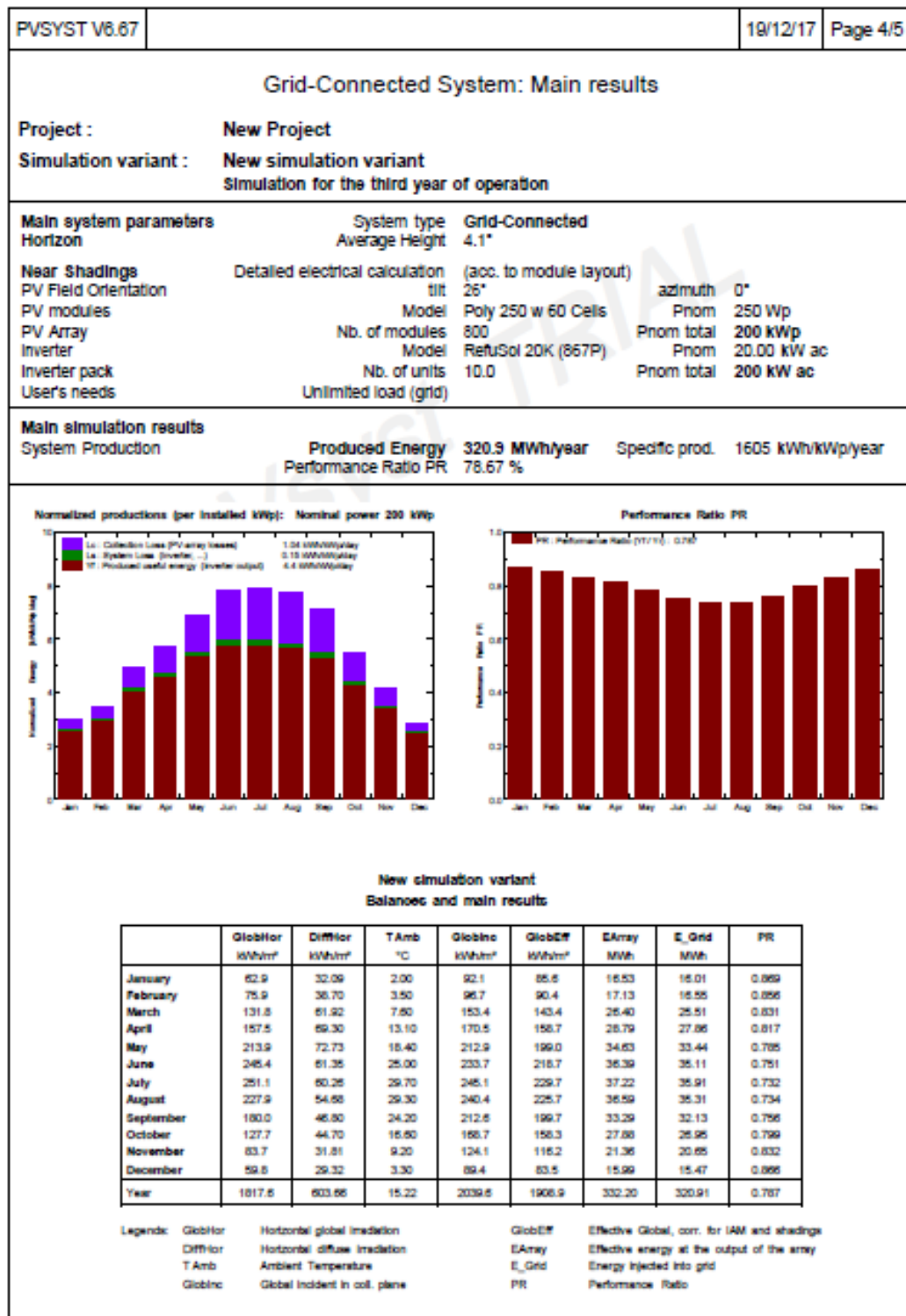




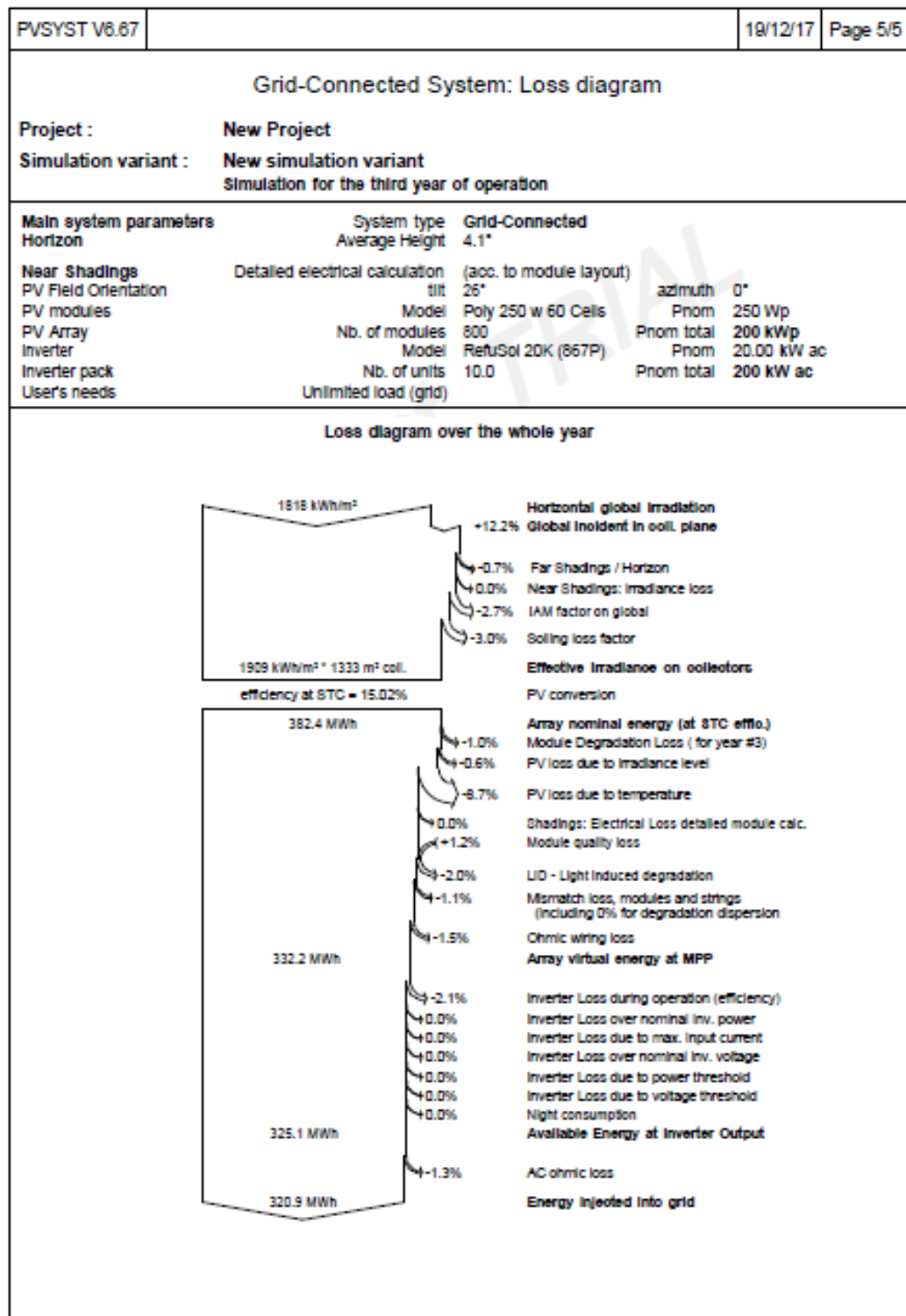
Şekil 6.37. Simülasyon sonucu elde edilen rapor sayfa-2



Şekil 6.38. Simülasyon sonucu elde edilen rapor sayfa-3



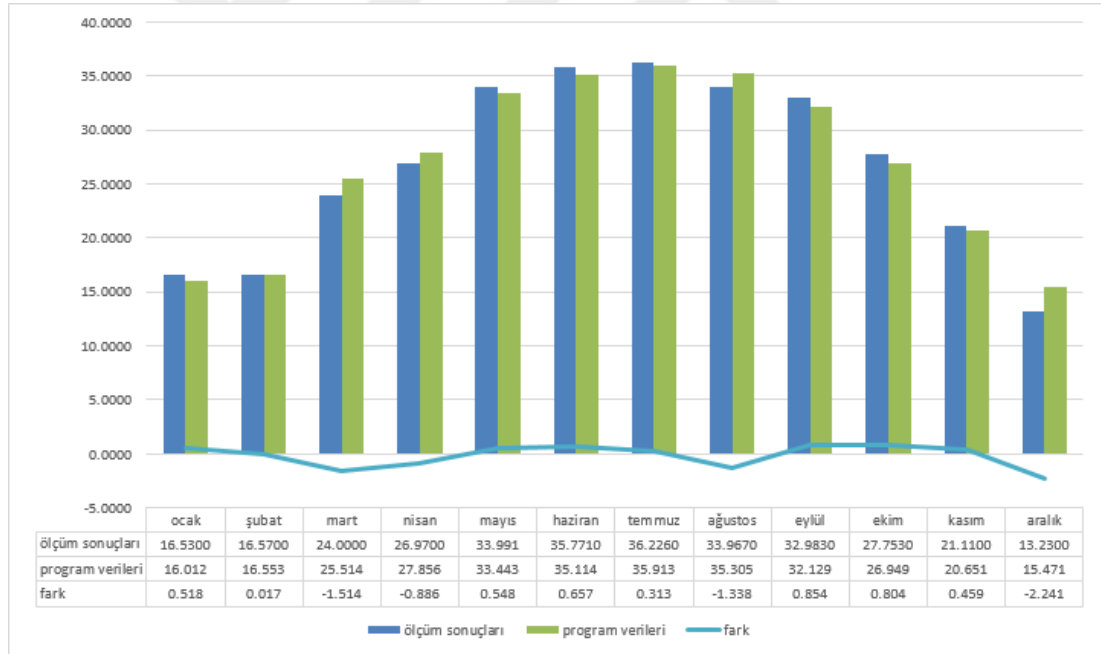
Şekil 6.39. Simülasyon sonucu elde edilen rapor sayfa-4



Şekil 6.40. Simülasyon sonucu elde edilen rapor sayfa-5

## BÖLÜM 7. PVSYSYT SİMÜLASYONU İLE GERÇEK ÜRETİM DEĞERLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

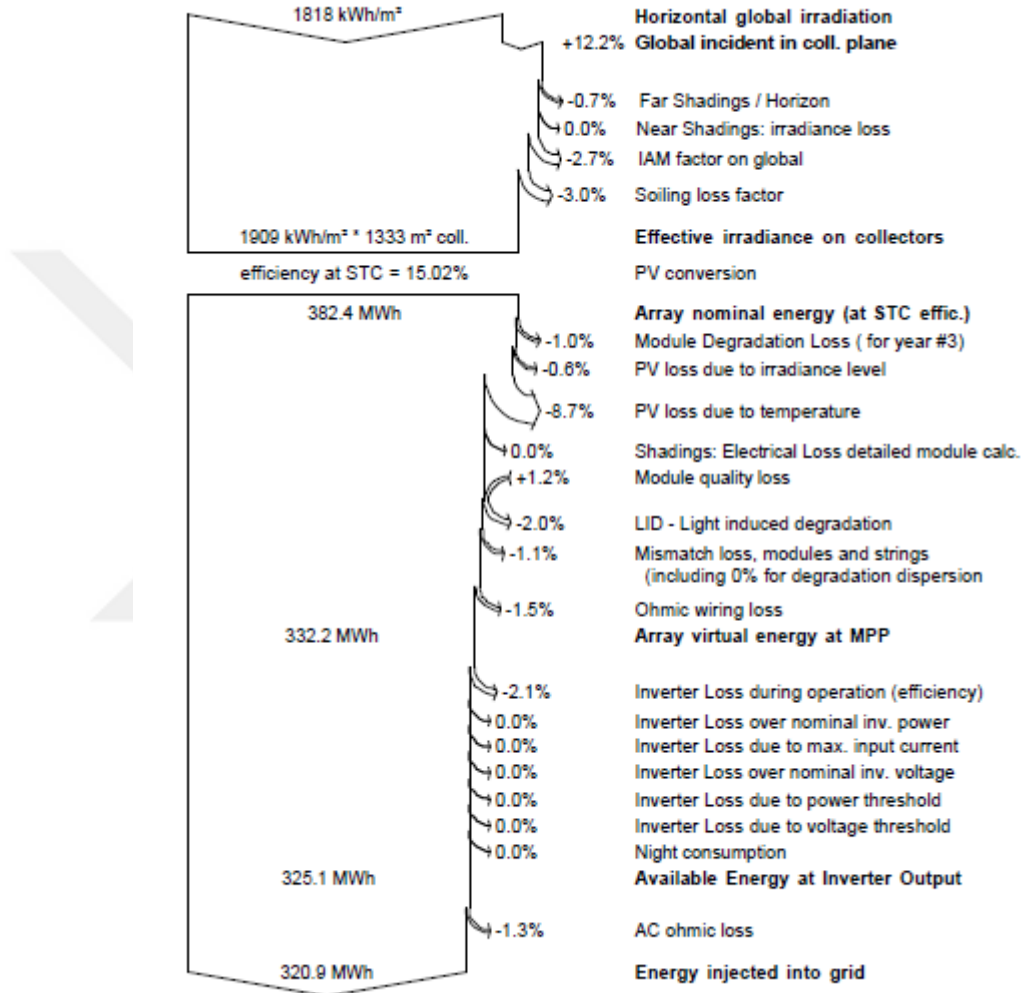
Lebit Enerji güneş santraline ait üretim değerleri ile PVsyst programı ile elde edilen simülasyon değerlerinin karşılaştırılması, Şekil 7.1.'de verilmiştir. Şekil 7.1.'de verilen tablo incelendiğinde; Lebit Enerji güneş santralinde, bir yıl boyunca toplamda 319.1 MW enerji üretilmesine karşılık, PVsyst programı 320.9 MW enerji üretilebileceğini öngörmüştür. Üretim değerleri ile simülasyon değerleri arasında sadece 1.8 MW yani % 0.56'lık bir fark bulunmaktadır.



Şekil 7.1. Üretim değerleri ile simülasyon değerlerinin karşılaştırılması

Ocak, Mayıs, Haziran, Temmuz, Eylül, Ekim ve Kasım aylarında üretim değerleri simülasyon değerlerinden yüksek iken, Şubat, Mart, Nisan, Ağustos ve Aralık aylarında simülasyon değerleri üretim değerlerinden yüksek çıkmıştır. Üretim değerleri ile simülasyon değerleri arasındaki fark, en az Şubat ayında iken, en fazla Aralık ayında oluşmuştur. Aralık ayında meydana gelen bu fark, yağın karın

birikintiye sebep olması ve temizleme işleminin gecikmesinden kaynaklanmıştır. En fazla üretim 36.2260 MW ile Temmuz ayında, en düşük üretim ise 13.230 MW ile Aralık ayında olmuştur. Bu durumun sebebi de en fazla ışımanın Temmuz ayında, en az ışımanın ise Aralık ayında elde edilmesidir.



Şekil 7.2. Enerji akış diyagramı

Şekil 7.2.'de Lebit Enerji güneş santraline ait simülasyon sonucu elde edilen enerji akış diyagramı bulunmaktadır. Güneş panelleri 26<sup>o</sup>lik bir açı ile yerleştirildiğinde panel yüzeyine gelen ışıma %12.2 oranında artmaktadır. Horizonttan kaynaklanan kayıp %0.7, yansımadan kaynaklanan kayıp %2.7, tozlanma ve karlanmadan kaynaklanan kayıp %3 iken gölgelemeden kaynaklanan kayıp %0 olarak ölçülmüştür. Panel yaşlanma kaybı %1, panel zayıf ışık kaybı %0.6, panel sıcaklık kaybı %8.7,

panel yansıma kaybı %2, panel uyumsuzluk kaybı %1.1 ve doğru akım kablolama kaybı %1.5 olmak üzere toplamda %13.7'lik dize kaybı, %2.1 inverter kaybı ve %1.3 değerinde alternatif akım kablolama kaybı bulunmaktadır.



## **BÖLÜM 8. SONUÇ VE ÖNERİLER**

PVsyst programı, bir PV sistem kurulumunun tasarımı aşamasında, üreticiye, ilgilendiği coğrafi bölgeye yapılacak olan yatırımının ne kadar sürede geri alınabileceğini, diğer bir ifade ile kara geçiş noktasının tespit edileceği gibi, kurulmuş bir pv sisteminin, revize edilerek optimizasyon çalışmalarında ciddi bir araç olarak kullanılabilir.

Kurulması planlanan PV santrallerinin ayrıntılı olarak simülasyonu Bölüm 4 verilen adımlar takip edilerek kolaylıkla yapılabilir. PVsyst programını kullanmak isteyenler için, bu çalışma bir kullanım kılavuzu örneği teşkil edebilir.

PVsyst programı kullanıcı dostu bir program olarak altyapısında şuan üretimde olan veya daha önceden üretilmiş olan ekipmanların katalog bilgilerini bulundurmasının yanında tasarım yapılacak ürünlerin de sisteme kaydedilip kullanılmasına izin vermesi programın daha işlevsel kılmaktadır.

PVsyst programı ile kurulacak olan PV sisteminde, maksimum güneş ışımalarının elde edilebilmesi için, güneş panelinin açısı tespit edilebilir. Güneş paneli açısının mevsimlik veya aylara göre ayrı ayrı da ifade edilebilmesi, PV sistemlerin yıl boyunca maksimum ışımaya elde etmesine olanak sağlar. Ayrıca, sabit veya hareketli sistemler kullanılarak güneş paneli açısının belirlenmesine de sağlamaktadır.

PVsyst programı ile kurulacak olan PV sisteminde, farklı özellikte (polikristal, thin, vb.) güneş panelleri seçilerek, güneş panellerinin verimliliklerinin karşılaştırılması konulu çalışmalar yapılabilir.



PVsyst programı ile yenilebilir enerji sistemlerinin kullanımının yaygınlaştırılmasının en büyük sebeplerinden biri olan karbondioksit salınımı miktarı da tespit edilebilir.

PVsyst programında, 3 boyutlu çizim özelliği ile gölgeleme kayıplarının hesaplanması sağlanabilmektedir. Yapılan çizimde, Lebit Enerji güneş santralinde gölgelemeden kaynaklanan bir kayıp olmadığı ispatlanmıştır.

Bu tez çalışmasında, Siirt ilinde, 200kWp kurulu güce sahip olan Lebit Enerji güneş santraline ait bilgiler, PVsyst programı ile birebir olarak analiz edildi. Bir yıllık gerçek üretim değerleri ile PVsyst programı ile elde edilen simülasyon değerleri karşılaştırıldı ve % 0.56'lık çok küçük bir fark ile yakınsadığı gözlemlenmiştir.

Hareketli panel sistemlerinin kullanılmasıyla daha fazla ışığa, dolayısıyla daha fazla enerji elde edilebildiği, ancak maliyeti daha fazla olduğu için tercih edilemediği gözlemlenmiştir.

Yapılan analiz ve incelemeler neticesinde, düzenli toz ve kar temizliği yapılırsa, daha fazla enerji üretimi sağlanabilir.

PVsyst programı, maliyet hesabını da yapabilen bir program olmasına rağmen, yapılan masraflara ait bilgilere ulaşamadığından, bu özelliği kullanılamamıştır. Ancak, yeni kurulacak olan bir PV sisteminin üreteceği enerji miktarı kadar, maliyet hesabının yapılması da önemli olduğu için, programın bu özelliği yeni kurulacak olan PV sistemleri için kullanılabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Yılmaz, Ş., Kahramanmaraş İl Merkezi Koşullarında Optimum Enerji Verimliliğine Sahip Fotovoltaik Temelli Bir Elektrik Jeneratörünün Modellenmesi ve Gerçekleştirilmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 2015.
- [2] Küçükgoze, O.M., Erzincan İlinde Güneş Enerjili Elektrik Üretim Sisteminin Ekonomik Analizi. Erzincan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi 2016.
- [3] Ajder, A., Fotovoltaik Güneş Enerjisi Sistemleri İçin Optimum Eğim Açısının Hesaplanması. Yıldız teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2011.
- [4] Eruz, Ü.G., Güneş Paneli Çeşitlerinden Polikristal, Monokristal ve Thin Film Panellerinin Karabük Şartlarında Verimlilik Karşılaştırması. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2015.
- [5] [Http://Globalsolaratlas.info/.](http://Globalsolaratlas.info/), Erişim Tarihi: 17.12.2017.
- [6] [http://www.teknosayfa.com/gunes-enerjisi-kullanimi-2016-yilinda-rekor-seviyelere-ulasti-h391.html.](http://www.teknosayfa.com/gunes-enerjisi-kullanimi-2016-yilinda-rekor-seviyelere-ulasti-h391.html), Erşim Tarihi: 17.12.2017.
- [7] Kılıç, Ç.F., Güneş Enerjisi Türkiye'deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri. Mühendis ve Makina, 56(671): 28-40, 2015.
- [8] [https://www.setav.org/dunyada-ve-turkiyede-yenilenebilir-enerji/.](https://www.setav.org/dunyada-ve-turkiyede-yenilenebilir-enerji/), Erişim Tarihi: 17.12.2017.
- [9] [http://www.eie.gov.tr/mycalculator/default.aspx.](http://www.eie.gov.tr/mycalculator/default.aspx), Erişim Tarihi: 17.12.2017.
- [10] Ayaz, R., Farklı PV Teknolojilerinin Gerçek Ortam Verileri Kullanılarak Modellenmesi ve İstanbul Şartlarında Optimum Eğim Açılarının Belirlenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilimdalı, Yüksek Lisans Tezi, 2012.
- [11] Pakma, N., Batman'da 1 MW'lık Fotovoltaik Enerji Sisteminin Tasarımı. Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2016.

- [12] HAYDAROĞLU, C., Gümüş, B., Dicle Üniversitesi Güneş Enerjisi Santralının Pvsyst Ile Simülasyonu ve Performans Parametrelerinin Değerlendirilmesi. Dicle Üniversitesi Fakültesi Mühendislik Dergisi, 7(3): 491-500, 2016.
- [13] Rüştü, E., Fotovoltaik Güç Sistemlerinde Performansın Modellenmesi. Muğla Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2000.
- [14] Nirwan, D., Thakur, T., Performance Evaluation of Grid Connected Solar PV Plant Using Pvsyst. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 4(5): 3190-3194, 2017.
- [15] Yadav, P., Kumar, N., Chandel, S.S., Simulation And Performance Analysis of A Lkwp Photovoltaic System Using Pvsyst. Computation of Power, Information And Communication (ICCPEIC), 3(5): 358-363 2015.
- [16] Tallab, R., Malek, A., Predict System Efficiency of 1 MWc Photovoltaic Power Plant Interconnected To The Distribution Network Using PVSYST Software. Conference: 3rd International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC), At Marrakech – Ouarzazate, Morocco, 41-44, 2016.
- [17] Özerdem, Ö.C., Tackie, S., Biricik, S., Performance Evaluation of Serhatköy (1.2 MW) PV Power Plant, İEEE 3(5): 398-402, 2015.
- [18] Kandasamy, C.P., Prabu, P., Niruba, K., Solar Potential Assessment Using Pvsyst Software, İEEE 5(6): 667-672, 2013.
- [19] Soualmina, A., Rachid, C., Modeling And Simulation Of 15MW Grid-Connected Photovoltaic System Using Pvsyst Software. İEEE 7(6): 9-12, 2016.
- [20] Raj, A., Gupta, M., Panda, S., Design Simulation And Performance Assessment Of Yield And Loss Forecasting For 100 Kwp Grid Connected Solar PV System. Next Generation Computing Technologies (NGCT) 3(5): 528-533, 2016.
- [21] Morshed, S., Chowdhury, T.H., Rahman, A., Designing of a 2kW Stand-alone PV System in Bangladesh Using PVsyst, Homer and SolarMAT. İEEE 3(7): 9-12, 2015.
- [22] LALWANI, M., KOTHARI, D.P., SINGH M., Investigation of Solar Photovoltaic Simulation Softwares, International Journal of Applied Engineering Research Dindigul, 3(1): 87-92, 2010.
- [23] Sekçuloğlu, S.A., Fotovoltaik, Rüzgâr Ve Hibrit Sistemlerin Tasarımı Ve Ekonomik Analizi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2012.

- [24] Bayrak, G., Balık Çiftlikleri İçin Tasarlanan, Şebekeden Bağımsız, 1.1 kW'lık Kurulu Güce Sahip PV Sistemin Performans Analizi. 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 2011.
- [25] Yılmaz, U., Gökçeada'da Yenilenebilir Enerji Kaynaklarıyla Elektrik Üretimi. İstanbul Teknik Üniversitesi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2008.
- [26] McGowan, J.G., Manwell, J. F. ve Warner, C. L. , Hybrid Wind/PV/Diesel Hybrid Power Systems Modeling and South American Applications, Renewable Energy, 9 836-847, 1996.
- [27] Bali, S., Güneş Enerjisi Sektöründe Kullanılan Bilgisayar Destekli Simülasyon Programları; PV\*SOL Expert Programı İncelemesi, VIII. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, İstanbul, 127-132, 2015.
- [28] Çiftçi, F., Güneş Enerji Sistemlerinde Farklı Cins Panellerle Maliyet Ve Güç Analizinin Yapılması. Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2016.
- [29] Kıyanççek, E., Fotovoltaik Sistemlerin Boyutlandırılması İçin Pvs2 Paket Programının Gerçekleştirilmesi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2013.
- [30] Lima, J.B.A., Prado, R.T.A., Taborianski, V.M., Optimization of tank and flat-plate collector of solar water heating system for single-family households to assure economic efficiency through the TRNSYS program. Renewable Energy 31, 1581-1595, 2006.
- [31] Gültuna, K.M., Gürsu-Bursa Fotovoltaik Güç Santralinin Simülasyonu Teknoekonomik Ve Çevresel Optimizasyon. Başkent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2015.
- [32] Şahin, M.E., Okumuş, H.İ., Güneş Pili Modülünün Matlab/Simulink İle Modellenmesi ve Simülasyonu. Elektrik Mühendisleri Odası Bilimsel Dergi 3(5): 17-25, 2013.
- [33] Işık, F., Kömürgöz, G., Bürkav, H., Yenilenebilir Enerji Üretim Santrallerinde Düşük Kayıplı Transformatör Kullanımının Önemi, 22. Uluslararası Enerji ve Çevre Konferansı Kitabı, İstanbul, 41-46, 2016.
- [34] Deniz, E., Güneş Enerjisi Santrallerinde Kayıplar. Elektrik Mühendisleri Odası Bilimsel Dergi 4(7): 47- 57, 2014.
- [35] Köprü, M.A., Fotovoltaik Sistemlerde Kablo Kayıplarının İncelenmesi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2016.

- [36] Çekirir, S., Fotovoltaik Güç Sistemlerinin Modellenmesi ve Benzetimi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2012.
- [37] KUMBASAR, A., DA Çevirici Temelli Fotovoltaik Elektrik Üretim Sistemlerinin İncelenmesi ve Simülasyonu. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi, 2010.
- [38] Ekici, B.B., Ankara'da teras çatılarda kurulacak fotovoltaik sistemler için optimum eğitim açısının belirlenmesi, 2. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, Ankara, 437-447, 2015.
- [30] Reindl, D.T., Beckman, W.A., and Duffie, J.A., Diffuse Fraction Correlations, Solar Energy, vol. 45, no. 1, pp. 9–17, 1990.
- [40] [Http://Re.Jrc.Ec.Europa.Eu/Pvgis/Apps4/Pvest.Php?Map=Africa.](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?map=Africa), Erişim Tarihi: 17.12.2017.
- [41] [Http://Re.Jrc.Ec.Europa.Eu/Pvg\\_Tools/En/Tools.Html#.](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#), Erişim Tarihi: 17.12.2017.

## ÖZGEÇMİŞ

Hamit Kürşat DEMİRYÜREK, 17.07.1988'de Ankara'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Ankara'da tamamladı. 2010 yılında Sakarya Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2010 yılından beri, özel sektörde Elektrik ve Elektronik Mühendisi olarak çalışmaktadır. Evlidir.

