

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BİNA ENTEGRELİ FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE FARKLI MAKSİMUM
GÜÇ NOKTASI İZLEME MİMARİLERİNİN ENERJİ ÜRETİM
PERFORMANSLARININ PARÇALI GÖLGELENME DURUMLARI İÇİN
İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS

Tuğba DURMUŞ

TEMMUZ-2023
GÜMÜŞHANE



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BİNA ENTEGRELİ FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE FARKLI MAKSİMUM
GÜÇ NOKTASI İZLEME MİMARİLERİNİN ENERJİ ÜRETİM
PERFORMANSLARININ PARÇALI GÖLGELENME DURUMLARI İÇİN
İNCELENMESİ**

**ANALYZES OF ENERGY GENERATION PERFORMANCES OF DIFFERENT
MAXIMUM POWER POINT TRACKING ARCHITECTURES IN BUILDING
INTEGRATED PHOTOVOLTAIC SYSTEMS FOR PARTIAL SHADING
CASES**

YÜKSEK LİSANS

Tuğba DURMUŞ

**TEMMUZ-2023
GÜMÜŞHANE**



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BİNA ENTEGRELİ FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE FARKLI MAKSİMUM
GÜÇ NOKTASI İZLEME MİMARİLERİNİN ENERJİ ÜRETİM
PERFORMANSLARININ PARÇALI GÖLGELENME DURUMLARI İÇİN
İNCELENMESİ**

**ANALYZES OF ENERGY GENERATION PERFORMANCES OF DIFFERENT
MAXIMUM POWER POINT TRACKING ARCHITECTURES IN BUILDING
INTEGRATED PHOTOVOLTAIC SYSTEMS FOR PARTIAL SHADING
CASES**

YÜKSEK LİSANS

Tuğba DURMUŞ

Danışman: Doç. Dr. Mustafa Engin BAŞOĞLU

**TEMMUZ-2023
GÜMÜŞHANE**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum “**Bina Entegreli Fotovoltaik Sistemlerde Farklı Maksimum Güç Noktası İzleme Mimarilerinin Enerji Üretim Performanslarının Parçalı Gölgeleme Durumları için İncelenmesi**” isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmaları kaynakçada belirttiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi’nin lisanslı kullanıcısı olduğum intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlediği kıstaslara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği’nin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

03/07/2023

Tuğba DURMUŞ

TEŞEKKÜR

“Bina Entegreli Fotovoltaik Sistemlerde Farklı Maksimum Güç Noktası İzleme Mimarilerinin Enerji Üretim Performanslarının Parçalı Gölgeleme Durumları için İncelenmesi” adlı çalışmam süresince yapmış olduğum çalışmalarımı denetleyen, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan tez danışmanım Doç. Dr. Mustafa Engin BAŞOĞLU’na teşekkür ederim.

Tez çalışma boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

Tuğba DURMUŞ
GÜMÜŞHANE – 2023

ÖZET

Fosil yakıtların azalmasıyla birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi artmaktadır. Fotovoltaik (FV) sistemlerden üretilen elektrik enerjisi ortam sıcaklığına, güneş ışınımına ve gölgelenme vb. gibi etkenlere bağlı olarak değişmektedir. FV sistemlerde verimi artırabilmek için sistemin maksimum güç noktasında (MGN) çalıştığına dikkat edilmelidir. Bu tez çalışmasında bina entegreli FV (BEFV) sistemlerde aşırı düzeyde oluşan parçalı gölgelenme durumları için farklı maksimum güç noktası izleme (MGNİ) mimarilerinin performansı incelenmiştir. MGNİ yöntemi olarak değiştir gözle (D&G) algoritması kullanılmıştır. MATLAB/SIMULINK’de gerçekleştirilen simülasyon çalışmalarında parçalı gölgelenme durumunda merkezi, modül tabanlı, alt-modül tabanlı MGNİ gerçekleştirilmiştir. Merkezi MGNİ mimari simülasyon çalışmasında parçalı gölgelenme durumunda FV sistemin P-V eğrisinde birden fazla MGN oluşmuştur. D&G algoritması bazı durumlarda yerel MGN’de takılı kalmış ve FV sistem daha az güç üretmiştir. Modül tabanlı MGNİ mimarisinde ise her FV modülde MGNİ bağımsız gerçekleştirilmiştir. Bu mimaride merkezi MGNİ mimarisini göre daha büyük güç üretilmiştir. Ayrıca modül P-V eğrisinde bir MGN oluşmuştur. Alt modül MGNİ mimarisinde ise her bir FV modülde üç alt-modül olacak şekilde tasarım yapılmış ve tüm alt-modüllerde MGNİ bağımsız bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Alt-modül tabanlı MGNİ’de modül düzeyindeki MGNİ’ye daha hassas MGNİ gerçekleştirilmişse de, DA-DA dönüştürücü sayısı ve kontrol zorluğu artmıştır. Bungalov tipi bir yapının çatısına entegre edilen FV modüller için gerçekleştirilen farklı MGNİ mimarileri için üretilen güç en fazla alt-modül tabanlı MGNİ’de en düşük güç ise merkezi MGNİ’de elde edilmiştir.

Çalışmanın devamında tarama yöntemi ile merkezi ve modül tabanlı MGNİ mimaride normal şartlarda fotovoltaik sistemin çalışması incelenmiştir. Sonucunda verim merkezi MGNİ mimarisinde %93.94 ve modül tabanlı MGNİ mimarisinde %94.32 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bina entegreli fotovoltaik sistem (BEFV), Güneş paneli, Maksimum güç noktası takibi, Maksimum güç noktası izleme mimarileri

SUMMARY

With the decline of fossil fuels, interest in renewable energy is increasing. Electricity generation, temperature, shading, etc. for photovoltaic (PV) systems. affected by factors. In order to increase efficiency in PV systems, it should be noted that the system operates at the maximum power point (MPP). Perturb and Observe (P&O) algorithm was used as the MPP tracking (MPPT) method. Simulation studies in MATLAB/SIMULINK include central, module-based and sub-module-based MPPT for partial shading. In the case of partial shading in the central MPPT architectural simulation study, more than one MPP occurred in the P-V curve of the PV system. The P&O algorithm remained in the local MPP in some cases and the PV system produced less power. The module-based MPPT operates independently on each PV module, providing more power and a single MPP in the module's P-V curve. In the submodule MPPT architecture, each PV module is designed to have three submodules, and all submodules are designed independently. Although more sensitive MPPT to module-level MPPT has been realized in submodule-based MPPT, the number of DC-DC converters and control difficulty have increased. For the PV modules integrated on the roof of a bungalow type building, the power produced for different MPPT architectures was obtained in the sub-module-based MPPT, while the lowest power was obtained in the central MPPT.

The study continued by examining the PV system's operation under normal conditions using central and module-based MPPT architecture with the scanning method. The results showed 93.94% efficiency for central MPPT architecture and 94.32% for module-based MPPT architecture.

Keywords: Building Integrated Photovoltaics (BIPV), Solar panel, Maximum power point tracking, Maximum power point tracking architectures,

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	III
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	IV
TEŞEKKÜR	V
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
İÇİNDEKİLER.....	VIII
TABLolar DİZİNİ	XI
ŞEKİLLER DİZİNİ	XIII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XIX
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Enerji	1
1.2. Dünya’da Enerji Kullanımı.....	3
1.2.1. Dünya’da Güneş Enerjisi Kapasitesi	3
1.3. Türkiye’de Enerji Kullanımı.....	4
1.3.1. Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli.....	9
1.4. Literatür Özeti ve Çalışmanın Amacı	10
2. FV SİSTEMLER.....	14
2.1. FV Hücre	14
2.2. FV Hücre Çeşitleri.....	15
2.2.1. Birinci Nesil FV Hücre.....	16
2.2.2. İkinci Nesil FV Hücre.....	18
2.2.3. Üçüncü Nesil FV Hücre	19
2.2.4. Dördüncü Nesil FV Hücre	23
2.3. FV Hücresinin Matematiksel Modeli.....	23
2.4. FV Hücre Karakteristikleri.....	25
2.4.1. Seri ve Paralel Dirençler	25
2.4.2. Kısa Devre Akım	25
2.4.3. Açık Devre Gerilimi.....	26
2.4.4. Maksimum Güç Noktası	27
2.4.5. Doldurma Faktörü	27
2.5. FV Hücre Akım, Gerilim ve Güç Eğrileri	27
2.5.1. Standart Test Koşullarında I-V ve P-V Eğrileri	27

2.5.2. Farklı Işınım Şartlarında I-V ve P-V Eğrileri	28
2.5.3. Farklı Sıcaklıklarda I-V ve P-V Eğrileri.....	30
2.6. Parçalı Gölgeleme Durumu	30
2.7. FV Sistem Mimarileri	32
2.7.1. Merkezi MGNİ Mimarisi.....	32
2.7.2. Dizi Düzeyinde MGNİ Mimarisi	33
2.7.3. Modül Tabanlı MGNİ Mimarisi	33
2.7.4. Alt-Modül Tabanlı MGNİ Mimarisi.....	35
3. BİNA ENTEGRELİ FV SİSTEMLER	36
3.1. Bina Entegre FV Sistem ve Bina Uygulamalı FV Sistem Tanımları	36
3.2. BEFV Sistem Avantajları.....	36
3.3. BEFV Teknolojisinin Tarihsel Gelişimi	37
3.4. BEFV Standardizasyonu ve Uygulama Şekilleri	38
3.4.1. BEFV’de Binalara Entegre Yöntemi: Çatı Sistemleri	39
3.4.1.1. Süreksiz Çatı Sistemleri.....	40
3.4.1.2. Tavan Penceresi Sistemleri	41
3.4.2. BEFV’nin Binalara Entegre Yöntemi: Cephe Yüzey Sistemleri.....	41
3.4.2.1. Yağmur Perdesi Cephe Sistemleri.....	41
3.4.2.2. Giydirmeye Duvar Cephe Sistemleri	42
3.4.2.3. Çift Cam Katmanlı Cephe Sistemleri	42
3.4.2.4. Prefabrik/Çok fonksiyonlu Cephe Sistemleri.....	43
3.4.3. BEFV’nin Binalara Entegre Yöntemi: Bina Aksesuar Sistemleri.....	44
3.4.3.1. Çatı Korkuluklarında BEFV Kullanımı	44
3.4.3.2. Balkonlarda BEFV Kullanımı	45
3.4.3.3. Gölgeleme Tipi BEFV	45
3.4.3.4. Güneş Kontrol Sistemlerinde BEFV Kullanımı	46
4. FV SİSTEMİN MODELLENMESİ VE SİMULAYON ÇALIŞMALARI	47
4.1. Yükseltici DA-DA Dönüştürücü	48
4.2. Verim Değerinin Hesaplanması	51
4.3. Merkezi MGNİ Mimarisi	51
4.3.1. Senaryo-1: Düzenli Işınım Durumu.....	53
4.3.2. Senaryo-2: Hafif Parçalı Gölgeleme Durumu	55
4.3.3. Senaryo-3: Şiddetli Parçalı Gölgeleme Durumu.....	57
4.4. Modül Tabanlı MGNİ Mimarisi	59
4.4.1. Senaryo-1: Düzenli Işınım Durumu.....	60

4.4.2. Senaryo-2: Hafif Parçalı Gölgeleme Durumu	61
4.4.3. Senaryo-3: Şiddetli Parçalı Gölgeleme Durumu.....	63
4.5. Alt-Modül Tabanlı MGNİ Mimarisi	67
4.5.1. Senaryo-1: Düzenli Işınım Durumu.....	69
4.5.2. Senaryo-2: Hafif Parçalı Gölgeleme Durumu	70
4.5.3. Senaryo-3: Şiddetli Parçalı Gölgeleme Durumu.....	72
4.6. Farklı Işınlımların Uygulandığı Alt-Modüllere Sahip FV Modül için Modül Tabanlı MGNİ Mimari Çalışması.....	76
4.6.1. Senaryo 1: Düzenli Işınım Durumu	77
4.6.2. Senaryo-2: Hafif Parçalı Gölgeleme Durumu	79
4.6.3. Senaryo-3: Şiddetli Parçalı Gölgeleme Durumu.....	81
4.7. Tarama Yöntemi.....	86
5. SİMÜLASYON SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	90
5.1. Senaryo-2: Hafif Parçalı Gölgeleme Durumu	91
5.2. Senaryo-3: Şiddetli Parçalı Gölgeleme Durumu	95
6. SONUÇ.....	100
KAYNAKÇA	102
ÖZGEÇMİŞ.....	109

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. 2022 yılı Dünya güneş enerji kapasitesi en yüksek beş ülke	4
Tablo 2. 2016-2022 yıllarında Türkiye’deki lisanslı santrallerin kurulu güç değerleri (EPDK, 2023).	5
Tablo 3. 2016-2022 yıllarında Türkiye’deki lisanssız santrallerin kurulu güç değerleri (EPDK, 2023).	7
Tablo 4. Türkiye’de aylara göre ortalama güneş ışıınımı değeri (kWh/m ² -gün) ve güneşlenme süresi (saat).....	10
Tablo 5. Bosch Solar Energy c-Si M60 Na42117 250W marka modülün farklı ışıınımlar için kısa devre akım değeri	29
Tablo 6. Merkezi MGNİ mimarisindeki bileşenlerin özellikleri.....	52
Tablo 7. Merkezi MGNİ mimarisinde Senaryo-1’de ışıınım miktarları ve MGN’deki güç değeri	53
Tablo 8. Merkezi MGNİ mimarisi Senaryo-2’de uygulanan ışıınım miktarları ve MGN’deki güç değeri.....	55
Tablo 9. Merkezi MGNİ mimarisi Senaryo-3’de uygulanan ışıınım değeri ve MGN’deki güç değeri.....	58
Tablo 10. Modül tabanlı MGNİ mimarisine ait bileşenlerin özellikleri	60
Tablo 11. Modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo-1’de uygulanan ışıınım miktarları ve MGN’deki güç değeri.....	61
Tablo 12. Modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo-2’de uygulanan ışıınım miktarları ve MGN’deki güç değeri.....	62
Tablo 13. Modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo-3’te uygulanan ışıınım miktarları ve MGN’deki güç değeri.....	63
Tablo 14. Alt-Modül Tabanlı MGNİ mimarisindeki bileşenlerin özellikler.....	67
Tablo 15. Alt-modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo-1’de uygulanan ışıınım miktarları ve MGN’deki güç değeri.....	69
Tablo 16. Alt-modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo-2’de uygulanan ışıınım miktarları ve MGN’deki güç değeri.....	70
Tablo 17. Alt-modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo-3’de uygulanan ışıınım miktarları ve MGN’deki güç değeri.....	73

Tablo 18. Farklı ışınlımların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimari çalışması Senaryo-1’de uygulanan ışınlım miktarları ve MGN’deki güç değeri.....	78
Tablo 19. Farklı ışınlımların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimari çalışması Senaryo-2’de uygulanan ışınlım miktarları ve MGN’deki güç değeri.....	79
Tablo 20. Farklı ışınlımların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimari çalışması Senaryo-3’de uygulanan ışınlım miktarları ve MGN’deki güç değeri.....	82
Tablo 21. Senaryo-2 için farklı MGNİ mimarilerinin MGNİ verimleri	92
Tablo 22. MGNİ mimarilerinin Senaryo-2 için güç değeri.....	93
Tablo 23. MGNİ mimarilerinin Senaryo-2 için MGNİ verim değeri.....	94
Tablo 24. Senaryo-3 için farklı MGNİ mimarilerinin MGNİ verimleri	96
Tablo 25. Senaryo-3’e ait simülasyon çalışmaları sonucunda 0.275s’lik periyotlar ile FV sistem çıkışında üretilen güç miktarları.....	97
Tablo 26. Senaryo-3’e ait simülasyon çalışmalarında kullanılan MGNİ mimarileri arasındaki yüzdelik değeri	98

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.	Dünya nüfusunun yıllara göre değişimi	2
Şekil 2.	1965-2021 yılları arasında Dünya’da kişi başına düşen enerji kullanımı (Our World in Data, 2022).	2
Şekil 3.	Dünya güneş enerjisi atlası (Global Solar Atlas, 2019).	3
Şekil 4.	Dünyada FV temelli güneş enerjisi santrali güç kapasitesinin 2013-2022 yılları arasındaki değişimi	4
Şekil 5.	Yenilenebilir ve yenilenemeyen enerjinin kurulu güçteki payının yıllara göre değişimi	5
Şekil 6.	2016 yılı için lisanslı santrallerde kurulu gücün kaynak bazında gösterimi	6
Şekil 7.	2022 yılı için lisanslı santrallerde kurulu gücün kaynak bazında gösterimi	6
Şekil 8.	2016-2022 yıllarında Türkiye’deki lisanssız santrallerin kurulu güç değerlerinin değişimi.....	7
Şekil 9.	2016 yılı lisanssız elektrik santrali kurulu güçlerinin kaynaklara göre dağılımı	7
Şekil 10.	2022 yılı lisanssız elektrik santrali kurulu güçlerinin kaynaklara göre dağılımı	8
Şekil 11.	1990-2021 yılları arasında lisanslı elektrik üretiminin kaynak bazında değişimi (GWh) (EPDK, 2023).	8
Şekil 12.	Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA, 2022).	9
Şekil 13.	Yıllara göre FV temelli güneş enerjisi santrali kurulu gücü	10
Şekil 14.	(a) Foton enerjisi ile elektron çiftinin oluşumu (Çalışkan, 2011), (b) Güneş hücresi çalışma prensibi (Arhan, 2022).	14
Şekil 15.	FV hücre, FV alt-modül, FV modül ve FV dizi yapıları.....	15
Şekil 16.	FV hücre teknoloji çeşitleri	16
Şekil 17.	Monokristal FV modül (URL-1, 2021).	16
Şekil 18.	Polikristal FV modül (URL-1, 2021).	17
Şekil 19.	Galyum Arsenit FV hücresi (URL-2, 2022).	17
Şekil 20.	Kadmiyum tellür FV hücre (URL-3, 2011).	18
Şekil 21.	Bakır-İndiyum-Galyum-Selenoid (CIGS) FV hücre (URL-4, 2021).	19
Şekil 22.	Organik FV hücre görünümü (URL-5, 2018).	20
Şekil 23.	Perovskit FV hücre görünümü (SolarReviews, 2022).	20
Şekil 24.	Boyaya duyarlı FV hücre şematik gösterimi (Singh vd., 2021).	21

Şekil 25. Boyaya duyarlı FV hücrenin pencerede kullanımı (URL-6, 2020).	21
Şekil 26. Kuantum noktalı FV hücre (URL-7, 2020).	22
Şekil 27. Kuantum noktalar çap ile enerji boşluğu arasındaki durumun gösterimi (Reshma ve Mohanan, 2019).	22
Şekil 28. Çok eklemli FV hücrenin şematik tasarımı	23
Şekil 29. FV hücre eşdeğer devresi	24
Şekil 30. FV hücrenin kısa devre eşdeğer durumu	25
Şekil 31. FV hücrenin açık devre eşdeğer durumu	27
Şekil 32. Standart test koşullarında I-V eğrisi	28
Şekil 33. Standart test koşullarında P-V eğrisi.	28
Şekil 34. Farklı güneş ışıyım düzeyleri için FV modülün I-V eğrileri.	29
Şekil 35. Farklı güneş ışıyım düzeyleri için FV modülün P-V eğrileri.	29
Şekil 36. Farklı sıcaklık değerlerinde FV modül I-V eğrileri.	30
Şekil 37. Farklı sıcaklık değerlerinde FV modül P-V eğrileri	30
Şekil 38. Parçalı gölgelenme durumunda modüllerin maruz kaldığı ışıyımların gösterimi ve devre şeması	31
Şekil 39. Eşit ışıyımlarda FV sisteme ait P-V grafiğı.	32
Şekil 40. Parçalı gölgelenme durumunda P-V eğrileri (a) ters paralel diyotsuz, (b) ters paralel diyotlu	32
Şekil 41. Merkezi evirici mimari prensip devre şeması	33
Şekil 42. Dizi düzeyinden MGNİ mimarisi	34
Şekil 43. Modül tabanlı MGNİ mimarisi prensip devre şeması.	34
Şekil 44. Alt-modül tabanlı MGNİ mimari prensip devre şeması	35
Şekil 45. (a) BUFV sistem görünümü (URL-8, 2022), (b) BEFV sistem görünümü (URL-9, 2015).	36
Şekil 46. EN 50583 standardına göre FV sistemlerin binalarda entegre çeşitleri.	38
Şekil 47. FV sistemlerin binalara entegre yöntemlerinin sınıflandırılması	39
Şekil 48. BEFV'nin süreksiz çatı sisteminde uygulanması (URL-12, 2019).	40
Şekil 49. Solar kiremit çeşitlerine ait görseller: (a) (URL-14, 2019), (b) (URL-15, 2022), (c) (URL-16, 2022).	40
Şekil 50. (a) Bell Works, Bell laboratuvarı (b) Şanser şeridi (URL-17, 2019).	41
Şekil 51. Yağmur perde cephe görünümü (Pillai vd., 2022).	42
Şekil 52. Giydirme Duvar Cephe görünümü (URL-18, 2022).	42
Şekil 53. Çift cam katmanlı cephe (PVPS, 2021), (URL-19, 2019).	43

Şekil 54. Prefabrik cephe malzemesi görünümü (sol), maket proje üzerinde uygulama görünümü (sağ) (Chen vd., 2023).....	44
Şekil 55. Çatı korkuluğu tipi BEFV sistem örneği.....	44
Şekil 56. Balkonlarda FV sistemlerin entegre edilmiş görünümü (URL-21, 2017).....	45
Şekil 57. Gölgelek çatısında FV sistem entegre görünümü (URL-22, 2020).....	45
Şekil 58. Otopark alanlarında BEFV'nin gölgeleklerde kullanımı (URL-23, 2012).....	46
Şekil 59. Güneş kontrol mekanizmalarının seri (a) ve paralel (b) olarak monte edilmesi (URL-24, 2023).	46
Şekil 60. Çatıya entegre FV sistem örneği.....	47
Şekil 61. FV modüllerdeki farklı ışınlamalar için kullanılan renk şablonu	47
Şekil 62. DA-DA yükseltici dönüştürücü a) temel devre şeması, b) yarı iletken anahtarın iletim durumu, c) yarı iletken anahtarın kesim durumu.....	49
Şekil 63. Merkezi MGNİ mimarisi için Simulink modelinin ekran görünümü	52
Şekil 64. Senaryo-1 için FV sistemin renk şablonuna göre görünümü	54
Şekil 65. Merkezi MGNİ mimarisi Senaryo-1 için simülasyon sonuçları: (a) FV sistem akım değişimi (b) FV sistem güç değişimi, (c) FV sistem gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi.....	55
Şekil 66. Merkezi MGNİ mimarisi için Senaryo-2'de parçalı gölgelenmenin görünümü	56
Şekil 67. Merkezi MGNİ mimarisi Senaryo-2 için simülasyon sonuçları: (a) FV sistem akım değişimi, (b) FV sistem güç değişimi, (c) FV sistem gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi.....	57
Şekil 68. Merkezi MGNİ mimari Senaryo-3'te parçalı gölgelenmenin görünümü	58
Şekil 69. Merkezi MGNİ mimarisi Senaryo-2 için simülasyon sonuçları: (a) FV sistem akım değişimi, (b) FV sistem güç değişimi, (c) FV sistem gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi.....	59
Şekil 70. Modül tabanlı MGNİ mimarisi için SIMULINK modelinin ekran görünümü	60
Şekil 71. Modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo-1 için simülasyon sonuçları: (a) FV modül akım değişimi, (b) FV modül güç değişimi, (c) FV modül gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi	61
Şekil 72. Modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo-2'de birinci grup modüllerin simülasyon sonuçları: (a) FV modül akım değişimi, (b) FV modül güç değişimi, (c) FV modül gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi	62

Şekil 73. Modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo-2’de ikinci grup modüllerin simülasyon sonuçları: (a) FV sistem akım değişimi, (b) FV sistem güç değişimi, (c) FV sistem gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi	63
Şekil 74. Modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo-3’te FV modül-1 için simülasyon sonuçları: (a) FV modül akım değişimi, (b) FV modül güç değişimi, (c) FV modül gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi.....	64
Şekil 75. Modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo-3’te FV modül-2 için simülasyon sonuçları: (a) FV modül akım değişimi, (b) FV modül güç değişimi, (c) FV modül gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi.....	65
Şekil 76. Modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo-3’te FV modül-3 için simülasyon sonuçları: (a) FV modül akım değişimi, (b) FV modül güç değişimi, (c) FV modül gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi.....	65
Şekil 77. Modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo-3’te FV modül-4 için simülasyon sonuçları: (a) FV modül akım değişimi, (b) FV modül güç değişimi, (c) FV modül gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi.....	65
Şekil 78. Modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo-3’te FV modül-5 için simülasyon sonuçları: (a) FV modül akım değişimi, (b) FV modül güç değişimi, (c) FV modül gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi.....	66
Şekil 79. Modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo-3’te FV modül-6 için simülasyon sonuçları: (a) FV modül akım değişimi, (b) FV modül güç değişimi, (c) FV modül gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi.....	66
Şekil 80. (a) FV modül, (b) alt-modül ve (c) farklı ışınlara maruz kalan alt-modüller	68
Şekil 81. Alt-modül tabanlı MGNİ mimarisi için SIMULINK modelinin ekran görünümü	68
Şekil 82. Alt-modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo-1 için simülasyon sonuçları: (a) FV alt-modül akım değişimi, (b) FV alt-modül sistem güç değişimi, (c) FV alt-modül gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi.....	69
Şekil 83. Alt-modül MGNİ mimari Senaryo-2’de parçalı gölgelenmenin görünümü ..	71
Şekil 84. Alt-modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo-2 simülasyon sonuçları: (a) FV alt- modül-1, (b) FV alt-modül-10, (c) FV alt-modül-2, (d) FV alt-modül-11, (e) FV alt- modül-3 ve (f) FV alt-modül-12	72
Şekil 85. Alt-modül MGNİ mimarisinde Senaryo 3’de parçalı gölgelenmenin görünümü	75

Şekil 86. Alt-modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo-3 simülasyon sonuçları: (a) Alt-modül-1, (b) Alt-modül-4, (c) Alt-modül-2, (d) Alt-modül-5, (e) Alt-modül-3 ve (f) Alt-modül-6.....	75
Şekil 87. Alt-modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo-3 simülasyon sonuçları: (a) Alt- modül-7, (b) Alt-modül-10, (c) Alt-modül-8, (d) Alt-modül-11, (e) Alt- modül-9 ve (f) Alt-modül-12.....	76
Şekil 88. Alt-modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo-3 simülasyon sonuçları: (a) Alt- modül-13, (b) Alt-modül-16, (c) Alt-modül-14, (d) Alt-modül-17, (e) Alt- modül-15 ve (f) Alt-modül-18.....	76
Şekil 89. Farklı ışınımların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimari için SIMULINK modelinin ekran görünümü	77
Şekil 90. Farklı ışınımların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimari çalışması Senaryo-1 simülasyon sonuçları: (a) FV modül akım değişimi, (b) FV modül güç değişimi, (c) FV modül gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi.....	78
Şekil 91. Farklı ışınımların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimari çalışması Senaryo-2’de FV modül-1 için simülasyon sonuçları: (a) FV modül akım değişimi, (b) FV modül güç değişimi, (c) FV modül gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi.....	80
Şekil 92. Farklı ışınımların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimari çalışması Senaryo-2’de FV modül-4 için simülasyon sonuçları: (a) FV modül akım değişimi, (b) FV modül güç değişimi, (c) FV modül gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi.....	81
Şekil 93. Farklı ışınımların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimari çalışması Senaryo-3’de FV modül-1 için simülasyon sonuçları: (a) FV modül akım değişimi, (b) FV modül güç değişimi, (c) FV modül gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi.....	84
Şekil 94. Farklı ışınımların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimari çalışması Senaryo-3’de FV modül-2 için simülasyon sonuçları: (a) FV modül akım değişimi, (b) FV modül güç değişimi, (c) FV modül gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi.....	84
Şekil 95. Farklı ışınımların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimari çalışması Senaryo-3’de FV modül-3 için simülasyon sonuçları: (a) FV modül akım değişimi, (b) FV modül güç değişimi, (c) FV modül gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi.....	85

- Şekil 96. Farklı ışınlımların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimari çalışması Senaryo-3’de FV modül-4 için simülasyon sonuçları: (a) FV modül akım değişimi, (b) FV modül güç değişimi, (c) FV modül gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi..... 85
- Şekil 97. Farklı ışınlımların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimari çalışması Senaryo-3’de FV modül-5 için simülasyon sonuçları: (a) FV modül akım değişimi, (b) FV modül güç değişimi, (c) FV modül gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi..... 86
- Şekil 98. Farklı ışınlımların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimari çalışması Senaryo-3’de FV modül-6 için simülasyon sonuçları: (a) FV modül akım değişimi, (b) FV modül güç değişimi, (c) FV modül gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi..... 86
- Şekil 99. Tarama yöntemi ile merkezi MGNİ mimari Senaryo-1 için simülasyon sonuçları: (a) FV modül akım değişimi, (b) FV modül güç değişimi, (c) FV modül gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi..... 88
- Şekil 100. Tarama Yöntemi ile Modül tabanlı MGNİ Mimari Senaryo-1 için simülasyon sonuçları: (a) FV modül akım değişimi, (b) FV modül güç değişimi, (c) FV modül gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi 89

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Diyot kalite faktörü
AA	: Alternatif akım
Aİ	: Artan iletkenlik
BEFV	: Bina Entegreli Fotovoltaik Sistem (Building Integrated Photovoltaics (BIPV))
BUFV	: Bina Uygulamalı Fotovoltaik Sistem (Building Applied Photovoltaics (BAPV))
BM	: Bulanık mantık
C	: Kondansatör (μF)
C _{GİRİŞ}	: DA-DA yükseltici dönüştürücüde kullanılan giriş kondansatörü (F)
C _{ÇIKIŞ}	: DA-DA yükseltici dönüştürücünün kullanılan çıkış kondansatörü (F)
D	: Görev oranı
DA	: Doğru akım
D _{BAŞLANGIÇ}	: Görev oranının başlangıç değeri
D _{MAX}	: Görev oranının en yüksek değeri
D _{MIN}	: Görev oranının en düşük değeri
D _{TARAMA}	: Tarama işlemi için doluluk oranı adım aralığı
D&G	: Değiştir gözle
EPDK	: Enerji Piyasası Denetleme Kurumu
Fotovoltaik	: FV
Hibrit-Aİ	: Hibrit artan iletkenlik
I _O	: Diyot doyum akımı (A)
I _Ç	: Dönüştürücünün çıkış akımı (A)
I _D	: Diyot akımı (A)
I _{FV}	: FV hücrenin çıkış akımı (A)
I _G	: Dönüştürücünün giriş akımı (A)
I _{MGN}	: FV hücrenin MGN'deki akım değeri (A)
I _p	: R _p direnci üzerinde oluşan akım (A)
I _{PH}	: Güneş ışınımına bağlı foton akımı (A)
I _{SC}	: Kısa devre akımı (A)
I _{SCN}	: Standart test koşulları için kısa devre akımı (A)
k	: Boltzmann sabiti ($1.38065 \cdot 10^{-25}$ J/K)

K_I	: Kısa devre akımının sıcaklığa bağlı değişim katsayısı (mA/°C)
L	: Endüktans (mH)
MGN	: Maksimum güç noktası
$MGN\dot{I}$	: Maksimum güç noktası izleme
$P_{anlık,guc,i}$	: FV modülün çıkışındaki anlık güç değeri (W)
$P_{teorik,n}$	: FV modülün çıkışındaki gücün teorik değeri (W)
P_{MGN}	: FV hücrenin MGN'deki güç değeri (W)
R_p	: İç kayıpların temsili için kullanılan paralel direnç (Ω)
R_s	: İç kayıpların temsili için kullanılan seri direnç (Ω)
T_C	: FV hücre sıcaklığı (°C)
t_D	: Yarı iletkenin iletim süresi, (μs)
t_p	: Yarı iletkenin anahtarlama periyodu (μs)
T_{REF}	: Standart test koşulları için kullanılan sıcaklık (25 °C)
$V_{\dot{C}}$	: Dönüştürücünün çıkış gerilimi (V)
V_D	: Diyot gerilimi (V)
V_G	: Dönüştürücünün giriş gerilimi (V)
V_{FV}	: FV hücrenin çıkış gerilimi (V)
V_L	: Dönüştürücüdeki endüktansın gerilimi (V)
V_{MGN}	: FV hücrenin MGN'deki gerilim değeri (V)
YSA	: Yapay sinir ağları
Q	: Elektron yükü ($1.602 \cdot 10^{-19}$ C)
Q	: Anlık güneş ışıınımı (radyasyon) (W/m ²)
Q_{REF}	: Standart test koşulları için kullanılan ışıınım (1000W/m ²)
$W_{toplam,n}$	: Bir periyottaki anlık güç miktarlarının toplamı (Wh)
$\Delta V_{\dot{C}}$	: Kondansatör gerilim dalgalılığı (V)
ΔI_L	: Endüktans akım dalgalılığı (A)
ΔI_{Ln}	: Endüktans akımı negatif değişimi (A)
ΔI_{Lp}	: Endüktans akımı pozitif değişimi (A)
f_p	: Anahtarlama frekansı (Hertz)
η	: MGN $\dot{I}$ verimi (%)
ΔD	: Doluluk oranı adım miktarı

1. GİRİŞ

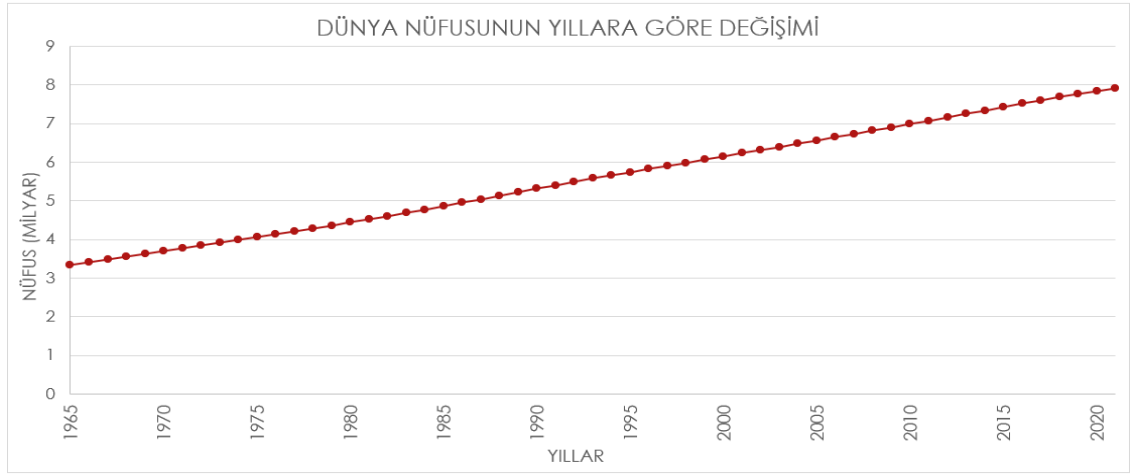
Dünya nüfusundaki artışa bağlı olarak elektrik enerjisine olan ihtiyaç da artmıştır. Elektrik enerjisinin kullanımı sayesinde insanların refah seviyesi yükselmekte, sanayi çalışmaları için gerekli olan enerji ihtiyacı karşılanmakta, ülkelerin ekonomik ve sosyal-kültürel seviyeleri yükselmektedir. Günümüzde elektrik enerjisi üretimi çoğunlukla fosil kaynakların kullanımı ile sağlanmaktadır. Fakat fosil kaynakların kısıtlı olması, erişilebilir olması bakımında sorunlar taşıması, enerji maliyetlerindeki artış, teknoloji ve sanayideki gelişmeler artan elektrik enerji talebinin karşılanması bakımından problemlere neden olmaktadır. Artan elektrik enerjisi talebi sorununa çözüm olarak bilim insanları alternatif enerji kaynakları arayışına başlamış ve yenilenebilir enerji kaynaklarına eğilim artmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisine kolaylıkla erişim sağlanılır.

1.1. Enerji

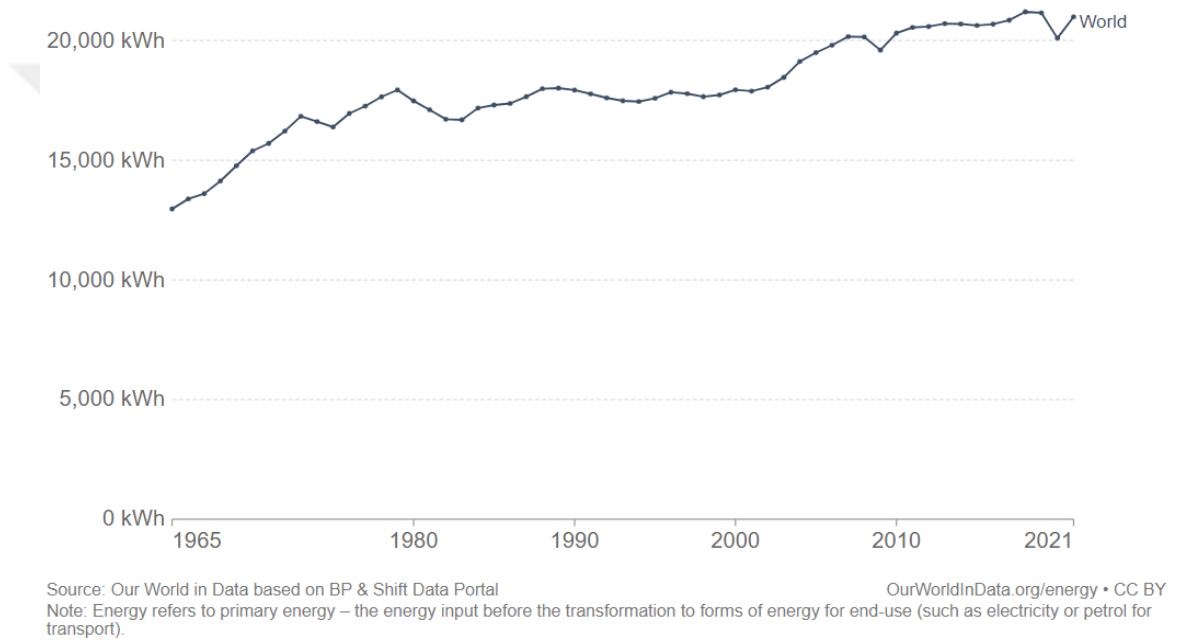
Enerji tüketim miktarı, ülkelerin gelişmişlik düzeylerini gösteren önemli bir parametredir. Enerjinin tüketiminin yanında enerji çeşitliliği de ülkelerin ekonomik ve sosyal bakımdan gelişmişlik düzeyini belirleyen bir kriter olarak öne çıkarılabilir. Sanayinin gelişmesi, dünya nüfusunun artması ve teknolojinin gelişmesiyle beraber enerjiye olan ihtiyaç artırmaktadır. Birleşmiş Milletler-Dünya Nüfus Beklentileri (United Nations - World Population Prospects) araştırmalarına göre 1965 yılında Dünya nüfusu 3.3 milyar civarındayken yaklaşık %237'lik bir artışla 2021 yılında yaklaşık olarak 7.9 milyar seviyesine ulaşmıştır (United Nations, 2023). Dünya nüfusunun yıllara göre değişimi Şekil 1'de gösterilmektedir.

1965-2021 yılları arasında Dünya'da kişi başına düşen enerji kullanımı Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekil 2 incelendiğinde bazı yıllarda kişi başına düşen enerji miktarı azalsa bile genel olarak bir artış olduğu görülmektedir. Dünya nüfusunun artmasıyla birlikte ihtiyaç duyulan enerjinin de artış göstermesi beklenen bir durumdur.

Al-Wadei (2021)'nin yüksek lisans çalışmasında, enerji üretiminde kullanılan fosil kaynakların plansız bir şekilde kullanılması, kaynakların ulaşılabilirliğinin zor ve tükenebilir olması ve hava kirliliğine sebep olmasından dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarına olan eğilimlerin arttığı belirtilmiştir (Al-Wadei, 2021).



Şekil 1. Dünya nüfusunun yıllara göre değişimi



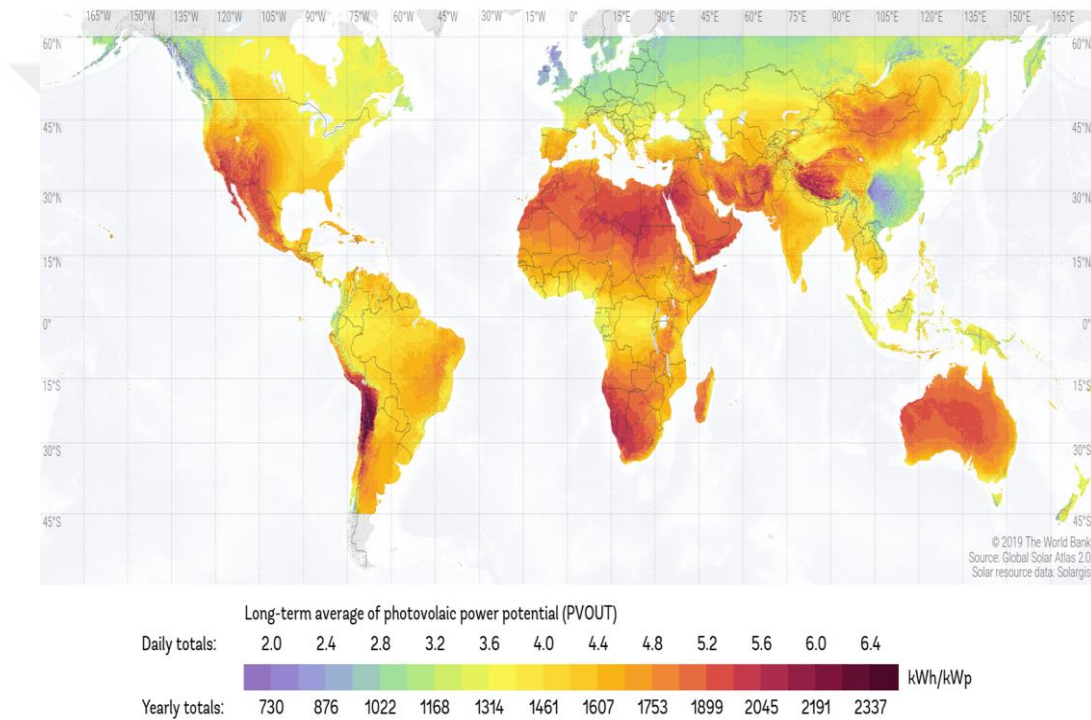
Şekil 2. 1965-2021 yılları arasında Dünya’da kişi başına düşen enerji kullanımı (Our World in Data, 2022).

Kaya ve Koç (2015) tarafından yapılan çalışmada, enerji kaynaklarının kullanımı yenilenemez enerji ve yenilenebilir enerji, dönüştürülebilir olmalarına göre ise birincil ve ikincil enerji kaynağı olmak üzere iki başlık altında incelenmiştir. Birincil enerji, enerjinin bir değişim veya dönüştürme işlemi geçirmemiş hali olarak tanımlanmaktadır. Kaynakların değişim geçirmesi ile elde edilen enerji ise ikincil enerji kaynağı olarak belirtilmektedir. Yenilenemeyen enerji kaynakları fosil kaynaklı olup, kömür, doğalgaz, petrol, toryum ve uranyum olarak sıralanabilir. Yenilenebilir enerji kaynakları ise rüzgâr, güneş, hidroelektrik, dalga, jeotermal ve hidrojen şeklinde örneklendirilebilir.

1.2. Dünya’da Enerji Kullanımı

1.2.1. Dünya’da Güneş Enerjisi Kapasitesi

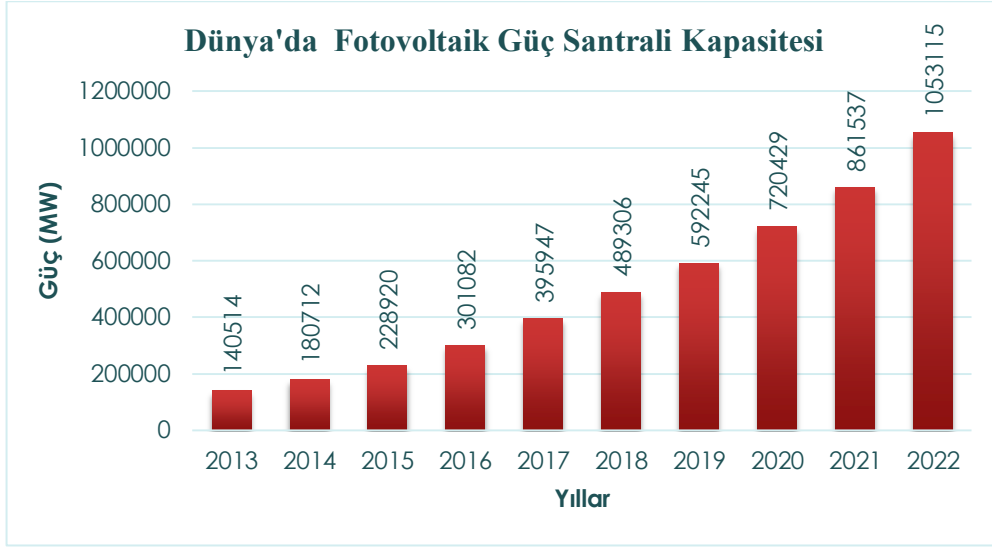
Yıl içerisinde güneş ışınımının en uzun sürede ve en iyi açıyla alan ortamlar güneş enerjisinden elektrik üretimi için en uygun bölgelerdir (Koryürek, 2008). Şekil 3’de Dünya’nın güneş enerjisi potansiyel atlası yer almakta ve mor renkten kırmızı renge doğru gidildikçe güneş ışınımının artmakta, ters yönde devam edildikçe güneş ışınımının azalmaktadır. Ekvator bölgesinde güneş ışınım değerleri yüksek iken kutup bölgesine doğru ışınımın azaldığı ve güneş enerjisi potansiyelinin düştüğü görülmektedir.



Şekil 3. Dünya güneş enerjisi atlası (Global Solar Atlas, 2019).

Dünya’da FV temelli güneş enerjisi santrali kapasitesi 2013 yılında 140.51GW iken, 2022 yılında 1053.11GW’a ulaşmıştır. Belirtilen yıllar arasındaki kapasitenin yıllara göre dağılımı Şekil 4’de gösterilmektedir (IRENA, 2023). Güneş enerjisi kapasitesinin ilerleyen yıllarda artarak devam edeceği öngörülmektedir.

IRENA’nın 2023 yılında yenilenebilir enerji kapasitesi istatistikleri (Renewable Capacity Statistics) adlı çalışmasında ülkelerin FV temelli güneş enerjisi santrali güç kapasiteleri verilmiştir. Tablo 1’de özetlenen listeye göre en yüksek kapasiteye sahip ülkeler Çin, Amerika Birleşik Devletleri, Japonya, Almanya ve Hindistan’dır. Bu listede Türkiye 9246MW güç kapasitesi ile 16. sırada yer almaktadır.



Şekil 4. Dünyada FV temelli güneş enerjisi santrali güç kapasitesinin 2013-2022 yılları arasındaki değişimi

Tablo 1. 2022 yılı Dünya güneş enerji kapasitesi en yüksek beş ülke

Ülke	Kapasite (MW)
Çin	393032
Amerika Birleşik Devletleri	113015
Japonya	78833
Almanya	66554
Hindistan	63146

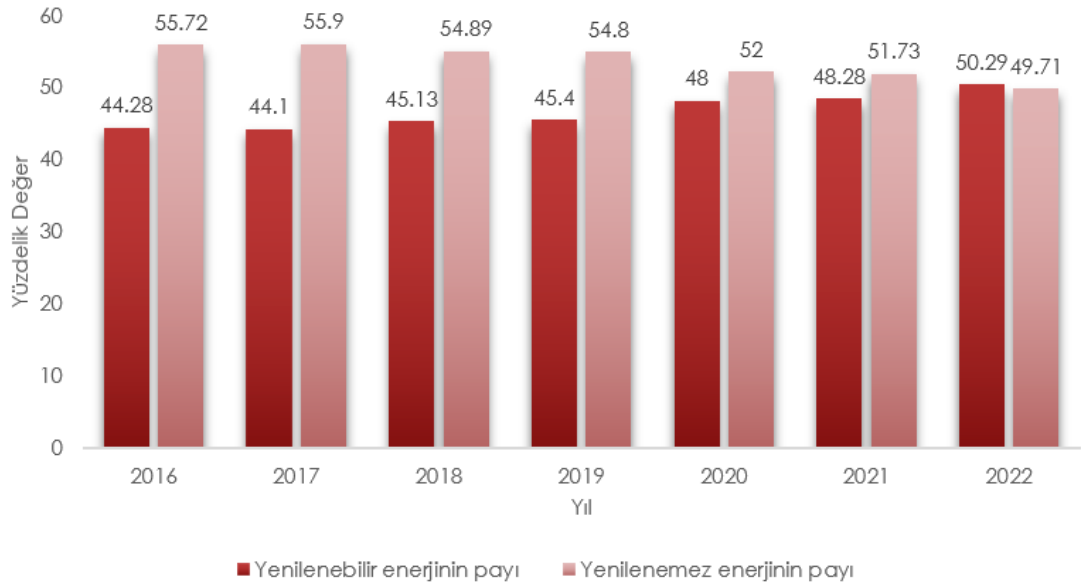
1.3. Türkiye’de Enerji Kullanımı

Elektrik santralının üretebileceği maksimum güç değeri kurulu güç olarak tanımlanır. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu (EPDK)’nın 2016-2022 yılları için paylaştığı Elektrik Piyasası Gelişim Raporları incelendiğinde ilerleyen yıllarda lisanslı kurulu güçte artış olacağı öngörülmüştür. Tablo 2’de 2016-2022 yılları arasında kaynaklara göre kurulu güç değişimleri listelenmiştir. Lisanslı kurulu gücün içerisinde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı 2016 yılında %44.28 iken 2022 yılında bu pay %50.29 olarak gerçekleşmiş olup, genel eğilim sürekli bir artış görünümündedir. Kurulu güce göre yenilenebilir enerji ve yenilenemez enerjinin yıllar içindeki değişimi Şekil 5’de verilmiştir.

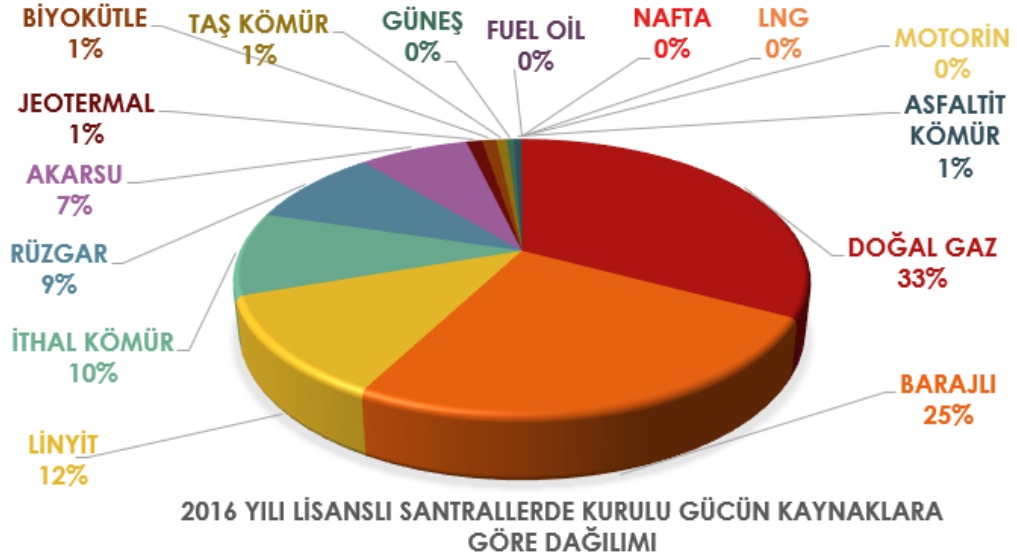
Ülkemizin 2016 ve 2022 yıllarına ait lisanslı sanjallerin kurulu güç dağılımı kaynak bazında incelendiğinde, 2022 yılında yenilenemez enerji kaynaklarında azalma ve yenilenebilir enerji kaynaklarında ise artma olduğu görülebilir. 2016 yılına ait kaynaklara göre kurulu gücün yüzdelik dağılımları Şekil 6’da, 2022 yılına ait yüzdelik dağılımlar ise Şekil 7’de gösterilmiştir.

Tablo 2. 2016-2022 yıllarında Türkiye’deki lisanslı santrallerin kurulu güç değerleri (EPDK, 2023).

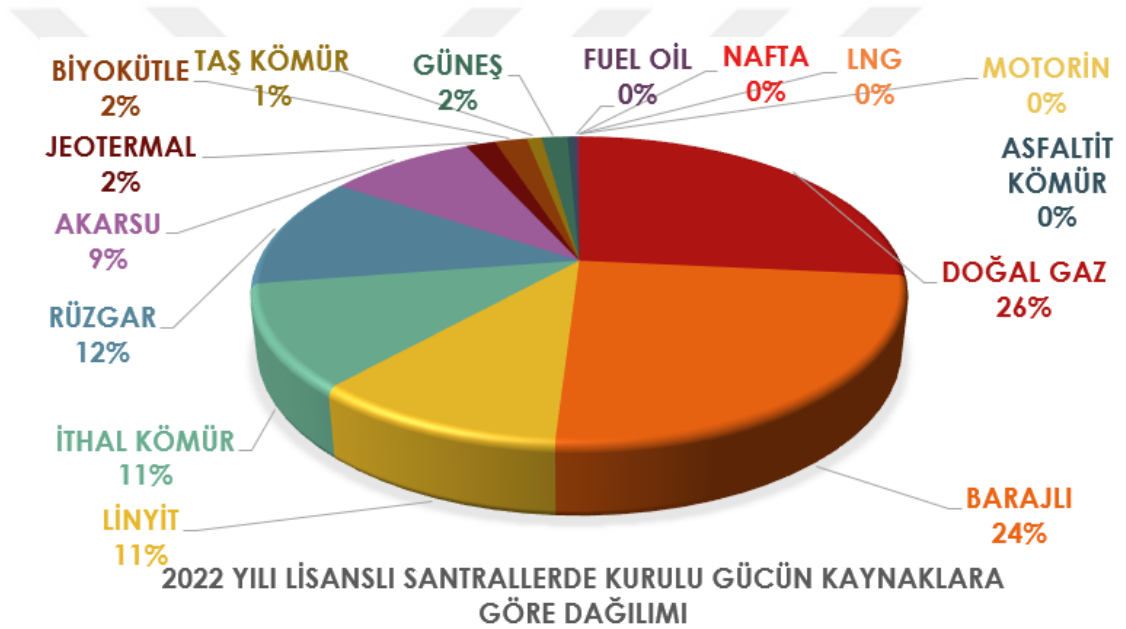
Kaynak türü	2016 değeri (MW)	2017 değeri (MW)	2018 değeri (MW)	2019 değeri (MW)	2020 değeri (MW)	2021 değeri (MW)	2022 değeri (MW)
Doğal gaz	25348.52	26311.8	25731.93	25936.72	25639.26	25501.51	25242.09
Barajlı	19525.12	19746.05	20534.8	20619.42	22925.03	23280.37	23275.23
Linyit	9266.9	9267.12	9597.12	10101.03	10119.92	10533.9	10191.52
İthal kömür	7616.35	8936.35	8938.85	8966.85	8986.85	10119.92	10373.8
Rüzgâr	7146.13	7509.98	7748.9	7520.28	8761.57	8993.8	11314.59
Akarsu	5735.9	6482.12	6942.27	7877.23	8050.23	8198.23	8279.83
Jeotermal	820.86	1063.73	1282.52	1514.69	1613.19	1676.17	1691.34
Biyokütle	755.49	702.77	616.15	724.62	1031.88	1555.41	1831.4
Taş kömür	559.57	616.15	590.92	810.77	810.77	840.77	840.77
Güneş	362.98	439.72	405	169.69	409.8	907.85	1468.8
Asfaltit kömür	405	405	709.21	405	405	405	405
Fuel oil	12.9	17.9	81.66	305.93	305.93	251.93	251.93
Nafta	4.74	4.74	4.74	4.74	4.74	4.74	4.74
Lng	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95
Motorin	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
Genel toplam	77563.44	81506.42	83187.05	84959.96	89067.14	92272.58	95174.01



Şekil 5. Yenilenebilir ve yenilenemeyen enerjinin kurulu güçteki payının yıllara göre değişimi



Şekil 6. 2016 yılı için lisanslı santrallerde kurulu gücün kaynak bazında gösterimi



Şekil 7. 2022 yılı için lisanslı santrallerde kurulu gücün kaynak bazında gösterimi

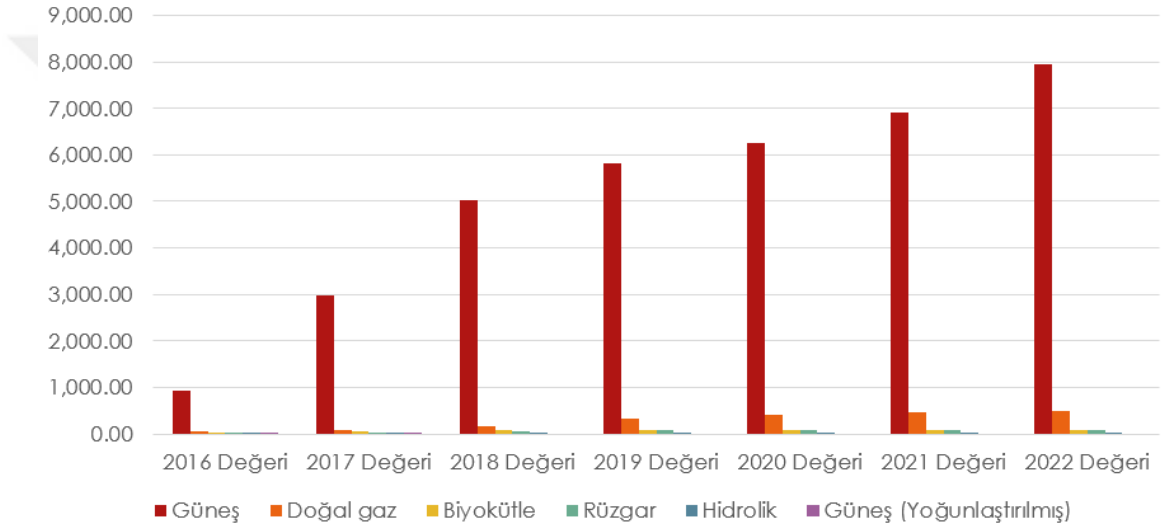
2016-2022 yılları arasındaki kurulu güç değerleri Tablo 3’de verilmiş olup, güneş enerjisi kaynaklı santrallerin lisanssız kurulu güce katkısı 2016 yılında %89.6 iken, bu oran 2022 yılında ise %91.82’dir. Şekil 8’de 2016-2022 yılları arasında lisanssız elektrik santrallerinin kurulu güç değişimi gösterilmektedir.

Lisanssız elektrik santrallerinin kurulu güçlerinin kaynaklara göre payı 2016 ve 2022 yılına göre incelendiğinde; güneş ve doğalgaz kaynaklı santrallerin payının arttığı Şekil 9 ve Şekil 10’da gösterilmiştir.

Tablo 3. 2016-2022 yıllarında Türkiye’deki lisanssız santrallerin kurulu güç değerleri (EPDK, 2023).

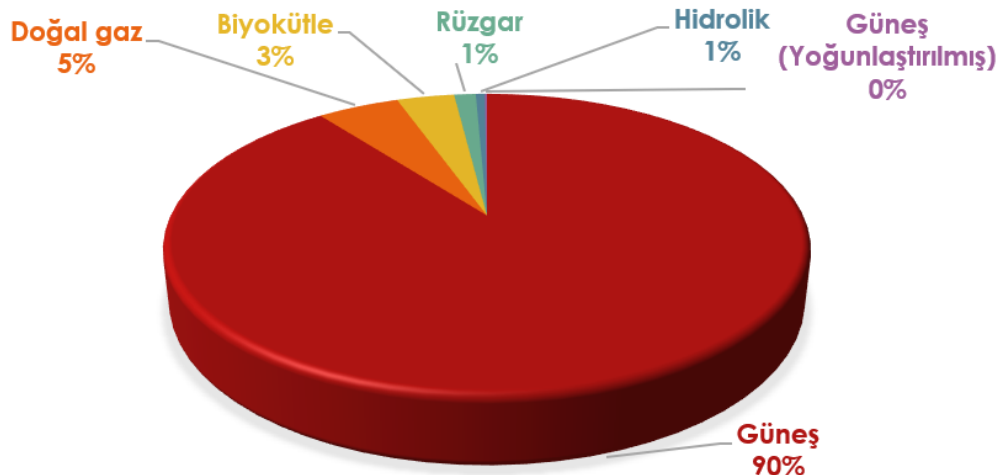
Kaynak türü	2017 değeri (MW)	2017 değeri (MW)	2018 değeri (MW)	2019 değeri (MW)	2020 değeri (MW)	2021 değeri (MW)	2022 değeri (MW)
Güneş	939.19	2978.84	5016.99	5825.46	6257.61	6907.78	7956.64
Doğal gaz	51.85	85.88	153.04	328.66	402.67	463.05	490.7
Biyokütle	36.42	66.72	79.18	75.67	83.71	89.11	89.91
Rüzgâr	13.75	32.2	51.95	70.83	70.83	73.08	81.58
Hidrolik	5.78	8.69	8.91	8.65	8.65	13.98	16.42
Güneş (yoğunlaştırılmış)	1.22	1	-	-	-	-	-
Genel toplam	1048.21	3173.32	5310.57	6309.27	6823.47	7546.99	8635.25

2016-2022 Yılları Arasında Lisanssız Kurulu Güç

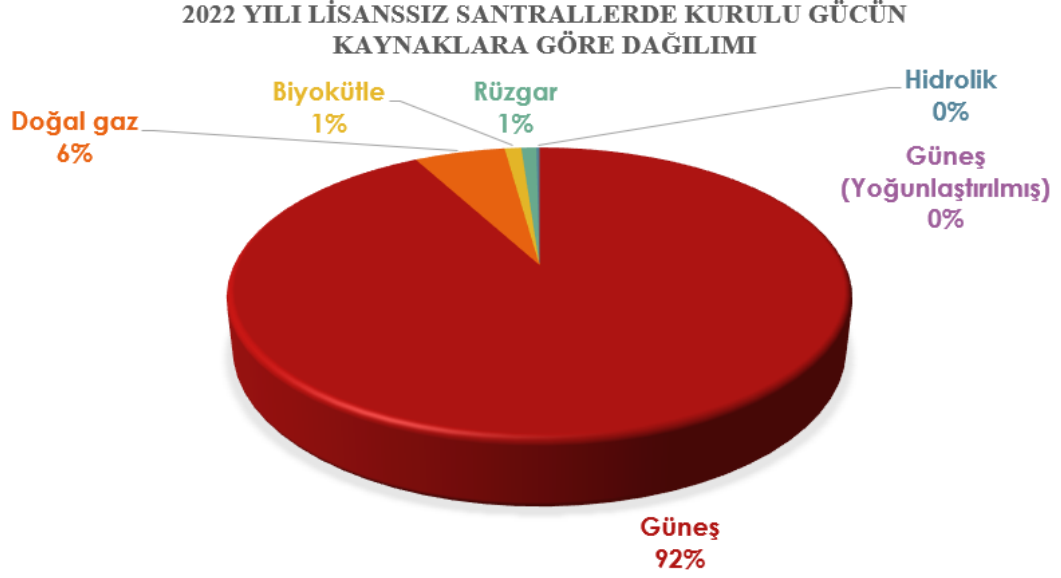


Şekil 8. 2016-2022 yıllarında Türkiye’deki lisanssız santrallerin kurulu güç değerlerinin değişimi.

2016 YILI LİSANSIZ SANTRALLERDE KURULU GÜCÜN KAYNAKLARA GÖRE DAĞILIMI

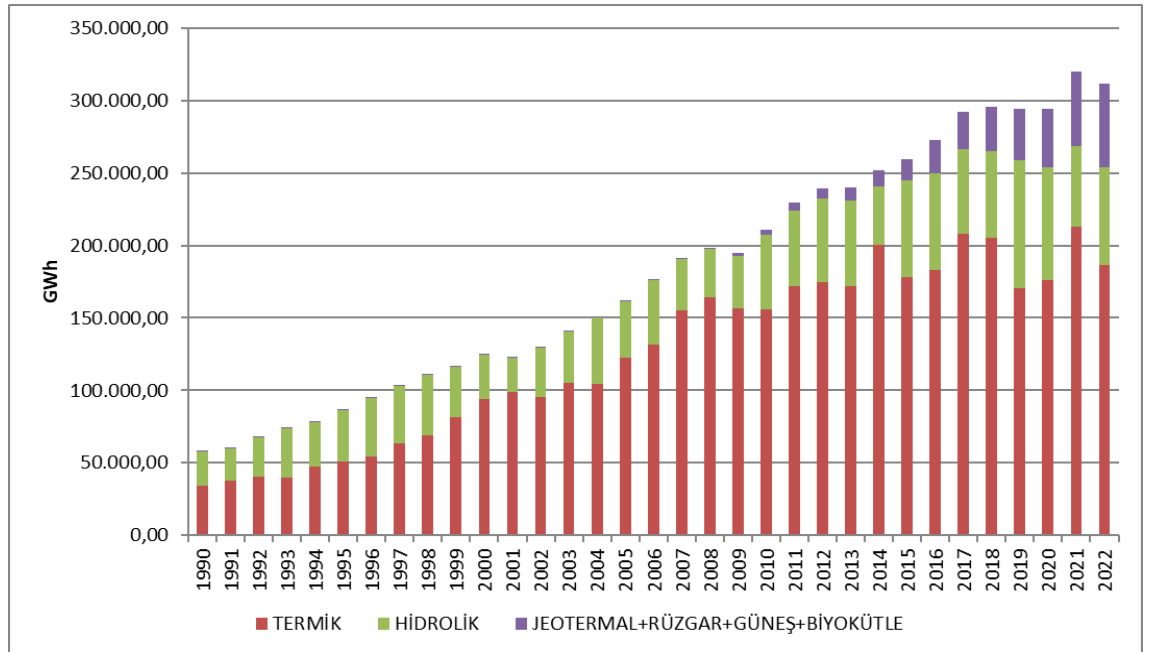


Şekil 9. 2016 yılı lisanssız elektrik santrali kurulu güçlerinin kaynaklara göre dağılımı



Şekil 10. 2022 yılı lisanssız elektrik santrali kurulu güçlerinin kaynaklara göre dağılımı

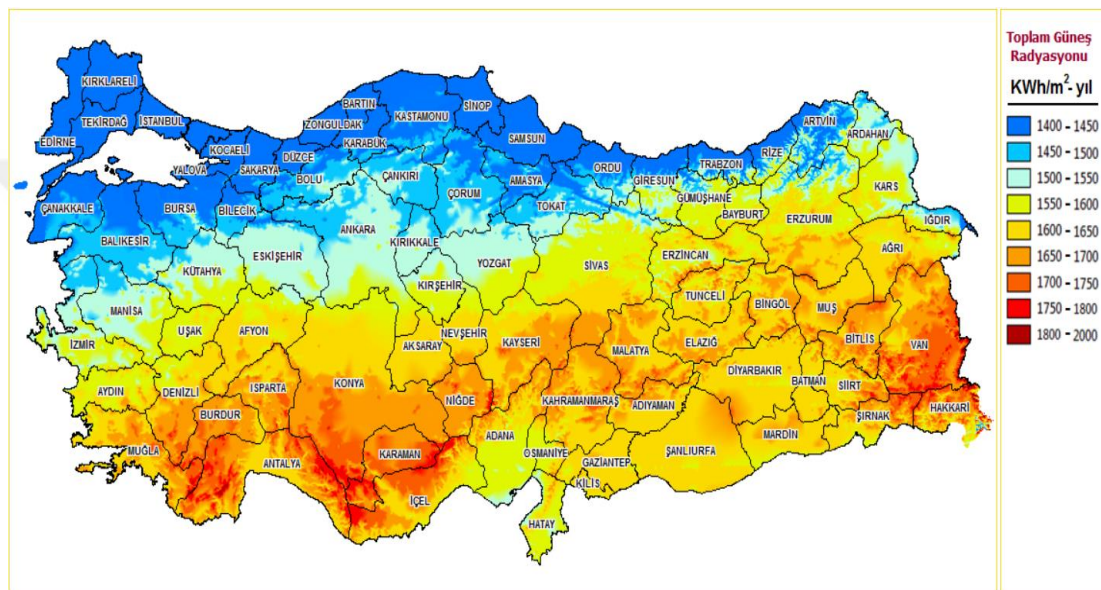
EPDK'nın 2023 yılında yayınladığı Elektrik Piyasası 2021 Yılı Piyasa Gelişim Raporunda, Türkiye'nin 1990-2021 yılları arasında lisanslı elektrik üretiminin kaynak bazında yıllara göre değişimi Şekil 11'de gösterilmektedir. 2000, 2009, 2013 ve 2019 yılları haricinde üretilen enerji miktarı geçmiş yıllara göre sürekli artış göstermiştir. 2009 yılı itibarıyla jeotermal, rüzgar, güneş ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynakları da kullanılarak elektrik üretiminin devam eden yıllarda arttığı görülmektedir.



Şekil 11. 1990-2021 yılları arasında lisanslı elektrik üretiminin kaynak bazında değişimi (GWh) (EPDK, 2023).

1.3.1. Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli

Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli coğrafi konumunun getirdiği avantajlar sayesinde yüksektir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı yapmış olduğu çalışmada Türkiye'nin ortalama toplam güneşlenme süresini 2.741 saat, ortalama yıllık ışıınım değerini ise 1527.46kWh/m² olarak belirtmektedir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022). Ülkemizin güneş enerjisi potansiyeli, Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) ile Şekil 12'de gösterilmiştir. Şekil 12'de ülkemizin güney bölgelerinin güneş enerjisi potansiyeli kuzey bölgelere göre daha yüksek olduğu görülmüştür.



Şekil 12. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA, 2022).

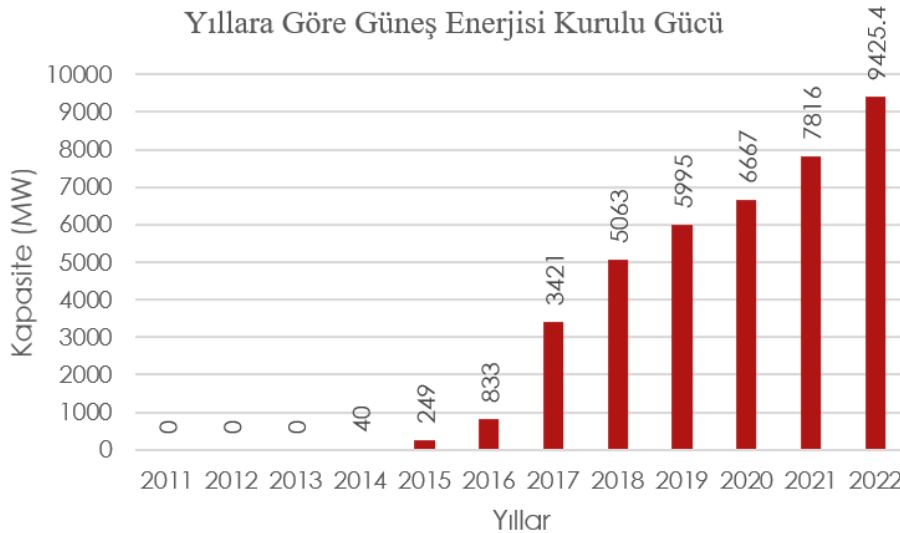
Enerji İşleri Genel Müdürlüğü GEPA tarafından paylaşılan veriler Tablo 4'te sunulmuştur. Türkiye'de en yüksek güneş ışınlam değerleri sırasıyla haziran ayında 6.57kWh/m^2 , temmuz ayında 6.50kWh/m^2 ve mayıs ayında 6.14kWh/m^2 olarak değişmektedir. En düşük değerler ise aralık ayında 1.59kWh/m^2 , kasım ayında 2.14kWh/m^2 ve ekim ayında 3.46kWh/m^2 olduğu görülmüştür. Güneşlenme süresinin en fazla olduğu üç ay sırasıyla temmuz 11.31 saat, haziran 10.81 saat ve ağustos 10.70 saat ve en az olduğu üç ay ise aralık ayın 3.75 saat, kasım 5.15 saat ve ekim 6.87 saat olarak tabloda gösterilmiştir.

Türkiye’de 2011 yılından 2022 yılı sonuna kadar güneş enerjisine dayalı kurulu elektrik gücü kapasitesinin yıllar içinde arttığı Şekil 13’den anlaşılabılır. Güneş enerjisinden elektrik üretimi 2011 yılında başlamış ve 2021 yılında 7816MW olarak belirtilmiştir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022). TEİAŞ Yük Tevzi Dairesi Başkanlığı tarafından paylaşılan Kurulu Güç Raporu-Aralık 2022 yılı raporuna göre

2022 yılı sonunda güneş enerjisine dayalı kurulu güç kapasitesi 9425.4MW olarak ifade edilmiştir (TEİAŞ, 2023).

Tablo 4. Türkiye’de aylara göre ortalama güneş ışıınımı değeri (kWh/m²-gün) ve güneşlenme süresi (saat)

Aylar	Güneş ışıınım değeri (kWh/m ² -gün)	Güneşlenme süresi (saat)
Ocak	1.79	4.11
Şubat	2.5	5.22
Mart	3.87	6.27
Nisan	4.93	7.46
Mayıs	6.14	9.1
Haziran	6.57	10.81
Temmuz	6.5	11.31
Ağustos	5.81	10.7
Eylül	4.81	9.23
Ekim	3.46	6.87
Kasım	2.14	5.15
Aralık	1.59	3.75



Şekil 13. Yıllara göre FV temelli güneş enerjisi santrali kurulu gücü

1.4. Literatür Özeti ve Çalışmanın Amacı

Özdoğan (2005)’ın sunmuş olduğu yüksek lisans tezinde, güneş ışıınımından elektrik enerjisi üretmek için kullanılan FV modüllerin bina kabuğunda kullanımı tasarım yönünden incelenmiştir. Çalışmada FV modüllerin binalara entegre edilmesi hakkında yurtdışındaki örneklere yer verilmiştir. İncelenen binalarda binanın genel özellikleri, FV sistemlerin teknik özellikleri ve yıllık üretilen enerji miktarları

belirtilmiştir. Tez çalışmasının sonucunda FV modüllerin binaya entegre edilme işleminde çatı alanlarında kullanımının yaygın olduğu tespit edilmiştir (Özdoğan, 2005).

Dirks ve arkadaşlarının 2006 yılındaki çalışmasında, kentsel bir bina üzerine statik olarak yerleştirilen FV sistemin performansını, FV modül sıcaklıklarını ve güneş ışınım miktarlarını ölçen bir izleme sistemi açıklanmıştır. Çalışmanın sonucunda enerji üretimi ilkbahar ve sonbaharın başlangıcında en yüksek, kışın bu iki mevsime göre daha az ve yaz mevsiminde ise en az seviyede olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Dirks vd., 2006).

Baçoğlu (2013) tarafından hazırlanan yüksek lisans tez çalışmasında FV modülden maksimum gücün çekilebilmesi için D&G algoritmali yükseltici DA-DA dönüştürücü kullanmıştır. Geliştirilen yükseltici DA-DA dönüştürücü ile farklı yüklenme ve farklı ışınlamalar altında MGNİ performansı incelenmiştir (Baçoğlu, 2013)

Keskin (2014)'in yüksek lisans tezinde, yükseltici dönüştürücü kullanılarak FV modülün MGN takibi için D&G ve artan iletkenlik (Aİ) algoritmaları farklı ışınlamalar ve yük durumları incelenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Farklı ışınlamalar altında her iki algortmada MGN'ye erişim süresi birbirine yakın olmuştur. Fakat D&G yöntemindeki salınımlar Aİ algoritmasına göre daha fazladır. Işınlam miktarının azalması durumunda D&G algoritması MGN'yi takipte zorlanırken, Aİ algoritması ise MGN'yi takip ettiği ve yüksek ışınlamalarda ise belirtilen algoritma performanslarının birbirlerine yakın olduğu belirtilmiştir. Değişen yük durumunda ise D&G algoritması, Aİ algoritmasına göre daha başarılı olduğu sonucuna varılmıştır (Keskin, 2014).

Ekici (2015) tarafından yapılan çalışmada, Elâzığ ili içerisinde bir binanın farklı cephe yüzeylerinde BEFV sistem ile elektrik üretim performansı incelenmiştir. Yapılan çalışmada PVsyst 6.2.6 programı ile tek kristalli ve çok kristalli FV hücreler ile analiz gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda FV sistemde gölgelenmenin olmadığı şartlar altında en yüksek elektrik enerji üretimi tek kristalli FV hücre teknolojisine ait panellerde olduğu ifade edilmiştir (Ekici, 2015).

Güngör (2018)'in çalışmasında, FV modüllerin MGN'ye ulaşması ve sürekli MGN'de çalışmasını sağlamak için cuk ve yükseltici dönüştürücülerde D&G, Aİ, hibrit Aİ (Hibrit-Aİ), bulanık mantık (BM), yapay sinir ağları (YSA) ve adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi gibi MGNİ algoritmalarını incelemiştir. Ayrıca dönüştürücülerde farklı yükler altında değişen ışınlam ve sabit sıcaklık durumları da irdelenmiştir. Çalışma sonucunda, yükseltici dönüştürücünün yük direncinin FV modülün iç direncinden büyük olması gerektiği cuk dönüştürücü de ise böyle bir ayırım olmadan MGN'de çalıştığı tespit edilmiştir (Güngör, 2018)

Aydoğan (2019)'ın yapmış olduğu yüksek lisans çalışmasında FV modülleri MGN'de çalıştırabilmek için DA-DA yükseltici dönüştürücü kullanmış ve paracak sürü optimizasyonu MGNİ algoritmasını tercih etmiştir. FV modüllere sabit ışınımında değişken sıcaklıklar ve sabit sıcaklık değişken ışınımlar uygulanarak, yükseltici dönüştürücünün giriş ve çıkış akımları, üretilen g leri ve gerilimleri analiz edilmiştir. Çalışmanın sonucunda sabit ışınım, değişken sıcaklıklar altında yükseltici dönüştürücüde sıcaklığın artmasıyla beraber akım değerinin doğru orantılı, g  ve gerilim değerlerinin ise ters orantılı olarak değiştiği, sabit sıcaklık ve değişken ışınımlar uygulandığında ışınım miktarının artmasıyla birlikte gerilimin akıma göre daha az miktarda arttığı belirtilmiştir (Aydoğan, 2019).

Sarkar ve arkadaşları tarafından 2021 yılında yapılan çalışmada BEFV sistemlerinde D&G, AI ve BM kontrolü gibi üç farklı MGNİ algoritması kullanılmış ve performans analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda D&G algoritması en az karmaşıklığa ve ekonomik özelliklerinden dolayı tercih edilebilir olduğu belirtilmiştir. AI algoritması, orta düzeyde karmaşıklık ve sistemin MGN'de çalışma işlemi yüksek doğrulukta gerçekleştiği ifade edilmiştir. Son olarak BM kontrolü algoritmasında, MGN'ye diğer algoritmalara göre daha kısa sürede ulaşmış ve yüksek düzeyde karmaşık olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Sarkar vd. 2021).

Literatür alışmaları incelendiğinde FV sistemde MGNİ algoritmaları kullanılarak üretilen güç miktarını artırma üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. Ayrıca BEFV sistemlerinde de farklı algoritmaların kullanımı ile performans analizleri yapılmıştır. Bu tez çalışmasında diğer çalışmalardan farklı olarak BEFV sistemlerde aşırı gölgelenme durumlarında farklı MGNİ mimarilerinin enerji üretim performansları incelenmiştir. Tez alışmasında, MATLAB/SIMULINK'te FV modüllerin ve yükseltici DA-DA dönüştürücünün tasarımı gerçekleştirilmiş ve D&G algoritması ile MGNİ sağlanmıştır. Merkezi MGNİ, modül tabanlı MGNİ, alt-modül tabanlı MGNİ mimarileri ile simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Simülasyon alışmaları temel olarak FV modüllerin maruz kaldığı güneş ışınım şiddetleri ile ilgili üç senaryo çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Bu senaryolar sırasıyla normal şartlar, hafif ve şiddetli parçalı gölgelenme olup, ışınım değerleri rastgele seçilmiştir. Üç farklı ışınım senaryosu her MGNİ mimarisinde çalıştırılıp, simülasyon sonuçları irdelenmiştir.

Çalışmanın birinci kısmında Dünya'da ve Türkiye'de enerji kullanımı, güneş enerjisi potansiyeli, literatür  zeti ve çalışmanın amacı belirtilmiştir. İkinci kısımda FV hücre ve eşitleri, FV sisteminin matematiksel modeli, FV hücre karakteristikleri, FV hücreye ait akım, gerilim ve g  eğrileri ve FV sistem mimarileri açıklanmıştır.   nc 

kısımda BEFV ve binaya uygulamalı FV (BUFV) sistemlerin tanımları, avantaj ve dezavantajları, BEFV sistemlerin tarihsel gelişimi ve binadaki kullanım alanları tanımlanmıştır. Dördüncü kısımda MATLAB/SIMULINK’de farklı MGNİ mimariler için üç farklı ışıınım senaryosuna göre simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. MGNİ mimarilerinin farklı senaryolarda sağladığı MGNİ verimleri incelenmiş ve son olarak P-V eğrisinin taranmasına dayalı tarama yöntemine dair yaklaşım izah edilerek simülasyon sonuçları değerlendirilerek sonuçlar verilmiştir.

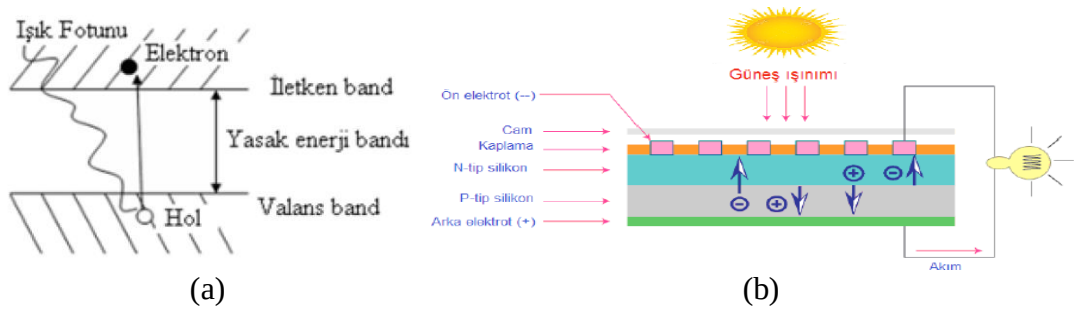


2. FV SİSTEMLER

2.1. FV Hücre

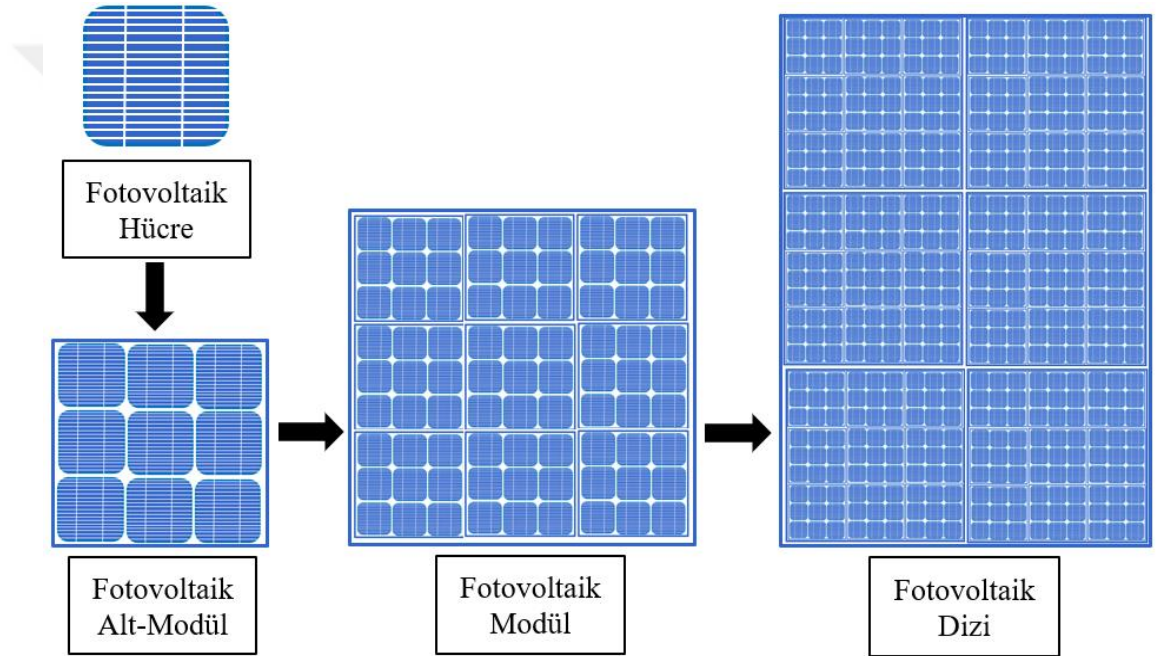
Einstein, ışığı foton adı verilen enerji paketleri formunda hareket ettiğini tanımlamıştır. Güneş ışınımı fotonların birleşmesiyle oluşmakta ve enerji taşımaktadır. Fotonlar taşıdığı enerji ile yarı iletkenlerdeki elektronları uyararak elektrik akımı oluşturmakta ve bu durum “FV Etki” olarak tanımlanmaktadır. FV etkinin tanımı ilk kez Fransız fizikçi Alexandre-Edmond Becquerel tarafından 1839 yılında paylaşılan makalede ifade edilmiştir. Becquerel makalesinde, katı elektrotu sıvı elektrolit çözeltiye daldırmakta ve katı elektrot üzerine ışık düştüğünde elektrot uçlarında gerilim oluşturduğunu belirterek açıklamaktadır. 1883 yılında %1 verimden daha düşük ilk güneş hücresi Charles Fritts tarafından üretilmiştir (Karakaya, 2021).

FV hücre yapısı yasak enerji bandı, n ve p tipi yarı iletken malzemeden oluşmaktadır. Güneş ışığı FV hücre üzerine düştüğünde elektron ve boşluk çiftleri oluşturur. Foton yasak enerji bandından daha yüksek enerjiye sahip ise valans bandındaki bir elektronun enerji seviyesini yükselterek yasak enerji bandına atlamasını sağlar. Daha sonra elektron iletkenlik bandına geçmekte ve n tipi yarı iletken bir adet elektron, p tipi yarı iletken ise bir adet boşluk oluşmaktadır. Güneş hücresinde, FV etkinin devam etmesinden dolayı n tipi yarı iletken elektronlar, p tipi yarı iletken ise boşluklar meydana gelir. n tipi ve p tipi yarı iletken elektrik devresi ile birleştirildiğinde, n tipi yarı iletkenindeki elektronlar devre üzerinden boşluklara doğru hareket eder. Elektronların hareketi sonucu elektrik akımı oluşmakta ve Şekil 14 (a)’da bu durum verilmiştir (Çalışkan, 2011). Güneş hücresinin çalışma prensibi Şekil 14 (b)’de gösterilmektedir.



Şekil 14. (a) Foton enerjisi ile elektron çiftinin oluşumu (Çalışkan, 2011), (b) Güneş hücresi çalışma prensibi (Arhan, 2022).

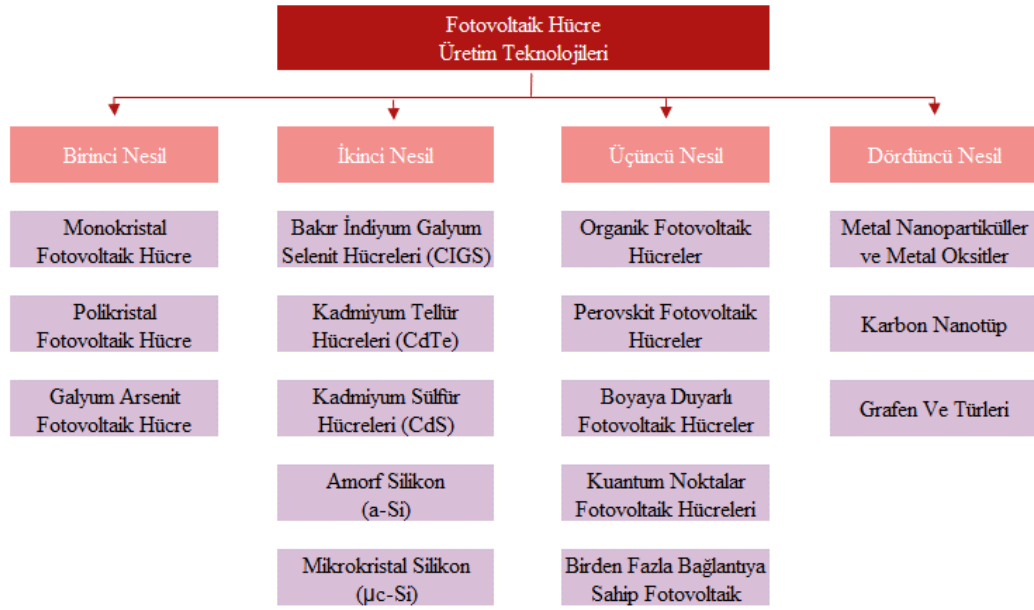
Güneş hücreleri FV sistemlerin en küçük birimi olup, bir hücreden yaklaşık olarak 1-3W arasında güç üretilmektedir (Karakaya, 2021). Uygulama bazında incelendiğinde üretilen bu güç yetersiz olmaktadır. Bundan dolayı daha fazla güç elde edebilmek için güneş hücreleri seri, paralel veya hem seri hem paralel olarak bağlanmaktadır. Gerilim değeri arttırılmak isteniyorsa güneş hücreleri seri, akım değerini arttırmak için ise güneş hücreleri paralel olarak bağlanır. Üretilen güç miktarını artırmak FV hücrelerin seri veya paralel olarak bağlanıp, FV alt-modüller oluşturulur. FV alt-modüllerin birleştirilmesiyle FV modüller, çok sayıda FV modülün seri/paralel bağlanması sonucu FV diziler meydana gelir. FV hücre, FV alt-modül, FV modül ve FV dizi yapıları Şekil 15’de gösterilmiştir.



Şekil 15. FV hücre, FV alt-modül, FV modül ve FV dizi yapıları

2.2. FV Hücre Çeşitleri

FV hücrenin temel görevi güneş ışığındaki fotonun enerjisini almak ve FV etki sayesinde elektrik enerjisi üretmektir. FV hücrenin üretilmesi için kullanılan yarı iletken malzemeler hücrenin üzerine düşen güneş ışığının emilme verimi, elektrik enerjisi üretme verimi ve maliyet gibi başlıklarda değişik teknolojileri içermektedir. FV hücre üretmek için kullanılan geleneksel yöntemlere ek olarak yeni yöntemlerin ortaya çıkmasıyla FV hücre teknolojisi dört başlık altında incelenebilir. Şekil 16’da FV hücre üretim teknolojileri gösterilmiştir (Pastuszak ve Wegierek, 2022).



Şekil 16. FV hücre teknoloji çeşitleri

2.2.1. Birinci Nesil FV Hücre

Birinci nesil FV hücre silisyum (Si) silikonundan oluşan kalın kristal tabakalara sahip malzeme olarak tanımlanmaktadır. 2022 yılı itibarıyla Dünyada toplam kurulu kapasitenin %80'inden fazlasını silikon bazlı FV pilleri oluşturmaktadır (Pastuszak ve Wegierek, 2022). Birinci nesil başlığı altında monokristal silikon, polikristal silikon ve galyum arsenit içeren FV hücre teknolojileri yer almaktadır.

Tek kristalli silisyum malzemesi, uygun üretim aşamalarından geçirilerek külçeler halinde bir yapı oluşturulur. Oluşturulan bu külçe yapı uygun boyutlarda kesilir, katkılanır ve kaplanır. Devamında ise elektriksel bağlantıları gerçekleştirilmekte ve FV hücre oluşturulmaktadır (Başoğlu, 2013). Monokristal FV hücre yapısal ve elektriksel özellikleri bakımından madde içerisinde homojen bir şekilde dağılım gösterir. Bu hücrelerin verimliliği %24-30 arasında olup, ticari olarak seri üretim yapıldığında verimleri %16-17 mertebelerine düşmektedir (İzmirli Ayan, 2018). Üretim aşaması zor ve malzeme kaybının yüksek olması dezavantajıdır. Şekil 17'de tipik bir monokristal tipi modüllerin resmi gösterilmiştir.



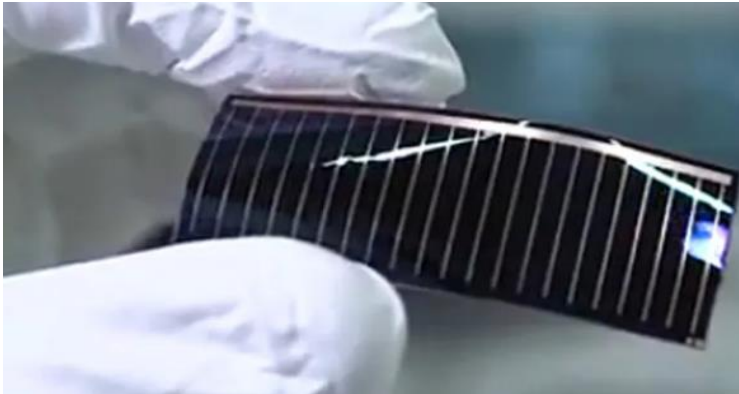
Şekil 17. Monokristal FV modül (URL-1, 2021).

Şekil 18’de verilen polikristal silikon FV modülde, monokristalde görülen homojen yapı yerine birçok küçük kristal taneciği bulunmaktadır. Çok kristalli yapıda damarlar arasında bağlantının farklılaşması elektron akışını engellemektedir. Damarlı yapıdan dolayı polikristal FV hücrenin verimi monokristal hücreye göre daha düşüktür. Üretim süreci monokristal FV hücre ile kıyasla daha basit olduğundan maliyeti daha uygundur. Polikristal FV hücrede silikon saflığı az olduğundan verimliliği %13-16’dır. Verimlilik oranı düşük olduğundan dolayı daha fazla alan kaplamakta olup, kurulum için daha büyük alana ihtiyaç duyulmaktadır (Kant ve Singh, 2022).



Şekil 18. Polikristal FV modül (URL-1, 2021).

Galyum arsenit malzemenin ışığı soğurma kabiliyeti silikon malzemeye göre daha yüksek olup, bu malzemedен oluşturulan FV hücrelerde verim neredeyse %40’a ulaşmaktadır. Galyum arsenit FV hücrenin yüksek verimli olmasına rağmen yüksek üretim maliyetine sahip olması dezavantajıdır. Uygulama alanı olarak uzay teknolojileri ve askeri uygulamalar öne çıkmaktadır (Khan vd. 2018). Galyum arsenit FV hücre Şekil 19’da gösterilmektedir.



Şekil 19. Galyum Arsenit FV hücresi (URL-2, 2022).

2.2.2. İkinci Nesil FV Hücre

İkinci nesil FV hücre ince film teknolojisi olarak bilinmekte ve birinci nesil FV hücreye göre daha ekonomiktir. İkinci nesil FV hücrelerin tabaka kalınlığı birinci nesil FV hücreyle kıyaslandığında daha ince bir yapıya sahiptir. İkinci nesil FV hücre amorf silikon (a-Si), kadmiyum tellür (CdTe), Bakır-İndiyum-Galyum-Selenoid (CIGS)'den yapılan güneş hücrelerini içermektedir (Rathore vd., 2019).

Amorf silikon FV hücrede kristal yapıda olmayan silikon malzeme kullanılmaktadır. Amorf silikon hücre ince olup, verimi %5-7 civarındadır. Verimleri düşük olduğundan dolayı daha düşük güç gerektiren uygulamalarda kullanılırlar. Hesap makinesi veya oyuncaklar kullanım alanlarına örnektir (Singh vd., 2021).

Kadmiyum tellür FV hücrenin ışığı soğurma yeteneğinin yüksek olmasından dolayı hücre boyutu azalmaktadır. 1980 yılında üretilen kadmiyum tellür FV hücrenin verimi %10 iken son on yıl içerisinde %22.1'e yükselmiştir (Pastuszak ve Wegierek, 2022).

CdTe FV hücre teknolojisinin çatı ve binaya entegre sistemlerde kullanımı artmaktadır. İnce ve esnek bir yapıya sahip olmaları binaya entegre sistemlerde kullanımı açısından dikkat çekmektedir. Şekil 20'de CdTe hücre örneği gösterilmiştir. Bu özelliklerinin yanında CdTe'lü şeffaf FV modüller geliştirilmektedir. Hücrenin şeffaflığı %10-50 civarında değişmekte ve şeffaflığın artması verimin azalmasına sebep olduğu için dezavantaj oluşturmaktadır (Pastuszak ve Wegierek, 2022).



Şekil 20. Kadmiyum tellür FV hücre (URL-3, 2011).

CIGS FV hücre içerisinde bakır, indiyum, galyum ve selenyum elementleri bulunmakta ve bu elementler cam veya plastik alt tabaka üzerine ince bir tabaka halinde üretilmektedir (Şekil 21). Esnek bir yapıya sahip olup, rijit olmayan alt tabakaların üzerine yerleştirilebilmektedir (Khan vd. 2018). CIGS hücreleri alt tabaka üzerine

biriktirme işlemi ile oluşturulur. CIGS ince filmin biriktirme işlemi için püskürtme, buharlaştırma, elektrokimyasal kaplama, baskı ve elektron ışını biriktirme teknikleri kullanılmaktadır. CIGS FV hücrenin laboratuvar ortamında verimi %23.4 olup, ticari üretimde laboratuvar ortamındaki verime ulaşamamaktadır (Pastuszak ve Wegierek, 2022).



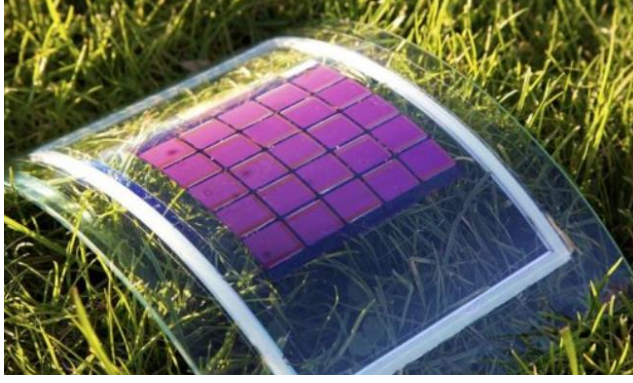
Şekil 21. Bakır-İndiyum-Galyum-Selenoid (CIGS) FV hücre (URL-4, 2021).

2.2.3. Üçüncü Nesil FV Hücre

Üçüncü nesil FV hücreler, konsantre ve organik FV hücreleri gibi araştırma çalışmaları devam eden teknolojileri kapsamaktadır (Rathore vd 2019). Bina entegrasyonundan uzay uygulamalarına, ucuz ve düşük verimli sistemlerden pahalı ve yüksek verimli sistemler olmak üzere geniş bir kullanım alanına sahiptir (Pastuszak ve Wegierek, 2022). Üçüncü nesil FV hücrelerden bazıları şunlardır:

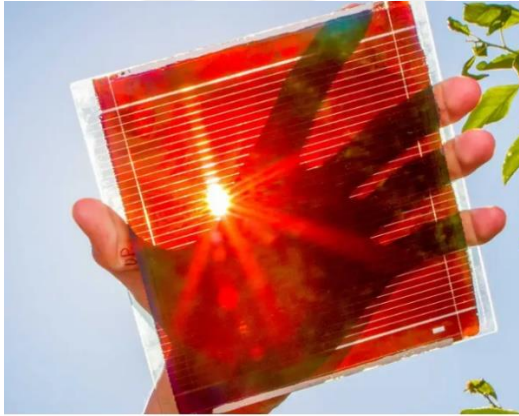
- Organik FV hücreler
- Perovskit FV hücreler
- Boyaya duyarlı FV hücreler
- Kuantum nokta FV hücreler
- Çok eklemli FV hücreler

Organik FV hücre üretebilmek için polimerler, pentasen, polifenilen vinilen, karbon fullerenerler, bakır ftalosiyanın gibi organik malzemeler kullanılmaktadır (Allouhi vd., 2022). Organik yarı iletkenler düşük maliyet, esneklik, yarı şeffaflık, hafiflik, çözelti içinde işlenebilme kabiliyetleri ve rulodan ruloya işleme gibi avantajları olup, güneş enerjisi ile ilgili alanlarda kullanıma uygundur (Kant ve Singh, 2022). Organik güneş pilleri yapısında bir cam ön yüzey, şeffaf indiyum kalay oksit temas katmanı, iletken ve fotoaktif polimerler ve son olarak arka temas katmanı bulunmaktadır. Üretim aşamasında baskı yöntemi kullanılmaktadır (Allouhi vd., 2022). Organik FV hücreye ait görünüm Şekil 22’de yer almaktadır.



Şekil 22. Organik FV hücre görünümü (URL-5, 2018).

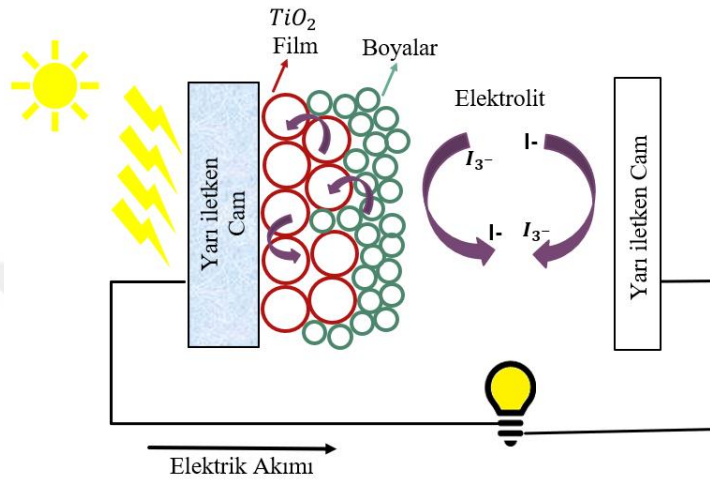
Perovskit, CaTiO_3 mineralinin kristal yapısından meydana gelmektedir (Kant ve Singh, 2022). Perovskit FV hücrenin 2012 yılında yapılan çalışmalarda verimi %10 civarındayken, yaklaşık on yıllık araştırma sonucunda verim %25.2'ye yükselmiştir (Pastuszak ve Wegierek, 2022). Şekil 23'de perovskit FV hücre örneği gösterilmiştir.



Şekil 23. Perovskit FV hücre görünümü (SolarReviews, 2022).

Boyaya duyarlı FV hücrede boya molekülleri farklı elektrotlar arasında bulunur. Boyaya duyarlı FV hücresi yarı iletken elektrot (cam), boya hassaslaştırıcı, redoks aracı ve karşı elektrot (cam) olmak üzere dört ana bileşenden oluşur. Düşük maliyeti, baskı tekniği, şeffaflığı, esnek bir yapıya sahip olması boyaya duyarlı FV hücreyi ilgi çekici bir hale getirmiştir (Rathore vd., 2019). Boyaya duyarlı FV hücreler güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretmek için kullanılan en iyi nanoteknoloji malzemelerden birini temsil etmektedir. Boyaya duyarlı FV hücre üzerine güneş ışığının düşmesiyle ara yüzeyde yük transferi meydana gelmektedir. Yük transferi sonucunda elektrolit içerisindeki delikler taşınmaktadır. Boyaya duyarlı FV hücre verimi %11 olarak belirtilmektedir. Yapılan çalışmalarda nano boyuta sahip TiO_2 kaplamalar optik olarak aktif boyalarla birleştirildiğinde ışığa duyarlı hale getirilmekte ve hücre

verimliliği %10'dan daha büyük değerlere ulaşmaktadır (Pastuszak ve Wegierek, 2022). Boyaya duyarlı FV hücrelerin şematik gösterimi Şekil 24'de gösterilmiş olup, bu tip hücreler diğer FV hücreler ile kıyaslandığında pencerelerde kullanımı daha uygundur. Bunun sebebi renk ve kontrol şeffaflığı gibi etmenler rahat bir şekilde uygulanabilmesidir (Kim ve Han, 2020). Boyaya duyarlı FV hücrenin tipik bir örneği Şekil 25'de gösterilmiştir.



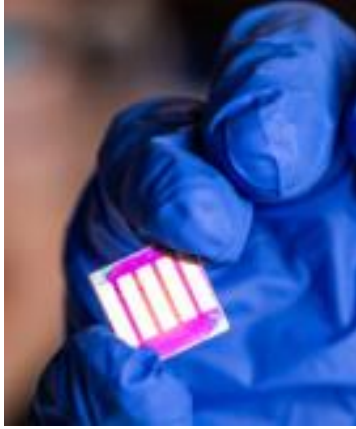
Şekil 24. Boyaya duyarlı FV hücre şematik gösterimi (Singh vd., 2021).



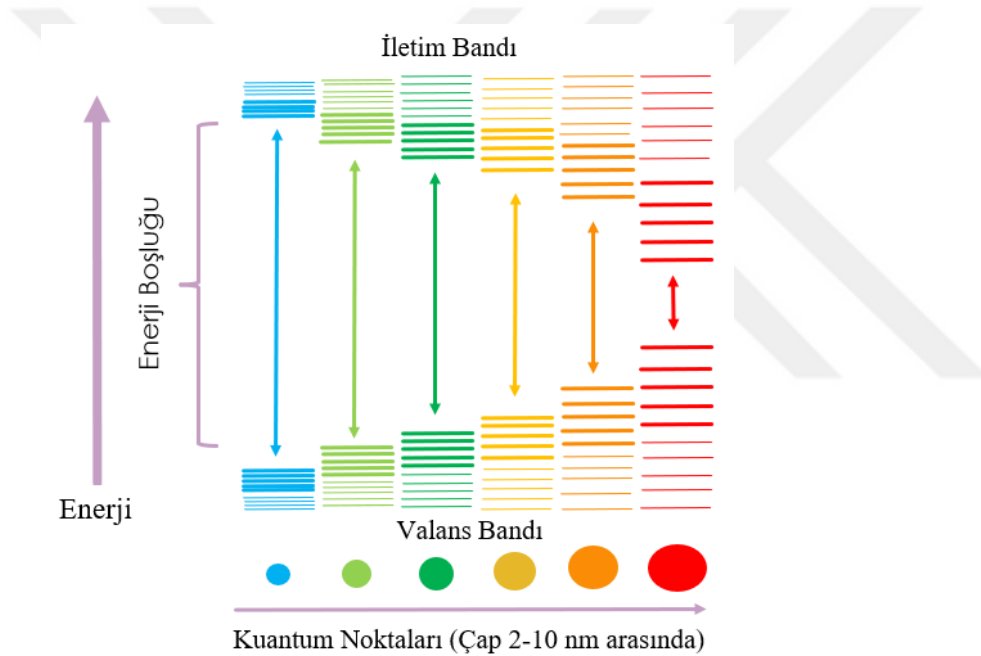
Şekil 25. Boyaya duyarlı FV hücrenin pencerede kullanımı (URL-6, 2020).

Kuantum nokta FV hücre (KNFV), O'Regan ve Gratzel'in 1991 yılında yapmış oldukları deneyler sonucu ortaya çıkmıştır. Şekil 26'da bu hücre türüne ait görsel verilmiştir. Kuantum noktaları sayesinde, farklı enerji düzeylerinde noktaların ebatı (çapı) değiştirilerek ayarlanabilen bant aralığı meydana gelir (Eryılmaz N, 2022). Kuantum noktaları yarı iletken nanokristaldır ve çapı 2-10nm büyüklüğe sahiptir. Kuantum noktalarının küçük olması elektron deliği çiftlerinin daha fazla sıkışmasına, daha yüksek enerji seviyesine ve daha kısa dalga boyuna sahip olarak mavi renk yaymasına sebep olur (Reshma ve Mohana, 2019). Bu durum Şekil 27'de

gösterilmiştir. Kuantum noktalı FV hücreler kullanılarak yaklaşık olarak %65' lik verim ile elektrik enerjisi üretilebilmektedir (Eryılmaz N, 2022).



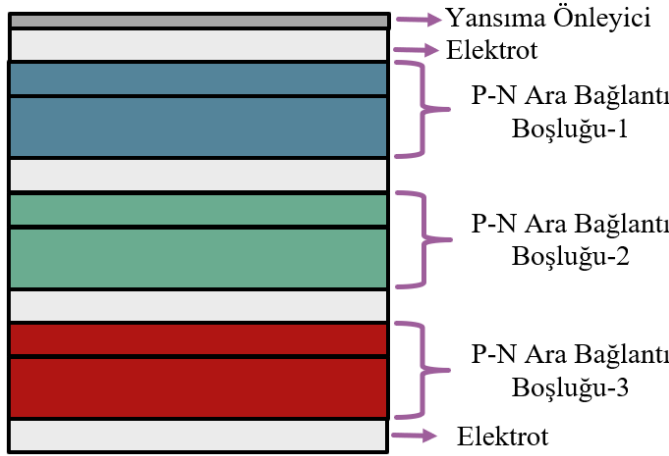
Şekil 26. Kuantum noktalı FV hücre (URL-7, 2020).



Şekil 27. Kuantum noktalar çap ile enerji boşluğu arasındaki durumun gösterimi (Reshma ve Mohanan, 2019).

Çok eklemli FV hücreler çoklu p-n bağlantısından oluşur. Çoklu p-n bağlantıları Şekil 28'de görüldüğü gibi aynı ya da farklı yarı iletkenlerden meydana gelebilmektedir. Çoklu p-n bağlantısı sayesinde FV hücre üzerine düşen ışınım farklı dalga boylarına göre elektrik enerjisi üretir. Farklı dalga boylarına göre elektrik enerjisi üretiminin olması verimliliği arttırmaktadır. Maksimum verim için çoklu p-n bağlantılarında farklı yarı iletkenlerin kullanımı önerilmektedir. Çoklu p-n bağlantıları laboratuvar ortamında iki, üç, dört ve sonsuz bağlantı aralığı olarak test edilmiştir. 2019 yılında yapılan bir çalışmanın sonucunda iki bant aralığı için verim %44, üç bant aralığında %49, dört bant aralığında %54 ve sonsuz bant aralığına sahip hücrede ise verim %66 olarak

ölçülmüştür (Muhammad vd., 2019). 2021 yılında Dambhare vd. tarafından yapılan çalışmada sonsuz bant aralığına sahip hücrelerde verimin %86.6 olduğu ifade edilmiştir (Dambhare vd., 2021).



Şekil 28. Çok eklemlili FV hücrenin şematik tasarımı

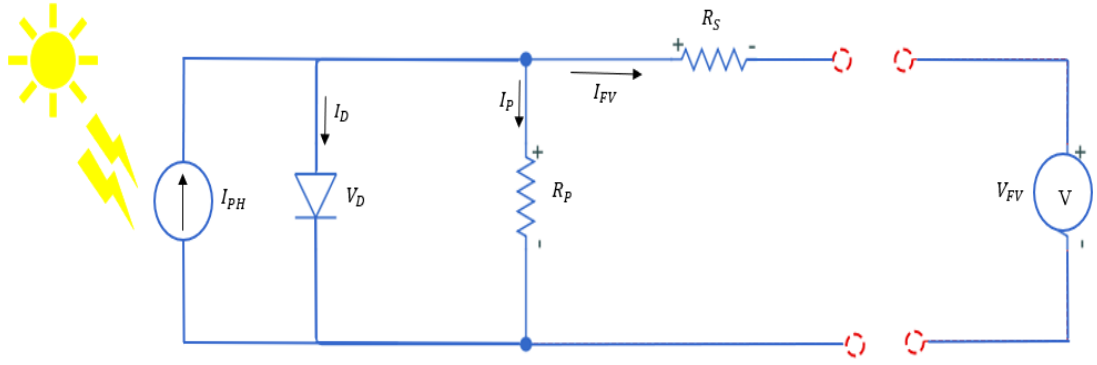
2.2.4. Dördüncü Nesil FV Hücre

Dördüncü nesil FV hücreler: üçüncü nesil nano malzemeler, metal oksitler, grafen ve karbon nanotüplerin birleşimi ile meydana gelir ve hibrit bir yapıya sahiptir. Hibrit yapı sayesinde düşük maliyet, esneklik ve yüksek kararlılık gibi önceki nesillerin avantajlarını bünyesinde taşımaktadır (Iqbal vd., 2022). Dördüncü nesil FV hücreler “nano FV” olarak adlandırılmakta ve geleceğin FV hücre teknolojisi haline gelmesi tahmin edilmektedir. FV hücrelerde nano malzemelerin kullanımı performansı olumlu yönde etkilemektedir (Singh vd. 2021).

Pastuzak ve Wegierek’in yapmış olduğu çalışmada geleceğin nano malzemesi olarak Grafen’in kabul edildiği belirtilmektedir. Grafen’in yüksek taşıyıcı hareketliliği, 2D kafes paketlenme, düşük direnç ve geçirgenlik gibi avantajlara sahip olduğundan dolayı geleneksel FV hücre malzemelerin yerine kullanılacağı düşünülmektedir. Yapılan çalışmalarda Grafen bazlı perovskit hücrenin enerji verimliliği %20.3’ü aşmaktadır (Pastuszak ve Wegierek, 2022).

2.3. FV Hücrenin Matematiksel Modeli

Eşdeğer devre sayesinde FV hücreye ait akım ve gerilim değerleri hesaplanır. Şekil 29’da FV hücrenin tek diyotlu eşdeğer devresi verilmiştir (Doğan ve Görel, 2022).



Şekil 29. FV hücre eşdeğer devresi

Şekil 29'daki eşdeğer devre üzerinde Kirchhoff'un akımlar kanununun uygulanmasıyla beraber elde edilen FV hücrenin çıkış akımı Eşitlik 1 yardımı ile hesaplanır. Aynı yöntem I_D ve I_P akımları için uygulanırsa sırasıyla Eşitlik 2 ve Eşitlik 3 elde edilir.

$$I_{FV} = I_{PH} - I_D - I_P \quad (\text{Eşitlik 1})$$

$$I_P = \frac{(I_{FV} * R_S) + V_{FV}}{R_P} \quad (\text{Eşitlik 2})$$

$$I_D = I_O \left(e^{\frac{q(V_{FV} + (I_{FV} * R_S))}{k * T * C * A}} \right) - \frac{V_{FV} + (I_{FV} * R_S)}{R_P} \quad (\text{Eşitlik 3})$$

Eşitlik 2 ve Eşitlik 3'te I_P ve I_D Eşitlik 1'de ilgili yerlere yazılırsa FV hücrenin çıkış akımı Eşitlik 4'teki gibi elde edilir.

$$I_{FV} = I_{PH} - I_O \left(e^{\frac{q(V_{FV} + (I_{FV} * R_S))}{k * T * C * A}} - 1 \right) - \frac{V_{FV} + (I_{FV} * R_S)}{R_P} \quad (\text{Eşitlik 4})$$

Eşitlik 1, Eşitlik 2, Eşitlik 3 ve Eşitlik 4'deki parametrelerin tanımları:

I_{PH} : Güneş ışınlamına bağlı foton akımı (A)

I_O : Diyot doyum akımı (A)

I_D : Diyot akımı (A)

I_P : R_P direnci üzerinde oluşan akım(A)

I_{FV} : FV hücrenin çıkış akımı (A)

V_D : Diyot gerilimi (V)

V_{FV} : FV hücrenin çıkış gerilimi (V)

R_P : İç kayıpların temsili için kullanılan paralel direnç (Ω)

R_S : İç kayıpların temsili için kullanılan seri direnç (Ω)

q : Elektron yükü ($1,602 \cdot 10^{-19}$ C)

A : Diyot kalite faktörü

k : Boltzmann sabiti ($1,38065 \cdot 10^{-25}$ J/K) ile açıklanmıştır (Başoğlu, 2013).

2.4. FV Hücre Karakteristikleri

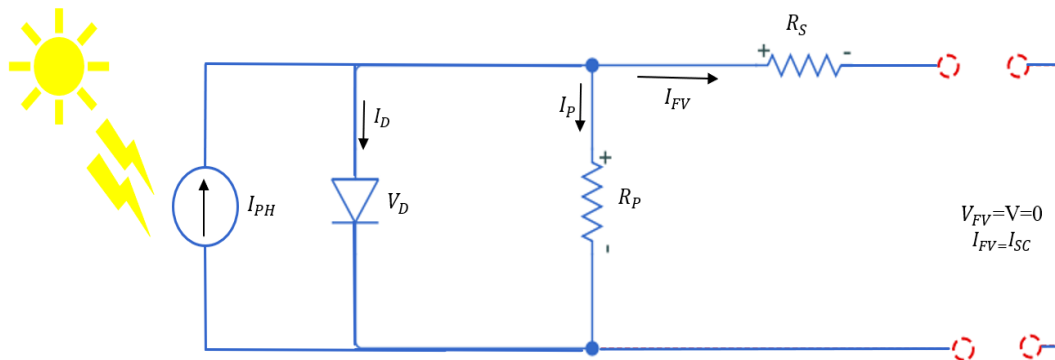
FV hücre eşdeğer devresinde seri ve paralel dirençler, kısa devre akımı, açık devre gerilimi ve MGN, doldurma faktörü ve verim FV hücrenin karakteristik özellikleri olarak belirtilir (Pavlik vd., 2023).

2.4.1. Seri ve Paralel Dirençler

Seri direnç, R_S , FV hücrenin kalitesini belirtmekte ve yarı iletken malzemenin toplam direnci, birbirine temas eden ve bağlantılardaki dirençlerde oluşan parazit direnci temsil etmektedir. Seri direncin bir FV hücrede minimum olması istenir. Paralel direnç, R_P , devredeki kaçak akımların geçtiği varsayılan direnci ifade etmektedir. Paralel direncin büyük değerli olması bir FV hücre için daha iyidir (Pavlik vd., 2023).

2.4.2. Kısa Devre Akım

Şekil 29'daki eşdeğer devrenin çıkışları kısa devre edilirse, FV modülden kısa devre akımı akar. Kısa devre akımı I_{SC} ile gösterilmekte ve FV hücre tarafından üretilen en yüksek akım değeridir (Günday, 2010). Şekil 30'da kısa devre edilmiş eşdeğer devre durumu gösterilmiştir.



Şekil 30. FV hücrenin kısa devre eşdeğer durumu

Kısa devre eşdeğer devresinde $V_{FV}=V=0$ ve $I_{FV}=I_{SC}$ denklem bağlantıları Eşitlik 4'te ilgili yerlere yazıldığında Eşitlik 5 elde edilir.

$$I_{SC} = I_{PH} - I_0 \left(e^{\frac{q(V_{FV} + (I_{FV} * R_S))}{k * T_C * A}} - 1 \right) - \frac{V_{FV} + (I_{SC} * R_S)}{R_P} \quad (\text{Eşitlik 5})$$

Değişen ışıınım ve sıcaklık durumlarında kısa devre akım değeri Eşitlik 6 yardımıyla hesaplanabilmektedir (Güngör, 2018). Eşitlik 6'da kısa devre akımının sıcaklık ve ışıınıma bağlı olduğu görülebilir.

$$I_{SC} = (I_{SCN} + K_I(T_C - T_{REF}) * \frac{Q}{Q_{REF}} \quad (\text{Eşitlik 6})$$

Eşitlik 5 ve Eşitlik 6'daki parametrelerin tanımları:

I_{SC} : Kısa devre akımı

I_{SCN} : Standart test koşulları için kısa devre akımı

K_I : Kısa devre akımının sıcaklığa bağlı değişim katsayısı (mA/°C)

T_C : FV hücre sıcaklığı (°C)

T_{REF} : Standart test koşulları için kullanılan sıcaklık (25 °C)

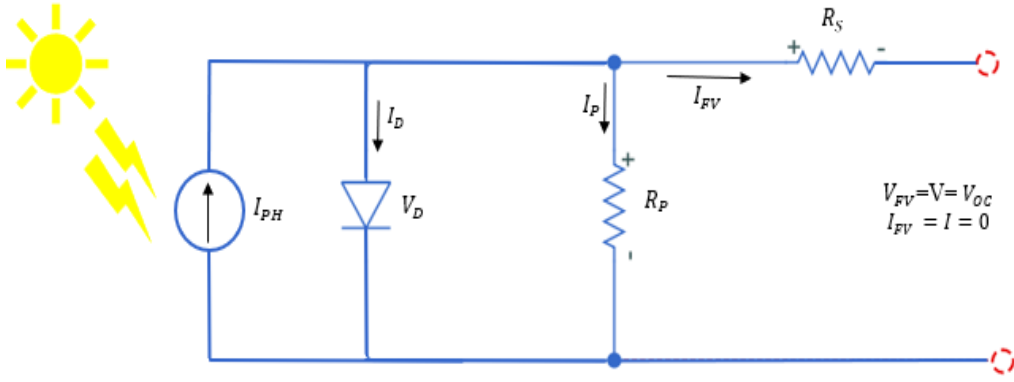
Q : Anlık güneş ışıınımı (radyasyon) (W/m²)

Q_{REF} : Standart test koşulları için kullanılan ışıınım (1000 W/m²) şeklindedir.

2.4.3. Açık Devre Gerilimi

Açık devre eşdeğerinde FV hücrenin çıkışı yüksüz iken hücre akımının sıfır olması durumunda çıkış uçlarındaki gerilim açık devre gerilimi olarak tanımlanır. Şekil 31'de FV hücre boşa iken eşdeğer devresi verilmiştir. Açık devre eşdeğer devresinde $V_{FV}=V=V_{OC}$ ve $I_{FV}=I=0$ eşitlikleri Eşitlik 4'te ilgili yerlere yazıldığında Eşitlik 7 elde edilir (Güngör, 2018).

$$0 = I_{PH} - I_0 \left(e^{\frac{q(V_{OC})}{k * T_C * A}} - 1 \right) - \frac{V_{OC}}{R_S} \quad (\text{Eşitlik 7})$$



Şekil 31. FV hücrenin açık devre eşdeğer durumu

2.4.4. Maksimum Güç Noktası

FV hücrenin gerilim ve akım değerlerinin gücü maksimize ettiği, I-V eğrisi üzerindeki yer MGN olarak ifade edilir. Maksimum güç değeri Eşitlik 8’de kullanılarak hesaplanabilmektedir (Pavlik vd. 2023).

$$P_{MGN} = V_{MGN} * I_{MGN} \quad (\text{Eşitlik 8})$$

Eşitlik 8’ deki parametrelerin tanımları:

P_{MGN} : FV hücrenin MGN’deki güç değeri (W)

V_{MGN} : FV hücrenin MGN’deki gerilim değeri (V)

I_{MGN} : FV hücrenin MGN’deki akım değeri (A) şeklindedir.

2.4.5. Doldurma Faktörü

FV hücrenin kalitesi doldurma faktörü ile tanımlanır. Doldurma faktörünün 0.7 veya daha yüksek bir değerde olması istenir. Doldurma faktörü değerinin 1’e yakın olması FV hücrenin kalitesinin yüksek olduğunu belirtmektedir. Maksimum gücün artması ile doğru orantılı olarak doldurma faktörü de artış göstermektedir. Doldurma faktörü Eşitlik 9’da tanımlanmıştır.

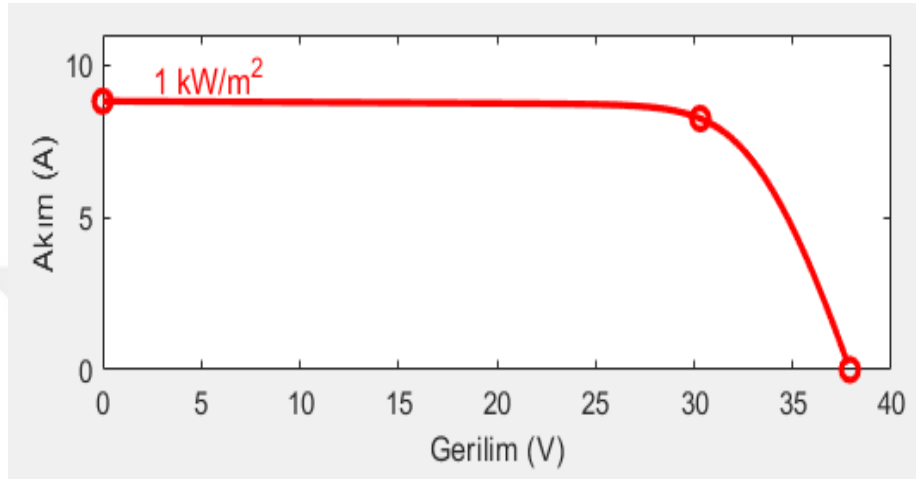
$$FF = \frac{V_{MGN} * I_{MGN}}{V_{OC} * I_{SC}} \quad (\text{Eşitlik 9})$$

2.5. FV Hücre Akım, Gerilim ve Güç Eğrileri

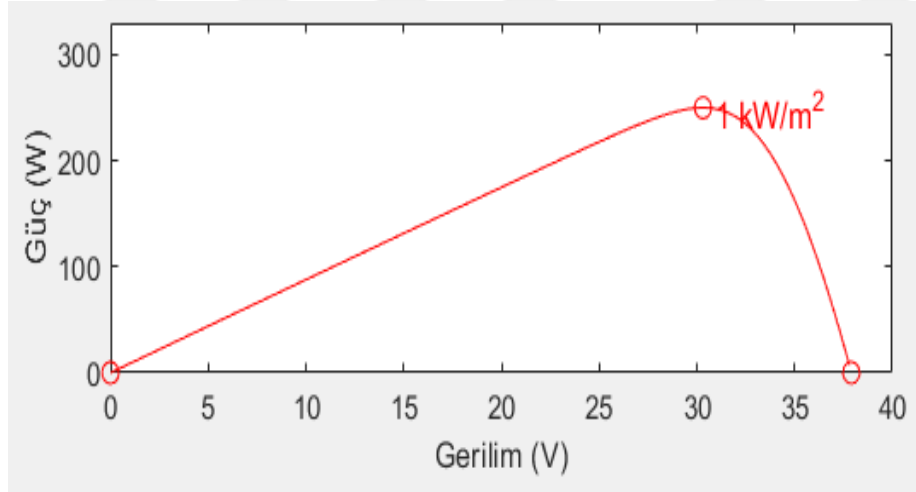
2.5.1. Standart Test Koşullarında I-V ve P-V Eğrileri

FV hücreler için standart test koşulları, güneş ışınlamı 1000 W/m^2 , ortam sıcaklığı 25°C ve 1.5 değerinde hava kütlesi olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada kullanılan

FV modüle ait I-V ve P-V eğrilerini oluşturabilmek için Bosch firmasının c-Si M60 Na42117 250W marka FV modülü tercih edilmiştir. Standart test koşulunda, FV modüle ait maksimum güç 250.06W, MGN'deki gerilim 30.31V, MGN'deki akım 8.25A, açık devre gerilimi 37.9V, kısa devre akımı 8.82A'dır. MATLAB programında standart test koşulları altında FV hücreye ait I-V ve P-V eğrileri Şekil 32 ve Şekil 33'de sunulmuştur.



Şekil 32. Standart test koşullarında I-V eğrisi



Şekil 33. Standart test koşullarında P-V eğrisi

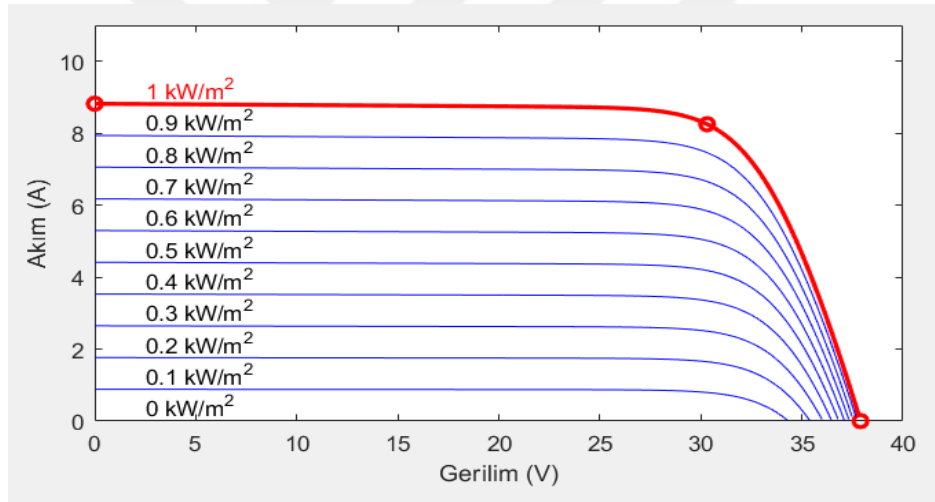
2.5.2. Farklı Işınım Şartlarında I-V ve P-V Eğrileri

Standart test koşulunda güneş ışınlamı 1000W/m^2 olarak belirtilmektedir. Fakat güneş ışınlamı değişken bir parametredir. Eşitlik 6'ya göre ışınlamın değişmesi ile FV hücrenin çıkış akımı doğru orantılı olarak değişmektedir. Tablo 5'de belirtilen farklı ışınlam düzeyleri için hesaplanan kısa devre akımı değerlerine göre I-V ve P-V eğrileri

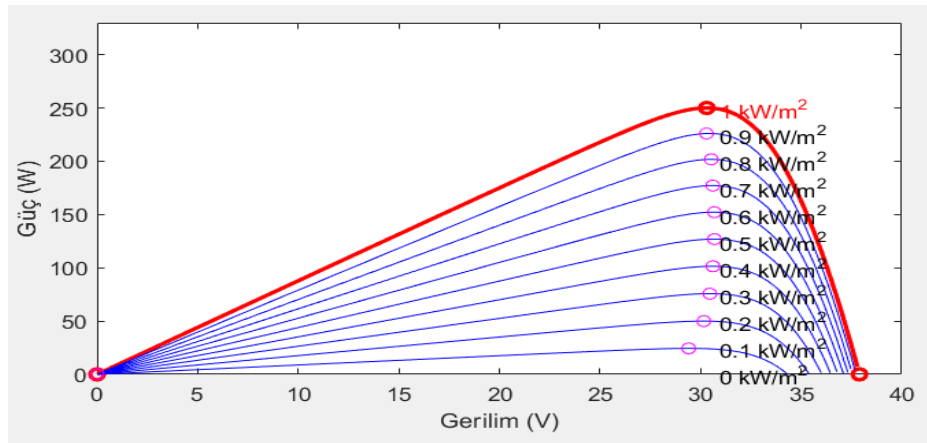
Şekil 34 ve Şekil 35’de verilmiştir. Şekil 35’de güneş ışınım değerinin azalmasıyla birlikte FV hücre çıkışındaki maksimum güç değerinin de azaldığı görülmektedir.

Tablo 5. Bosch Solar Energy c-Si M60 Na42117 250W marka modülün farklı ışınımlar için kısa devre akım değerleri

Anlık güneş ışınımı (Q) (W/m^2)	Standart test koşullarındaki güneş ışınımı (Q_{ref})	FV hücrenin kısa devre akımı (I_{SC})
1000	1000W/m^2	8.82
900	1000W/m^3	7.94
800	1000W/m^4	7.06
700	1000W/m^5	6.17
600	1000W/m^6	5.29
500	1000W/m^7	4.41
400	1000W/m^8	3.53
300	1000W/m^9	2.65
200	1000W/m^{10}	1.76
100	1000W/m^{11}	0.88



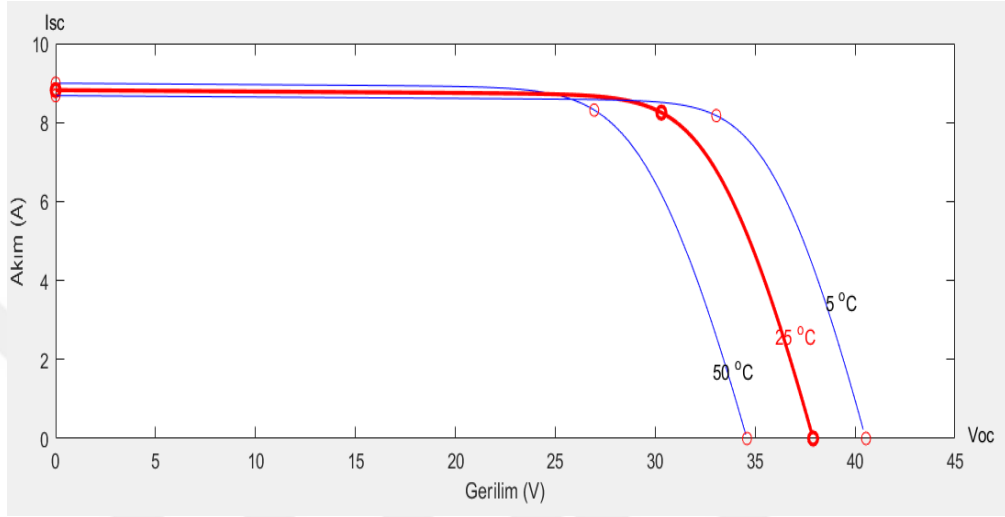
Şekil 34. Farklı güneş ışınım düzeyleri için FV modülün I-V eğrileri



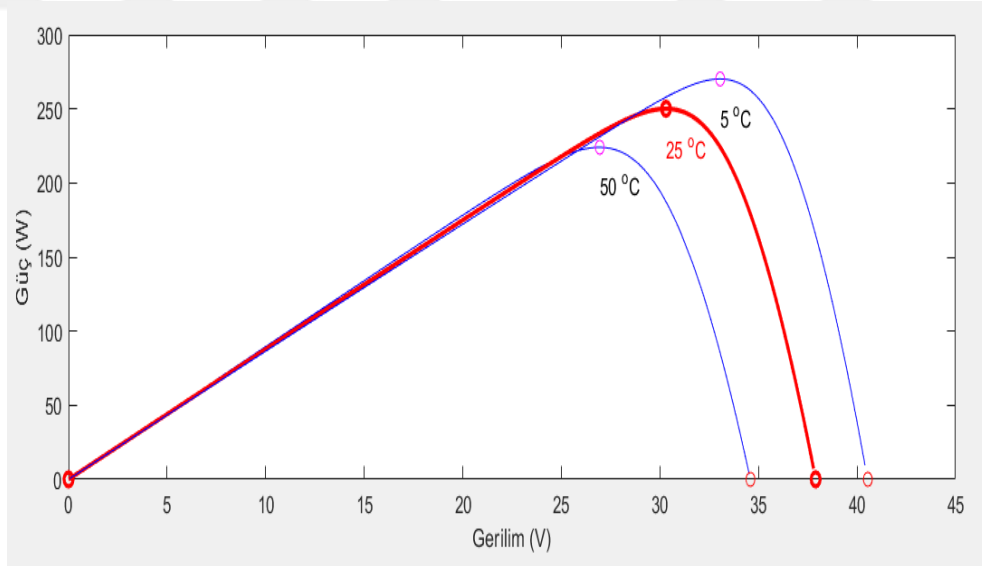
Şekil 35. Farklı güneş ışınım düzeyleri için FV modülün P-V eğrileri

2.5.3. Farklı Sıcaklıklarda I-V ve P-V Eğrileri

Ortam sıcaklığının 25°C'den farklı olduğu durumlarda FV modülden elde edilen akım, gerilim ve güç değerleri değişir. Şekil 36'daki I-V eğrisi incelendiğinde sıcaklığın azalmasıyla birlikte açık devre gerilim değerinin arttığı, kısa devre akım değerinin ise azaldığı görülmektedir. Şekil 37'de ise değişen sıcaklığın azalmasıyla MGN'deki gerilim değeri artarken, sıcaklığın artmasıyla birlikte MGN'deki güç değeri azalır.



Şekil 36. Farklı sıcaklık değerlerinde FV modül I-V eğrileri

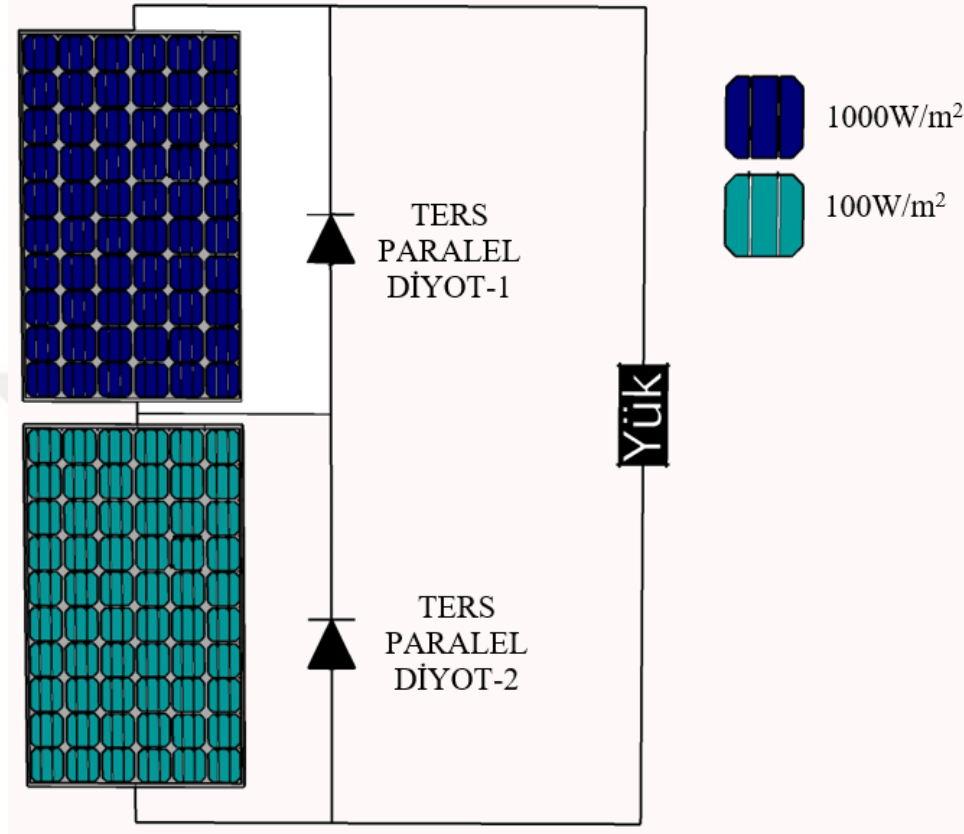


Şekil 37. Farklı sıcaklık değerlerinde FV modül P-V eğrileri

2.6. Parçalı Gölgeleme Durumu

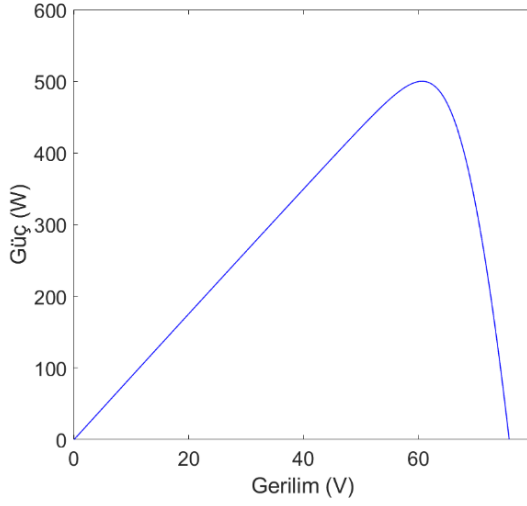
Çevresel şartlardan dolayı FV modül yüzeyleri sürekli eşit ışınlam alamamaktadır. Modüllerin farklı ışınlamalara maruz kalması parçalı gölgeleme durumu olarak bilinmektedir. FV modüllerde parçalı gölgeleme olduğunda en çok gölge olan FV

modüle göre elektrik enerjisi üretilmekte ve sistem verimsiz çalışmaktadır. Belirtilen sorunun çözümü için FV modüle, paralel olacak şekilde ters paralel diyotlar bağlanır (Başoğlu, 2017). Şekil 38’de birbirine seri bağlı iki FV modülde ters paralel diyot kullanılmakta ve parçalı gölgelenme durumu gösterilmektedir.

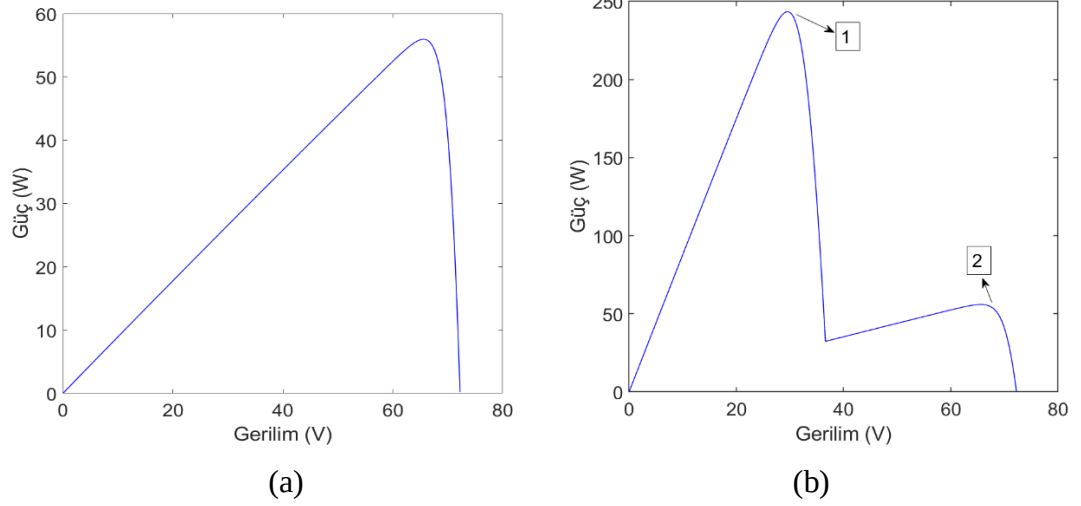


Şekil 38. Parçalı gölgelenme durumunda modüllerin maruz kaldığı ışınımın gösterimi ve devre şeması

Tablo 5’da belirtilen modül kullanılarak Şekil 38’deki eşdeğer devre oluşturulmuş ve FV sistem 1000W/m^2 değerinde eşit ışınım altındayken elde edilen P-V grafiği Şekil 39’da gösterilmiştir. Aynı ışınım altında FV sistemin MGN’deki gücü 500W ’dır. FV modüllere sırasıyla 1000W/m^2 ve 100W/m^2 ışınım uygulandığında parçalı gölgelenme meydana gelir. Şekil 40 (a)’da ters paralel diyotların olmadığı, Şekil 40 (b)’de ise ters paralel diyotların olduğu çalışma sonucu oluşan P-V grafikleri verilmiştir. Şekil 40 (a)’da ki çalışmada MGN gücü yaklaşık 56W ’dır Şekil 40 (b)’de 1 numara ile gösterilen tepe 243W , 2 numaralı tepede ise yaklaşık 56W güç elde edilebilmektedir. Şekil 40 (a) ve (b)’de FV sistemde ters paralel diyot kullanımının sistem üzerine etkisi ve diyot kullanıldığında daha fazla güç üretilebildiği gözlemlenmektedir.



Şekil 39. Eşit ışınımlarda FV sisteme ait P-V grafiği



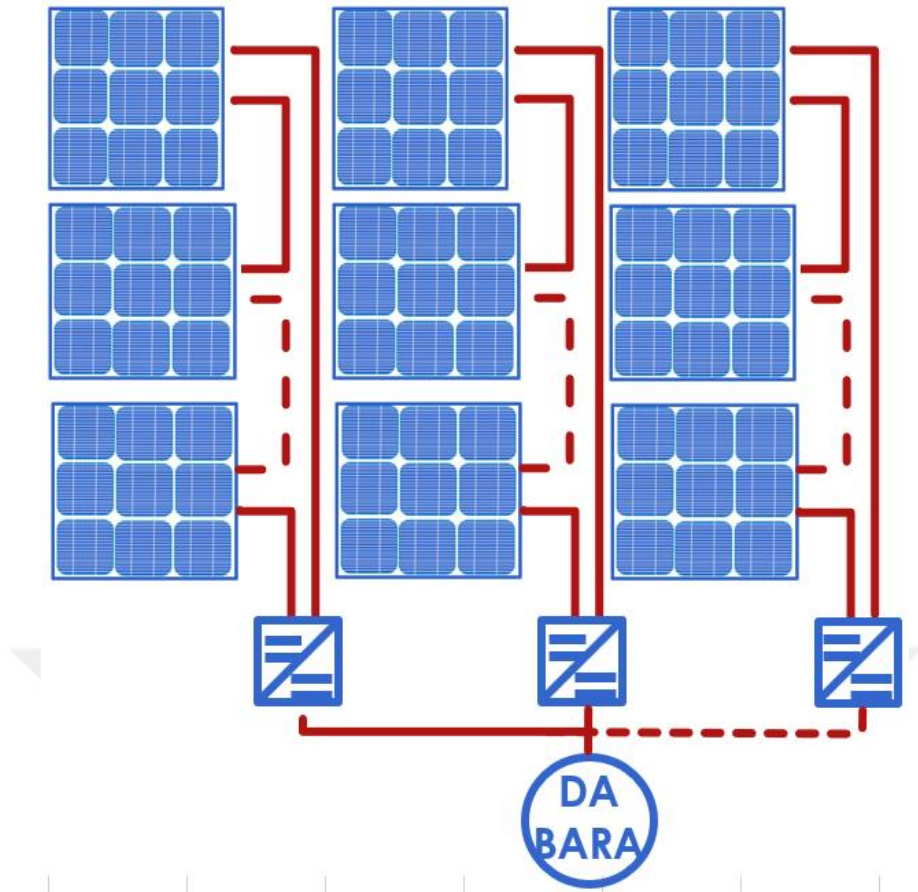
Şekil 40. Parçalı gölgelenme durumunda P-V eğrileri (a) ters paralel diyotsuz, (b) ters paralel diyotlu

2.7. FV Sistem Mimarileri

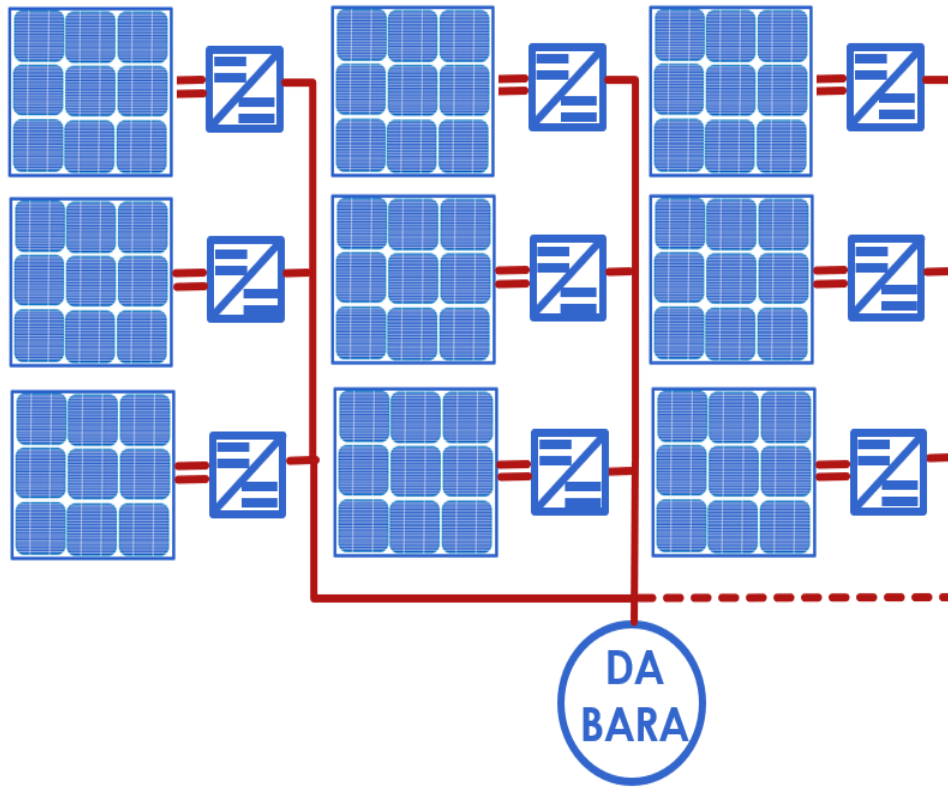
FV modüllerin verimliliğini artırmak için literatürde farklı MGNİ mimarileri önerilmiştir. Mimariler sayesinde FV sistemden en yüksek verim ve en yüksek çıkış gücü elde edilmeye çalışılır. FV sistem mimarisi olarak dört yaklaşımdan bahsedilebilir. Bunlar: merkezi MGNİ, dizi düzeyinde MGNİ, modül düzeyinde MGNİ ve alt-modül düzeyinde MGNİ şeklinde sıralanabilir (Başoğlu, 2022).

2.7.1. Merkezi MGNİ Mimarisi

Bir FV sistemde seri olarak bağlanan FV modüller bir diziyi oluştur ve diziler paralel olacak şekilde bağlanarak daha yüksek güçler elde edilir. FV dizilere, bir tane DA-AA evirici bağlantısı gerçekleştirilip, MGNİ bu evirici ile tek bir noktadan gerçekleştirilirse bu uygulama merkezi MGNİ mimari olarak tanımlanır. (Abid, 2018).



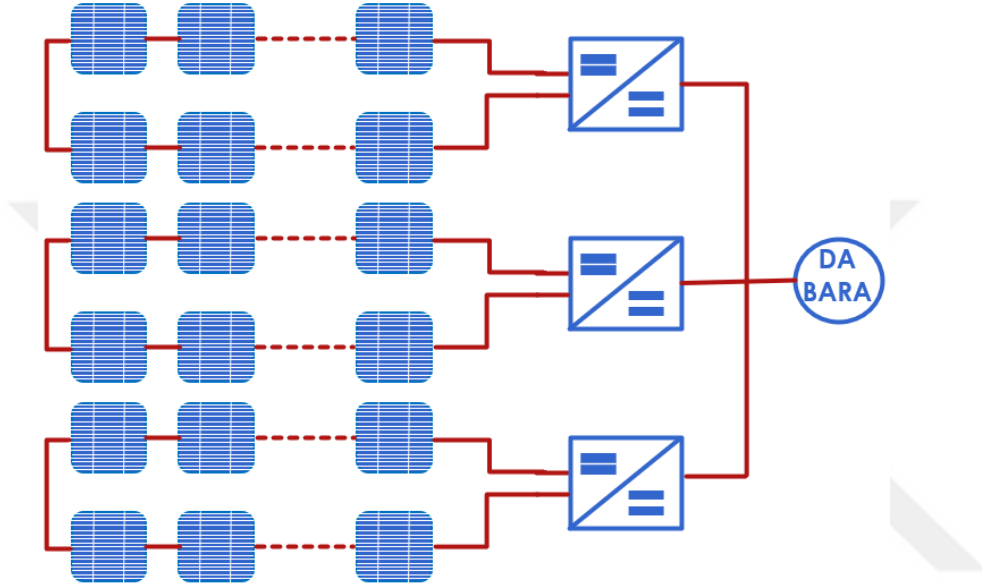
Şekil 42. Dizi düzeyinden MGPI mimarisi



Şekil 43. Modül tabanlı MGPI mimarisi prensip devre şeması

2.7.4. Alt-Modül Tabanlı MGNİ Mimarisi

Alt-modül tabanlı MGNİ mimarisinde her alt-modül için birer adet DA-DA dönüştürücü kullanılır. Bu mimarinin avantajı dönüştürücüler daha düşük güçlüdür. Fakat dönüştürücü sayısı arttığından maliyet artar. Bu mimariye ait tipik devre şeması Şekil 44’de sunulmuştur. Alt-modül MGNİ mimarisinde basit bir algoritma ile FV sistem MGN’de çalışabilmekte ve ideale yakın bir seviyede güç üretimi sağlanmaktadır (Başoğlu, 2022).

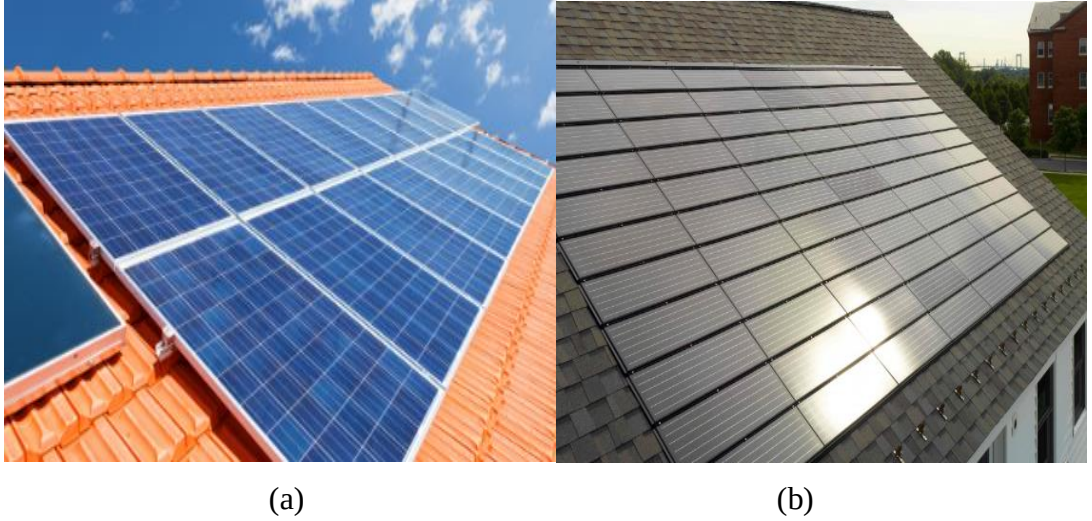


Şekil 44. Alt-modül tabanlı MGNİ mimari prensip devre şeması

3. BİNA ENTEGRELİ FV SİSTEMLER

3.1. Bina Entegre FV Sistem ve Bina Uygulamalı FV Sistem Tanımları

FV sistemlerde güç üretimi için en az parçalı gölgelenmeye maruz kalacak şekilde geniş alanlara ihtiyaç duyulur. Fakat arazi temini ve kullanımı her zaman mümkün ve ekonomik olmayabilir. FV sistem teknolojileri sayesinde bu sorunun çözümü, bina çatı ve cephe yüzeylerinin kullanımı ile sağlanmıştır. Binalarda FV sistemlerin uygulanması BUFV ve BEFV sistemler olmak üzere iki çeşit yöntem ile gerçekleştirilmiştir (Barman ve Mannan, 2022). Binanın inşaatı tamamen bittikten sonra FV sistem tasarımı yapılarak bina çatı ve cephe yüzeylerinde kullanılması BUFV sistem olarak tanımlanır. BEFV sistem ise bina inşaatı tasarım aşamasındayken FV sistem dikkate alınarak, FV modüller inşaatın bir parçası yani yapı malzemesi yerine kullanımı şeklinde ifade edilmiştir (Koryürek, 2008). BUFV ve BEFV sistemlerine ilişkin örnek görseller Şekil 45’de gösterilmiştir.



Şekil 45. (a) BUFV sistem görünümü (URL-8, 2022), (b) BEFV sistem görünümü (URL-9, 2015).

3.2. BEFV Sistem Avantajları

BUFV sistem kurulumu için bina yüzeyi veya çatı gibi bir yapıya gereksinim duyulur. Kurulum aparatları sayesinde kullanılan FV modüller zemine sabitlenerek kullanılır. BUFV sistemin bina ile işlevsellik ilişkisi bulunmadığından geleneksel bir yaklaşımdır. BEFV sistemde enerji üreten FV bileşen ise inşaat malzemesi yerine

kullanılmış ve bina ile işlevsellik ilişkisi vardır. BEFV sistemler, geleneksel FV sistem teknolojileri ile kıyaslandığında aşağıdaki avantajlara sahiptir.

- FV modül yapı elemanı olarak kullanıldığında hem temiz enerji üretmiş hem de binanın dış katmanını oluşturmuştur (Uzair vd., 2022).
- Entegre edilen FV modül dış katman olarak görev aldığından binanın ısıtma/soğutma yalıtımı işlevini gerçekleştirmiştir.
- Entegre edilmesi sayesinde ek montaj düzenekleri, malzemeler veya araziye ihtiyaç duyulmamıştır.
- BEFV sayesinde bina şebeke enerjisine ek olarak FV sistemden gelen enerjiyi kullanılmıştır.
- Enerji, tüketicilerin yakınında üretildiği için iletimden kaynaklanan kayıplar ve masraflar en aza indirilmiştir.

3.3. BEFV Teknolojisinin Tarihsel Gelişimi

ABD Enerji Bakanlığı 1970’li yılların sonlarına doğru FV teknolojisini, bina inşaatı yapı malzemesi olarak kullanılabilmesi için geliştirilen projelere destek olmuştur (Chen vd., 2022). 1980’li yıllarda General Electric, Solarex ve Sanyo gibi firmalar tarafından FV kiremit örneği geliştirilmiştir (Liu vd., 2021). 1982’de Münih’te Wohnanlage Richer adlı konutta ilk kez cam yüzeye entegre FV sistem kurulumu gerçekleştirilmiştir (Chen vd., 2022). 1986 yılında mühendis Markus Real, ev çatılarına FV sistem kurma fikrini ileri sürerek merkezi olmayan enerji üretim için FV sistem kullanma fikrini ortaya atmıştır. 1991 yılında yarı bina cephe yüzeyinde ilk kez yarı saydam cam olarak FV modüller kullanılmıştır. BEFV hakkında ilk uzman konferanslardan biri 1996 yılında Birleşik Krallık’ ta gerçekleştirilmiştir (Liu vd., 2021). Yine 1996 yılında Avrupa için güneş mimarisi (Solar Architecture For Europe) adlı çalışma yayımlanmış ve FV güneş hücreleri üzerine çalışmalar yapılmıştır. Uluslararası Enerji Ajansı 1997 yılında Güç Sistem Programı’nı geliştirerek binalarda FV sistemlerin mimari kalitesini, ekonomik ve teknik uygulanabilirliği iyileştirmeyi hedeflemiştir. 2001 yılında amorf silikondan üretilen 15kW’lık FV modüller ticari bir yapıda (4 Times Square Building) kullanılmıştır (Ekoe A Akkata vd., 2017). 2006 yılında bazı ülkeler BEFV ürünlerine çevrimiçi ortamlarda özel tarifeler uygulamış ve Çin’de 2009 yılında Altın Güneş Gösteri Projesi kurulmuştur (Liu vd., 2021).

3.4. BEFV Standardizasyonu ve Uygulama Şekilleri

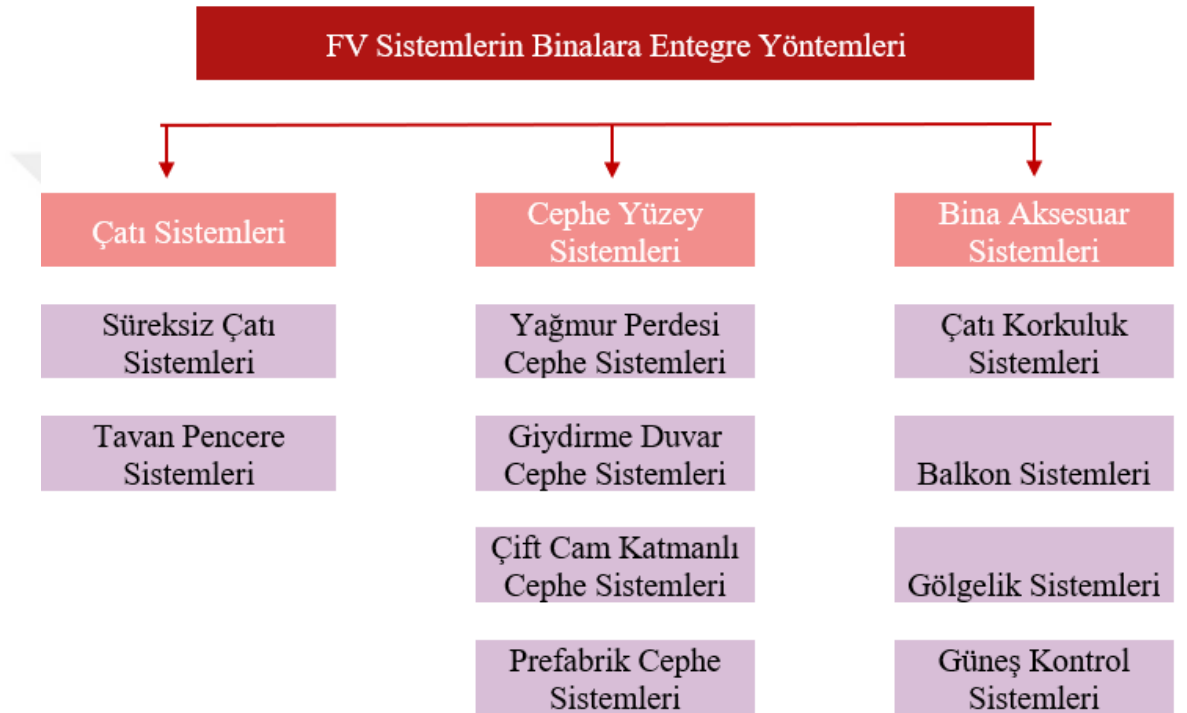
FV modüllerin binalarda yapı malzemesi olarak kullanabilmesi için standartlara uygun olmalıdır. 2016 yılında Avrupa EN 50583 standardı ‘Binalarda Fotovoltaik-Bölüm 1: BUFV Modüller’ ve ‘Binalarda Fotovoltaik-Bölüm 2: BUFV Sistemler’ başlıkları ile yayımlanmıştır. FV sistemlerin binalarda kullanımına uygun olabilmesi için hem FV modül standartlarına hem de bina standartlarına uygun olması gerekir. FV modül standartları, Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC), Avrupa Elektroteknik Komisyonu Standardizasyonu (CENELEC) ve İsviçre Elektroteknik Komitesi (CES); bina standartları ise Uluslararası Standardizasyonu Örgütü (ISO), Avrupa Standardizasyonu Komitesi (CEN) ve İsviçre Mühendisler ve Mimarlar Derneği (SIA) olarak tanımlanmıştır. EN 50583 standardı bahsedilen iki standart için istenilen teknik ihtiyaçları sağlamaktadır (Rosa, 2020).

EN 50583-1 standardının içeri incelendiğinde BEFV sistemlerde kullanılan FV modülün ısıl geçirgenlik hesaplamaları, çelik ve alüminyum yapıların tasarımı gibi zorunluluklar belirtilmiştir. (URL-10, 2016). EN 50583-2’de ise FV modüllerin binada hedeflenen montaj biçimlerine ait durumlar incelenmiştir (URL-11, 2016). Güneş (2019)’in de belirttiği gibi EN 50583 standardında, FV sistemlerin binalarda kullanımı beş montaj yöntemi ile incelenmiştir. Bu yöntemler, Şekil 46. (a)’da verildiği üzere BEFV modüllerin eğimli çatıda içeriden müdahale edilemeyecek şekilde kullanımı, Şekil 46. (b)’de bina içerisinden müdahale edilebilecek biçimde eğimli çatıya entegre edilmesi, Şekil 46. (c)’de bina cephesine içerisinden müdahale edilmeksizin FV modüllerin entegre edilmesi, Şekil 46. (d)’de içeriden erişilebilir şekilde bina cephesinde kullanımı ve Şekil 46. (e)’de ise bina aksesuarlarında yani balkon, panjurlar vb. gibi yerlerde kullanımı şeklinde belirtilmiştir (Güneş, 2019).



Şekil 46. EN 50583 standardına göre FV sistemlerin binalarda entegre çeşitleri

Şekil 46 incelendiğinde FV sistemlerin binaya entegresi çatı, cephe yüzeyleri ve bina aksesuarları olmak üzere üç çeşit sistem ile gerçekleşmektedir. Martin-Chivelet vd. (2022) yapmış olduğu çalışmada BEFV uygulama alanlarını çatı, cephe ve aksesuarlar olarak tanımlamış ve balkonda uygulanan FV sistemler bina aksesuarları içerisinde incelenmiştir. Yapılan bir çalışmada ise binalarda FV sistemlerin kullanımı çatı, cephe, balkonlar ve gölgelendirme araçları olmak üzere dört kategoriye ayrılmaktadır (Skandalos vd., 2022). Bu iki çalışma göz önüne alınarak BEFV uygulama yaklaşımları Şekil 47’de paylaşılmıştır.



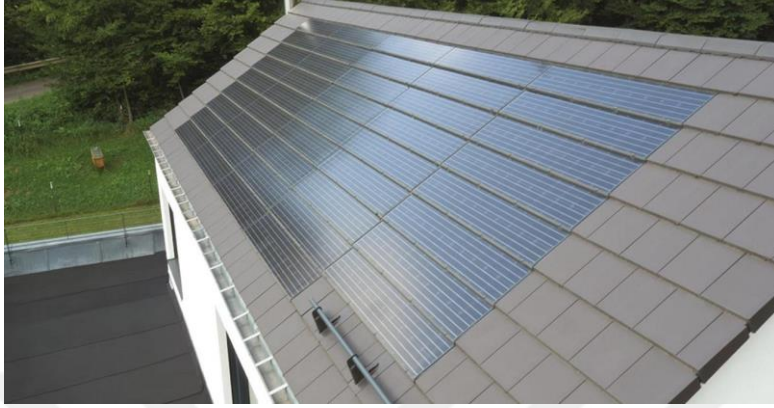
Şekil 47. FV sistemlerin binalara entegre yöntemlerinin sınıflandırılması

3.4.1. BEFV’de Binalara Entegre Yöntemi: Çatı Sistemleri

Bina çatılarında genellikle kullanılmayan alanlar bulunmaktadır. Çatıların sağladığı geniş alan, FV sistemlerin binaya entegrasyonu için ideal olmaktadır. Ayrıca BEFV sistemli binanın çevresinde yüksek katlı binalar olmadığı durumda zemin seviyesinde kurulu FV sistem ile kıyaslandığında daha az gölgelenme olmakta ve daha fazla güç elde edilmektedir. Çatıya entegre BEFV sistemleri: süreksiz, sürekli sistemler ve avlu/tavan pencereleri şeklinde üç kategoride incelenebilir.

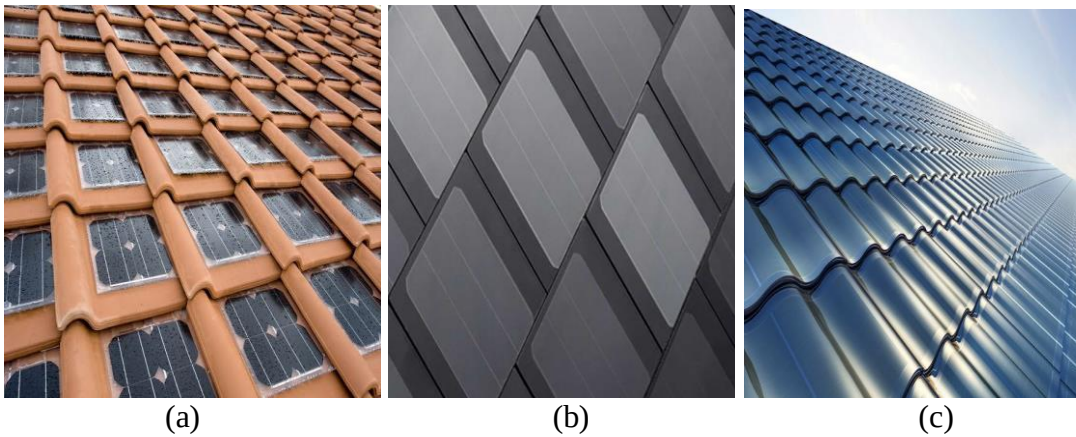
3.4.1.1. Süreksiz Çatı Sistemleri

Kar, yağmur gibi suların bina içerisine girmeden tahliye olmasını hedefleyen ve kiremit gibi malzemelerin kullanıldığı geleneksel çatı türü süreksiz çatı olarak tanımlanır. Süreksiz çatı sistemi örneği Şekil 48’de gösterilmiştir.



Şekil 48. BEFV’nin süreksiz çatı sisteminde uygulanması (URL-12, 2019).

FV sistemlerin süreksiz çatıya entegrasyonu solar kiremitler ile uygulanmaktadır. Solar kiremitler ile çatı daha estetik bir görünüme sahip olmakla birlikte, sistem kurulum işlemleri kolaylaşmaktadır. Ayrıca geleneksel kiremitlere göre daha dayanıklı bir yapıya sahiptir. Sürekli çatılar, solar kiremitler ile eğimli ve saydam olmayan bir kabuktan oluşur. Solar kiremitlerin dezavantajı: eğimli ve uygun açıda sahip çatı, yeni binalarda ya da bütün geleneksel kiremitlerin değiştirilebileceği binalar ve ilk maliyetleri geleneksel kiremitlere göre daha yüksek olması şeklinde sıralanabilir (URL-13, 2022). Solar kiremit çeşitlerine ait uygulama örnekleri Şekil 49’da verilmiştir.



Şekil 49. Solar kiremit çeşitlerine ait görseller: (a) (URL-14, 2019), (b) (URL-15, 2022), (c) (URL-16, 2022).

3.4.1.2. Tavan Penceresi Sistemleri

Tavan pencereleri, FV sistemin bina çatısının tamamı ya da bir kısmına entegre edildiği yapı elemanı olarak ifade edilir. Tavan pencerelerinde kullanılan FV modüller genellikle şeffaf ve yarı şeffaf özelliğe sahiptir. Tavan penceresi şeklindeki BEFV’de ortamı hava olaylarından koruma, su geçirmeme ve güneş ışınları vasıtasıyla ortamı aydınlatma gibi avantajlar vardır. Tavan pencerelerinde ait örnek görünüm Şekil 50’de gösterilmiştir.



Şekil 50. (a) Bell Works, Bell laboratuvarı (b) Şanser şeridi (URL-17, 2019).

3.4.2. BEFV’nin Binalara Entegre Yöntemi: Cephe Yüzey Sistemleri

Binalarda FV sistemlerin entegre edilmesi için bina cephe yüzeyleri kullanılabilir. Cephe sistemlerinde genellikle opak veya şeffaf FV modüller tercih edilmektedir. Cephe yüzeylerinde kullanılan şeffaf modüller sayesinde yaz mevsiminde aşırı ısınma azaltılmakta ve kış mevsiminde ise güneş ışığından daha fazla yararlanılmaktadır.

3.4.2.1. Yağmur Perdesi Cephe Sistemleri

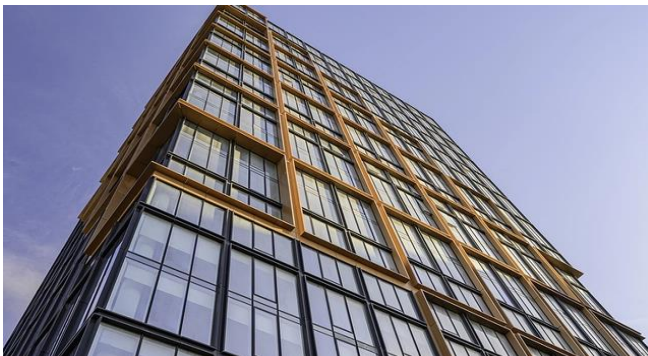
Yağmur perde cephesi; taşıyıcı alt yapı, hava boşluğu ve kaplama panelinden meydana gelir. Aktif olmayan bina elemanları üzerine FV modüller entegre edilir. Yağmur perde cephesinde alt ve üst açıklıklar bulunmaktadır. Bu açıklıklar, güneşten gelen ısıyı hava boşluğunun içerisinde doğal olarak dağılmasını sağlar. Yağmur perde cephesinde bu olayın gerçekleşmesi “Soğuk Cephe” olarak da anılmasını sağlamaktadır (BIPVBOOST, 2019). Şekil 51’de yağmur perdesi cephe BEFV örneği gösterilmiştir.



Şekil 51. Yağmur perde cephe görünümü (Pillai vd., 2022).

3.4.2.2. Giydirme Duvar Cephe Sistemleri

Binanın dış cephe duvarlarında yapısal inşaat malzemesi kullanılmadan, FV modüllerin alt yapı ile desteklenerek oluşturulan BEFV uygulama yöntemi giydirme duvar cephesi olarak tanımlanmaktadır. Giydirme duvar cephesi tamamen veya bir kısmı camlı, sürekli bir yapıya sahiptir. Bu yöntemde havalandırma boşluğu yoktur. Giydirme duvar cephe sayesinde binanın içi ve dışı birbirinden ayrılmakta ve doğa olaylarına karşı (hava ve su sızdırmazlığı) dayanabilecek form oluşmaktadır (Status Report, 2020). Bina cephesi alüminyum bir çerçeve ile donatılmakta ve çerçevelerin içleri cam tabaka ile doldurulmaktadır. Burada kullanılan cam tabaka FV özelliğe sahiptir. Giydirme duvar cephe yöntemi yük taşıma işlevi, ses geçirgenliği ve ısı yalıtımı, güneş ışınlarının bina içerisinde kullanımı ve su geçirmemesi gibi özelliklere sahiptir (BIPVBOOST, 2019). Şekil 52’de giydirme duvar cephe tipi BEFV örneği gösterilmiştir.



Şekil 52. Giydirme Duvar Cephe görünümü (URL-18, 2022).

3.4.2.3. Çift Cam Katmanlı Cephe Sistemleri

Çift cidarlı cephe, iki cam katmandan oluşur ve aradaki boşluktan hava akışı sağlanır. Boşlukta havanın akışı doğal ve mekanik olarak gerçekleştirilebilmektedir.

Çift cam katmanlı cephe tasarımında iki cam katman arasındaki mesafe 20cm ile 2m arasında uygulanabilmektedir. Ayrıca iki cam katman arasındaki havalandırma boşluğu ısı ve ses yalıtımı görevi görmektedir. Bina cephe yüzeyine yakın olan cam (iç cam) yalıtılmakta, dış tarafta kalan cam (dış cam) ise FV modüllerin yerleştiği kısım olarak kullanılmaktadır (BIPVBOOST, 2019). Şekil 53’de örnek bir BEFV sistemi verilmiştir.



Şekil 53. Çift cam katmanlı cephe (PVPS, 2021), (URL-19, 2019).

3.4.2.4. Prefabrik/Çok fonksiyonlu Cephe Sistemleri

Prefabrik cephe, yapı malzemesi üretim tesisinde üretilip, montaja hazır bir formda inşaat şantiyesine getirilmekte ve binaya entegre işlemi gerçekleştirilmektedir. Prefabrik cephe malzemesi FV katman, koruyucu katmanlar ve alt yapıların birleşmesi ile oluşur. Prefabrik cephe malzemesinin binalarda kullanımı geleneksel bina ile kıyaslandığında yüksek kalite, kurulum kolaylığı, yapı malzemesinin kolay bir şekilde takılıp sökülmesi ve yeniden kullanılabilir olması, insan gücüne olan talebin azalması, inşaat atıklarında ki azalma gibi avantajlara sahiptir. Prefabrik cephe malzemesi ve maket proje üzerinde kullanıma ait görünüm Şekil 54’de gösterilmiştir (Chen vd., 2023).



Şekil 54. Prefabrik cephe malzemesi görünümü (sol), maket proje üzerinde uygulama görünümü (sağ) (Chen vd., 2023).

3.4.3.BEFV'nin Binalara Entegre Yöntemi: Bina Aksesuar Sistemleri

Çatı korkulukları, balkonlar ve gölgelikler bina aksesuarı olarak bilinir ve BEFV sistemler bina aksesuarları olarak kullanılabilir. Gölgeleme sistemleri en çok tercih edilen aksesuar olarak öne çıkmıştır.

3.4.3.1. Çatı Korkuluklarında BEFV Kullanımı

Bina çatısının eğimli bir yüzey alanına sahip olmadığı durumlar için düşmeye karşı koruyucu önlem almak için kullanılan korkuluklarda FV sistemler entegre edilmektedir. Korkuluklarda opak veya şeffaf özelliğe sahip FV modüller kullanılır. Geleneksel bina yapı malzemesi yerine BEFV sistem kullanımıyla beraber enerji üretimi gerçekleştirilir. Bina çatı korkuluğu tipi BEFV örneği Şekil 55'te gösterilmiştir (URL-20, 2014).



Şekil 55. Çatı korkuluğu tipi BEFV sistem örneği

3.4.3.2. Balkonlarda BEFV Kullanımı

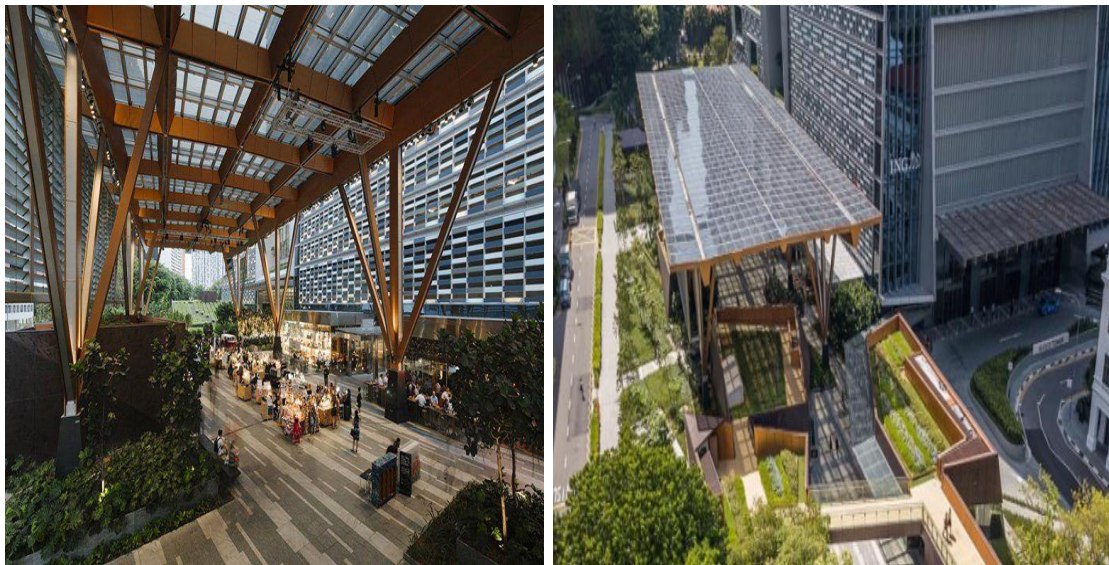
Balkon korkuluklarında FV modüllerin kullanıldığı BEFV uygulamasıdır. Şekil 56’da balkon tipi BEFV örneği görülmektedir. Balkon korkuluklarında FV sistemlerin entegre edilmesi estetik görünüm, mimari düzen, güneş ışınımından elektrik enerjisi üretme ve enerji tasarrufu gibi avantajlara sahiptir (URL-20, 2014).



Şekil 56. Balkonlarda FV sistemlerin entegre edilmiş görünümü (URL-21, 2017).

3.4.3.3. Gölge Tipi BEFV

İhtiyaç duyulan boyutlarda tasarımı yapılan duvarları kapalı olmayıp çatıya sahip yapılar, hava koşullarına bağlı olarak barınma ve gölge olarak kullanılmaktadır. Gölge için kullanılan çatı üzerine FV sistem entegre edilebilmektedir. Bu kullanım yönteminde termal korumaya ihtiyaç duyulmamaktadır (BIPVBOOST, 2019). Gölge tipi BEFV örneği Şekil 57 ve Şekil 58’de gösterilmiştir. Şekil 57’de gölge yaşam alanı, Şekil 58’deki görüntüde ise otopark olarak kullanılmaktadır.



Şekil 57. Gölge çatısında FV sistem entegre görünümü (URL-22, 2020).



Şekil 58. Otopark alanlarında BEFV'nin gölgeliklerde kullanımı (URL-23, 2012).

3.4.3.4. Güneş Kontrol Sistemlerinde BEFV Kullanımı

Binada yer alan kepenk, panjur veya tente gibi yapılar güneş kontrol mekanizmaları olarak bilinir. FV sistemlere entegre edilmiş güneş kontrol mekanizmaları bina cephesine dikey veya yatay biçimde ve sabit ya da kontrol edilebilir olarak monte edilebilir. Güneş kontrol sistemi formunda BEFV sistem örneği Şekil 59'da gösterilmiştir.



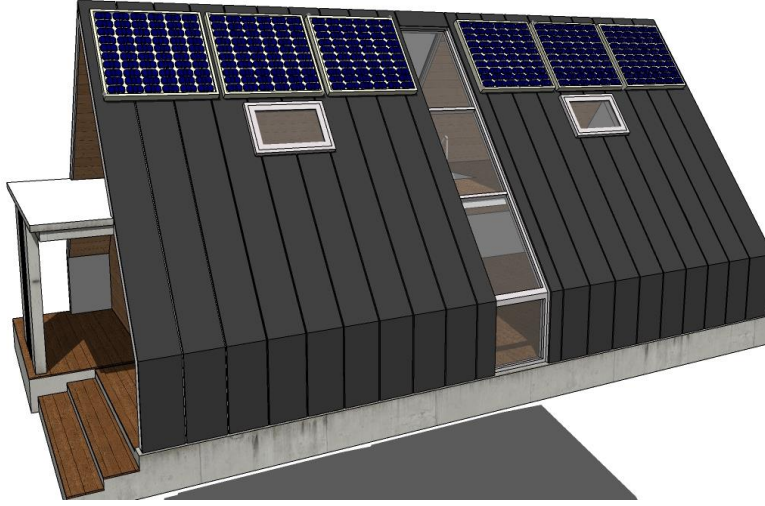
(a)

(b)

Şekil 59. Güneş kontrol mekanizmalarının seri (a) ve paralel (b) olarak monte edilmesi (URL-24, 2023).

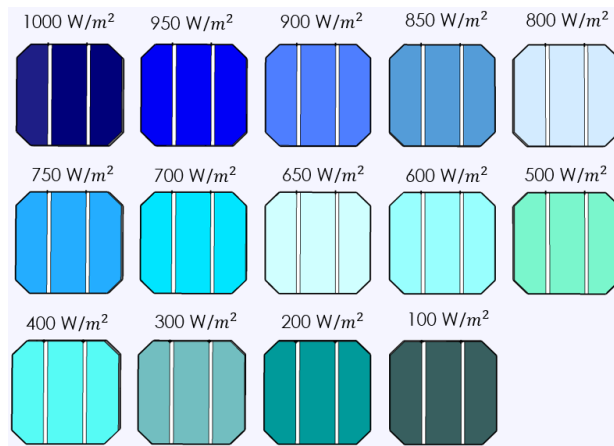
4. FV SİSTEMİN MODELLENMESİ VE SİMULAYON ÇALIŞMALARI

Bu tez çalışmasında FV modüllerin bina çatısına entegre edilip, modüllerin parçalı gölgelenmeye maruz kaldığı durumlardaki enerji üretim performansları incelenmiştir. FV modülleri bina çatı yüzeyine entegre ederek tasarım gerçekleştirilmiş ve Şekil 60'da gösterilmiştir. İlk olarak çatıya yerleştirilen FV modüllerin maruz kaldığı güneş ışınım değerleri için üç farklı senaryo uygulanmıştır. Senaryolarda güneş ışınım değerleri belirlenirken çatıya entegre edilen FV modüllerin konumu göz önüne alınarak keyfi değerler seçilmiştir.



Şekil 60. Çatıya entegre FV sistem örneği

FV modüllerin maruz kaldığı ışınım miktarlarını görselleştirmek için Şekil 61'deki renk şablonu kullanılmıştır.

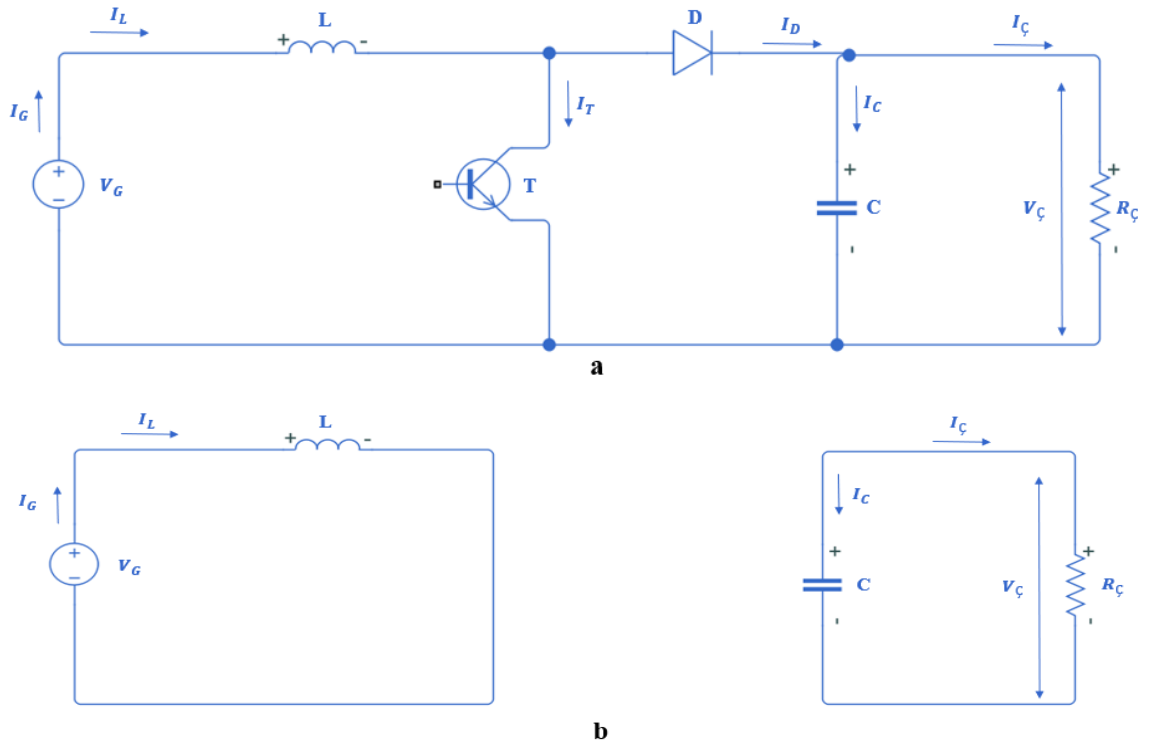


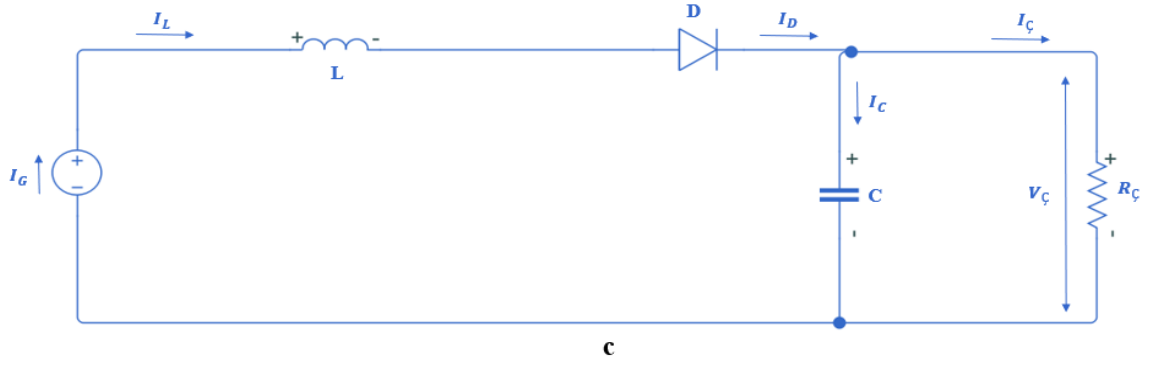
Şekil 61. FV modüllerdeki farklı ışınım için kullanılan renk şablonu

FV sistemin MGN takibi için D&G algoritması kullanılmıştır. Yapı çatısına entegre edilen FV sistemin farklı parçalı gölgelenme senaryoları için MATLAB/SIMULINK’de simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Simülasyon çalışmalarında merkezi MGNİ, modül tabanlı MGNİ ve alt-modül tabanlı MGNİ mimarileri karşılaştırılmıştır. Her MGNİ mimarisinde üç adet ışınlım profili kullanılmış ve bunlar sırasıyla Senaryo-1, Senaryo-2 ve Senaryo-3 olarak tanımlanmıştır. Simülasyon çalışmalarında üç farklı ışınlım senaryosuna bağlı olarak farklı MGNİ mimarilerinde üretilen güç değerleri tespit edilmiş ve güç/enerji üretim performansları incelenmiştir. Bu çalışmalara ek olarak tarama yöntemi kullanılarak merkezi ve modül tabanlı MGNİ mimarilerinde Senaryo-1’e ait ışınlım değerleri altında FV sistemin enerji üretim performansları incelenmiştir.

4.1. Yükseltici DA-DA Dönüştürücü

DA-DA yükseltici dönüştürücü giriş gerilimi değerini yükselterek daha büyük çıkış gerilimlerinin elde edildiği güç elektroniği devresidir. DA-DA yükseltici dönüştürücü için analiz aşaması yarı iletken anahtarın iletim ve kesim hali olmak üzere iki durumda incelenebilir (Hart, 2011). Şekil 62.a’da DA-DA yükseltici devresinin görünümü, yarı iletken anahtarın iletim ve kesim durumları sırasıyla Şekil 62.b ve Şekil 62.c’de gösterilmiştir.





Şekil 62. DA-DA yükseltici dönüştürücü a) temel devre şeması, b) yarı iletken anahtarın iletim durumu, c) yarı iletken anahtarın kesim durumu

Yarı iletken anahtar iletimdeyken endüktans elemanı giriş gerilimi tarafından beslenir. Bunun sonucunda endüktans akımı artar ve endüktansın enerji seviyesi de yükselir. Bu esnada yük kondansatör üzerinden beslenmektedir. Yarı iletken anahtar $t=t_D$ anında kesime girer ve enerjiye sahip olan endüktans ile diyot iletime geçer. Giriş gerilimi ve endüktansta biriken enerji $t=t_P-t_D$ zaman aralığı boyunca yükü besler. Böylece endüktansta biriken enerji ve akım azalırken, kondansatör ise dolmaya başlar. Yarı iletken anahtarın kesimde olduğu zaman aralığında çıkış gerilimi, giriş gerilimi ve endüktans geriliminin toplamına maruz kaldığından gerilim değeri yükselmektedir.

Yarı iletken iletim durumundayken endüktans akımındaki dalgalanma miktarı Eşitlik 10 ile hesaplanır.

$$\Delta I_{LP} = \frac{V_G}{L} t_D \quad (\text{Eşitlik 10})$$

Bu eşitlikte:

ΔI_{LP} : Endüktans akımı pozitif değişimi (A)

V_G : Dönüştürücünün giriş gerilimi (V)

L : Endüktans (mH)

t_D : Yarı iletkenin iletim süresini (μs) vermektedir.

Yarı iletken anahtar kesim durumuna geçtikten sonra, $t=t_P-t_D$ aralığındaki endüktans akımındaki dalgalanma miktarı ise Eşitlik 11'deki gibi hesaplanabilir.

$$\Delta I_{LN} = \frac{(V_C - V_G)}{L} (t_P - t_D) \quad (\text{Eşitlik 11})$$

Bu eşitlikte:

t_P : Yarı iletkenin anahtarlama periyodu, (μs)

V_{ζ} : Dönüştürücünün çıkış gerilimi (V)

ΔI_{Ln} : Endüktans akımı negatif değişimini (A) ifade etmektedir.

Endüktans üzerindeki gerilimin pozitif ve negatif alanları sürekli halde birbirine eşit olmalıdır. Eşitlik 10 ve Eşitlik 11'deki bağıntılar birbirine eşitlenerek denklem sadeleştirildiğinde ortalama çıkış gerilimi Eşitlik 12'ki gibi elde edilir. Bu eşitlikte D görev oranını vermektedir.

$$V_{\zeta} = \frac{V_G}{1-D} \quad (\text{Eşitlik 12})$$

Eşitlik 12'de ki giriş ve çıkış gerilimlerin eşitliğinden, çıkış akımı için Eşitlik 13'deki denklem bağlantısı yazılır.

$$I_{\zeta} = \frac{I_G}{1-D} \quad (\text{Eşitlik 13})$$

Bu eşitlikte:

I_G : Dönüştürücünün giriş akımı (A)

I_{ζ} : Dönüştürücünün çıkış akımı (A) olarak ifade edilmektedir.

Eşitlik 12'deki bağlantılar Eşitlik 11'de ilgili yerlere yazılıp, eşitlikler çözüldüğünde endüktans değeri Eşitlik 14'deki bağlantı ile hesaplanabilir.

$$L = \frac{V_{\zeta} D (1-D)}{f_P \Delta I_L} \quad (\text{Eşitlik 14})$$

Bu eşitlikte:

ΔI_L : Endüktans akım dalgalılığı (A)

f_P : Anahtarlama frekansı (Hz) olarak tanımlanır.

DA-DA yükseltici dönüştürücüde çıkış kondansatörü gerilim değerinin artma ve azalma miktarının birbirine eşit olması için sürekli halde ve kayıpsız olarak çalışması gerekmektedir. Kondansatör değeri Eşitlik 15 ile elde edilebilir.

$$C = \frac{I_{\zeta} D}{f_P \Delta V_{\zeta}} \quad (\text{Eşitlik 15})$$

Bu eşitlikte:

C : Kondansatör (μF)

ΔV_C : Kondansatör gerilim dalgalılığını (V) vermektedir.

4.2. Verim Değerinin Hesaplanması

MATLAB/SIMULINK'te uygulanan simülasyonun toplam süresi 1.65s, periyot süresi 0.275s'dir. Her periyotta 3ms'de bir FV modülün çıkışındaki güç değerleri güncellenmiş ve 92 adet güç değeri okunmuştur. Bir periyot için elde edilen anlık güç miktarlarının toplamı Eşitlik 16'da sunulmuştur.

$$W_{toplaml,n} = \sum_{i=1}^{92} p_{anlıkguç,i} \quad (\text{Eşitlik 16})$$

Bu eşitlikte:

$W_{toplaml,n}$ = Bir periyottaki anlık güç miktarlarının toplamı (W)

$p_{anlıkguç,i}$ = FV modülün çıkışındaki anlık güç değerini (W) temsil etmektedir.

Simülasyon sonucu FV modüller için MGNİ verimi Eşitlik 17 ile hesaplanır.

$$\eta = 100 * \left(\sum_{n=1}^6 \frac{W_{toplaml,n}}{p_{teorik,n}} \right) \quad (\text{Eşitlik 17})$$

Bu eşitlikte:

η = FV modül çıkışındaki verim

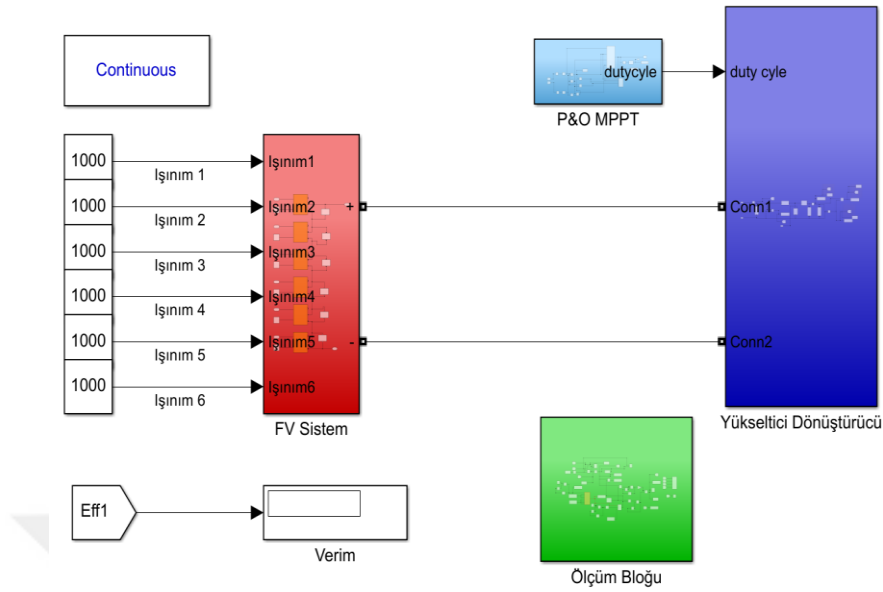
$p_{teorik,n}$ = FV modülün çıkışındaki gücün teorik değeri (W) vermektedir.

4.3. Merkezi MGNİ Mimarisi

Merkezi MGNİ mimarisinde FV modüller birbirine seri olarak bağlanmıştır. Birbirlerine seri olarak bağlanan FV modüllerin çıkışına bir adet DA-DA yükseltici dönüştürücü devresi bağlanmış ve D&G algoritması ile MGNİ gerçekleştirilmiştir. MATLAB/SIMULINK programında, merkezi MGNİ mimari için oluşturulan çalışmaya ait ekran görünümü Şekil 63'te gösterilmiştir.

Merkezi MGNİ mimarisinde, altı adet Tablo 6'da özellikleri verilen FV modül seri bağlanmıştır. FV modül, DA-DA yükseltici dönüştürücü ve D&G algoritması gibi merkezi MGNİ mimari yapısındaki bileşenlerin özellikleri Tablo 6'da listelenmiştir. Seri bağlı olan FV modüllerin MGN'deki gücü 1500W, gerilimi 181.86V ve akımı 8.25A'dır. Ayrıca DA-DA yükseltici dönüştürücü anahtarlama frekansı 40kHz olarak

belirlenmiştir. Anahtarlama frekansı tüm MGNİ mimarilerinde 40kHz olarak kabul edilmiştir.



Şekil 63. Merkezi MGNİ mimarisi için Simulink modelinin ekran görünümü

Tablo 6. Merkezi MGNİ mimarisindeki bileşenlerin özellikleri

Merkezi mimarideki bileşenlerin özellikler	
FV modül özellikleri	
Bosch solar energy c-Si M60 NA42117 250W *6 tane seri bağlı	
MGN'deki güç (W)	1500.34
MGN'deki gerilim (V)	181.86
MGN'deki akım (A)	8.25
Açık devre gerilim değeri (V)	227.4
Kısa devre akımı (A)	8.82
Yükseltici DA-DA dönüştürücüye ait değerler	
C _{GİRİŞ} (F)	1500 μ
C _{ÇIKIŞ} (F)	500 μ
Endüktans (H)	2.5 m
Direnç (Ω)	150
D&G algoritmasına ait değerler	
D _{MAX}	0.95
D _{MIN}	0.1
D _{BAŞLANGIÇ}	0.5
ΔD	0.005
Frekans (kHz)	40

MATLAB/SIMULINK'te gerçekleştirilen simülasyon çalışmalarında Senaryo-1'de FV modüllerin tamamı standart şartlar altında ve 1000W/m²'lik eşit ışıma maruz kalmıştır. Çatı yüzeyine entegre edilen FV modüllerdeki parçalı gölgelenme durumunu temsil etmek için Senaryo-2 ve Senaryo-3'deki ışıma değerleri geliş güzel

oluşturulmuştur. Senaryo-2’de hafif parçalı gölgelenme ve Senaryo-3’te şiddetli parçalı gölgelenme olup, hafif parçalı gölgelenmede P-V eğrisinde MGN sayısı iki, şiddetli parçalı gölgelenmede durumunda dört ile altı arasında MGN mevcuttur. Bu senaryolara ait ışıınım miktarlarının paylaşıldığı tablolarda yeşil renk ile renklendirilen alanlar global MGN’ye ulaşıldığını, kırmızı renkli alanlarda ise yerel MGN’de takılı kaldığını ifade eder. Tabloların bazılarında MGN’deki güç değerinin olduğu alanlarda yeşil veya kırmızı renk kullanılmamıştır. Bu durum hem global MGN’ye hem de yerel MGN’ye ulaşılmadığı anlamına gelir. Renklendirme için kullanılan yöntem modül tabanlı MGNİ ve alt-modül tabanlı MGNİ mimarilerinde de geçerlidir.

4.3.1. Senaryo-1: Düzenli Işıınım Durumu

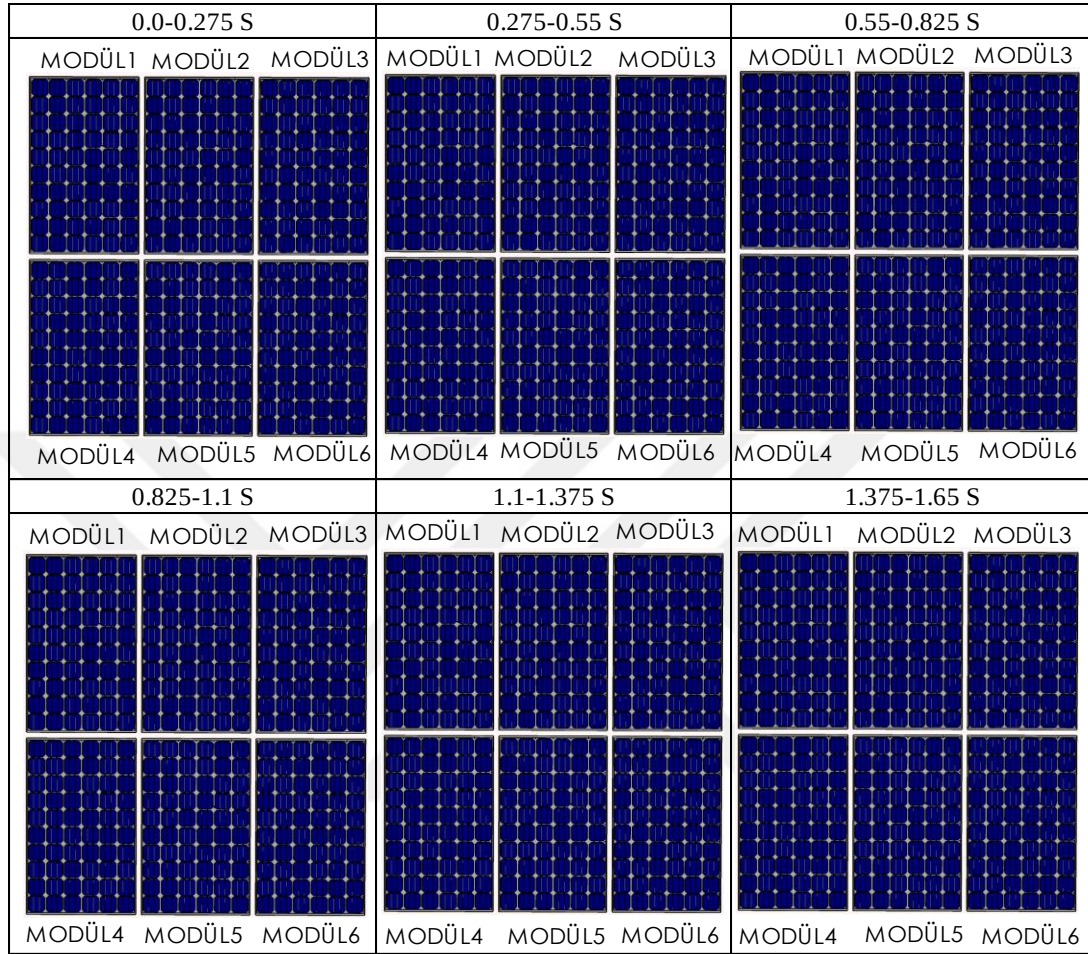
MATLAB/SIMULINK’te Senaryo 1 simülasyon çalışmasında modül 1, modül 2, modül 3, modül 4, modül 5 ve modül 6’ya sırasıyla ışıınım 1, ışıınım 2, ışıınım 3, ışıınım 4, ışıınım 5 ve ışıınım 6’daki ışıınım değerlerine maruz kalmıştır. Simülasyon süresi toplamda 1.65s ve bu süre boyunca FV modüllere 1000W/m^2 ışıınım uygulanmıştır. FV modüllere uygulanan ışıınım değeri ve P-V grafiğinde elde edilen MGN’deki güç değeri Tablo 7’de paylaşılmıştır. Simülasyon sonucu elde edilen veriler incelendiğinde FV sistemin hedeflenen güç ve gerilim değerlerine ulaştığı tespit edilmiştir. FV modüllere uygulanan ışıınımlar sonucunda P-V grafiğindeki MGN tepe değeri 1500.43 W olarak elde edilmiştir.

Tablo 7. Merkezi MGNİ mimarisinde Senaryo-1’de ışıınım miktarları ve MGN’deki güç değerleri

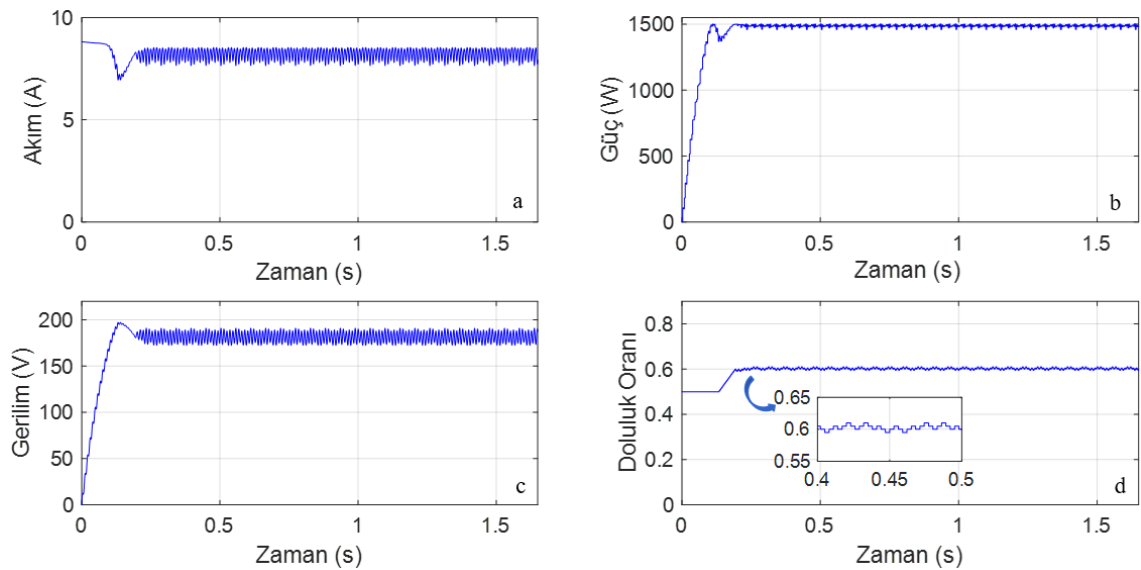
Senaryo-1	Zaman (s)					
	0-0.275	0.275-0.55	0.55-0.825	0.825-1.1	1.1-1.375	1.375-1.65
Işıınım 1 (W/m^2)	1000 W/m^2					
Işıınım 2 (W/m^2)						
Işıınım 3 (W/m^2)						
Işıınım 4 (W/m^2)						
Işıınım 5 (W/m^2)						
Işıınım 6 (W/m^2)						
Tepe 1: MGN’deki güç değeri (W)	1500.43					

Senaryo-1’de FV modüllerin maruz kaldığı ışıınımların renk şablonuna göre görünümü Şekil 64’de paylaşılmıştır. Simülasyon sonuçları Şekil 65’de sunulmuş olup,

Şekil 65.(b)'de FV sistemin 1500W güç ürettiği tespit edilmiştir. FV modüllere uygulanan ışınım sabit olduğundan, parçalı gölgelenme durumu söz konusu değildir ve P-V eğrisinde sadece bir adet MGN vardır. Merkezi MGN mimarisinde Senaryo-1 için MGN verimi %96.45 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 64. Senaryo-1 için FV sistemin renk şablonuna göre görünümü



Şekil 65. Merkezi MGNİ mimarisi Senaryo-1 için simülasyon sonuçları: (a) FV sistem akım değişimi (b) FV sistem güç değişimi, (c) FV sistem gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi

4.3.2. Senaryo-2: Hafif Parçalı Gölgeleme Durumu

Senaryo-2’de merkezi MGNİ mimarisinin hafif parçalı gölgeleme durumu incelenmiştir. Simülasyonda FV modüllere uygulanan ışınlam değerleri 0.275s’lik periyotlarda değişmiştir. Tablo 8’de ışınlam değerleri ve FV sistemin P-V grafiği ile elde edilen global MGN ve yerel MGN değerleri sunulmuştur. FV modül-1, ışınlam-1’deki ışınlam değerlerine maruz kalmıştır. Modül-1’e uygulanan ışınlam miktarları 0-0.275s aralığında 1000W/m², 0.275-0.55s zaman aralığında 800W/m², 0.55-0.825s aralığında 600W/m², 0.825-1.1s aralığında 500W/m², 1.1-1.375s aralığında 400W/m² ve 1.375 ile 1.65s arasında ise 200W/m²’dir. Tablo 8’e göre hangi modülün hangi zaman aralığında maruz kaldığı ışınlam değerleri görülebilir.

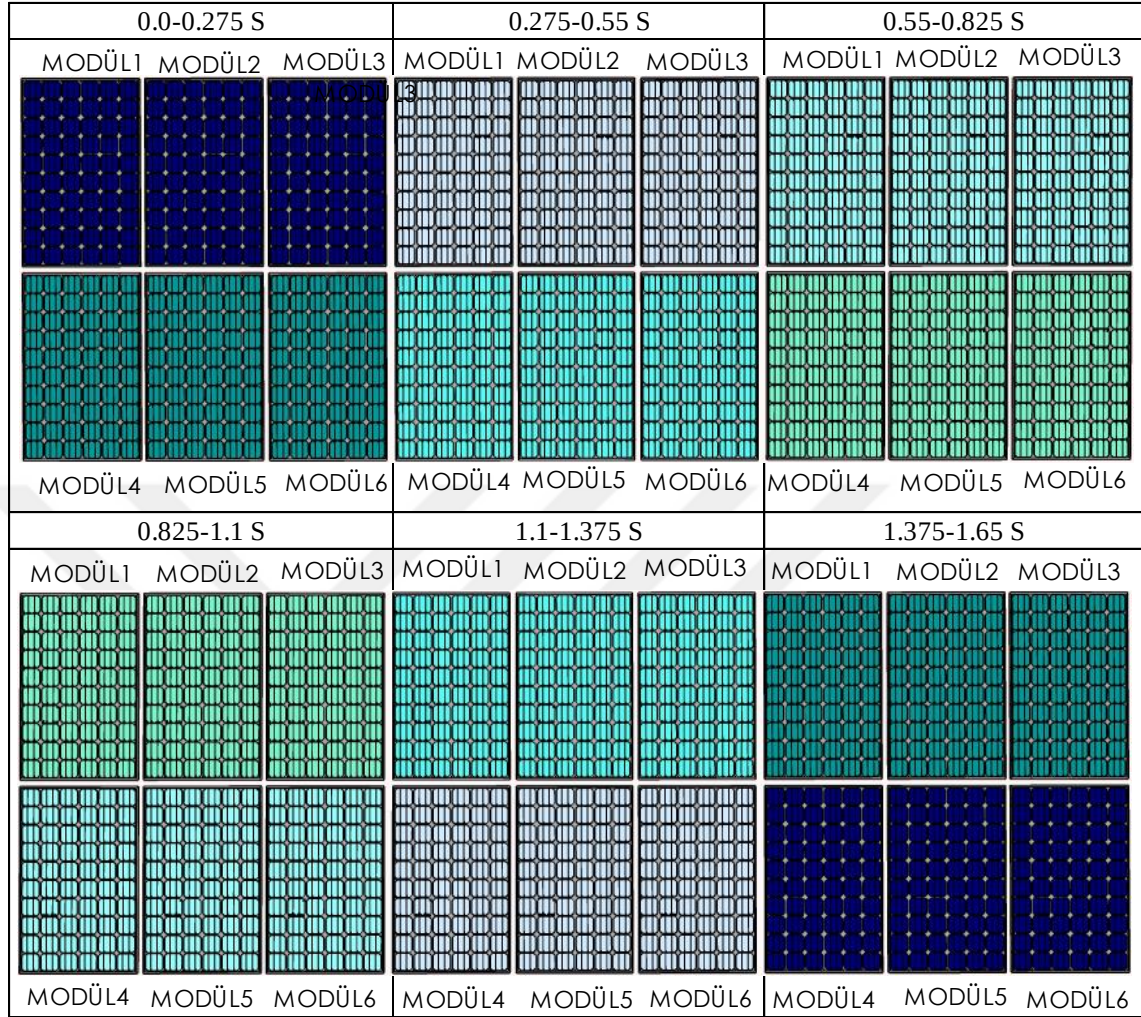
Tablo 8’de 0-0.275s aralığında FV modül-1, FV modül-2 ve FV modül-3’e 1000W/m² ve FV modül-4, FV modül-5 ve FV modül-6’ya 200W/m² ışınlam uygulanmıştır. Belirtilen zaman aralığında P-V grafiği oluşturulduğunda global MGN ve yerel MGN olmak üzere iki tepe oluştuğu görülmüştür. Bu durum diğer zaman aralıklarında da geçerlidir.

Tablo 8. Merkezi MGNİ mimarisi Senaryo-2’de uygulanan ışınlam miktarları ve MGN’deki güç değerleri

Senaryo-2	Zaman (s)					
	0-0.275	0.275-0.55	0.55-0.825	0.825-1.1	1.1-1.375	1.375-1.65
İşinım 1 (W/m ²)	1000	800	600	500	400	200
İşinım 2 (W/m ²)	1000	800	600	500	400	200
İşinım 3 (W/m ²)	1000	800	600	500	400	200
İşinım 4 (W/m ²)	200	400	500	600	800	1000
İşinım 5 (W/m ²)	200	400	500	600	800	1000
İşinım 6 (W/m ²)	200	400	500	600	800	1000
Tepe 1: MGN’deki güç değeri (W)	730.31	661.06	797.1	797.1	661.06	730.31
Tepe 2: yerel MGN’deki güç değeri (W)	336.97	589.6	444.75	444.75	589.6	336.97

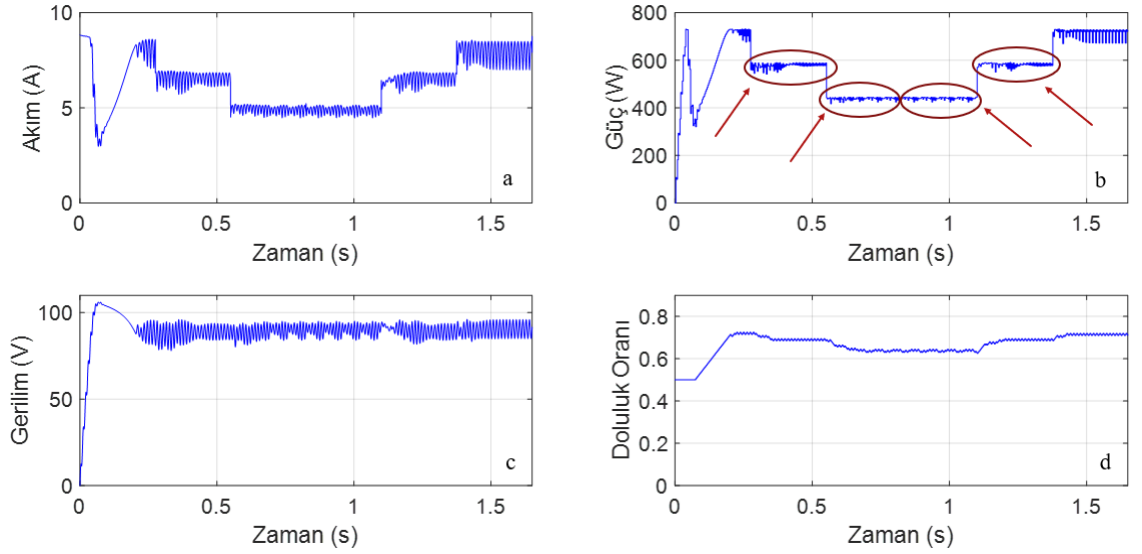
Merkezi MGNİ mimarisinde Senaryo-2’ye için gerçekleştirilen simülasyon çalışmasında FV modüllere uygulanan ışınlamaların görünümü Şekil 66’da verilmiş ve

parçalı gölgelenme durumu modüllerin farklı renk şablonlarına sahip olmasından anlaşılmaktadır.



Şekil 66. Merkezi MGNİ mimarisi için Senaryo-2’de parçalı gölgelenmenin görünümü

Şekil 67’de Senaryo-2’ye ait simülasyon sonuçları verilmiştir. Tablo 8’de 0-0.275s ve 1.3175-1.65s aralıklarında MGN’de güç değeri 730.31W’dır. Simülasyon çalışması sonucunda Şekil 67.(b) incelendiğinde, belirtilen zaman aralıklarında MGN’ye ulaşılmış ve MGN’de çalışmaya devam edilmiştir. Tablo 8’de 0.275-0.55s zaman aralığında MGN’deki güç değeri 661W’dır. Simülasyon çalışması sonucunda ise bahsedilen zaman aralığında FV modüllerin çıkışında 599W güç üretilmiştir. Bu durumda ilgili zaman aralığında sistem global MGN’ye ulaşamayıp, yerel MGN’de takılı kalmıştır. Şekil 67.(b)’de 0.55-0.825s, 0.825-1.1s ve 1.1-1.375s zaman aralıklarında da FV sistemin yerel MGN’ye takılı kaldığı ve MGN’ye ulaşamayan anlar kırmızı çerçeve ile gösterilmiştir. Simülasyon sonucunda MGNİ verimi %75.85 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 67. Merkezi MGNİ mimarisi Senaryo-2 için simülasyon sonuçları: (a) FV sistem akım değişimi, (b) FV sistem güç değişimi, (c) FV sistem gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi

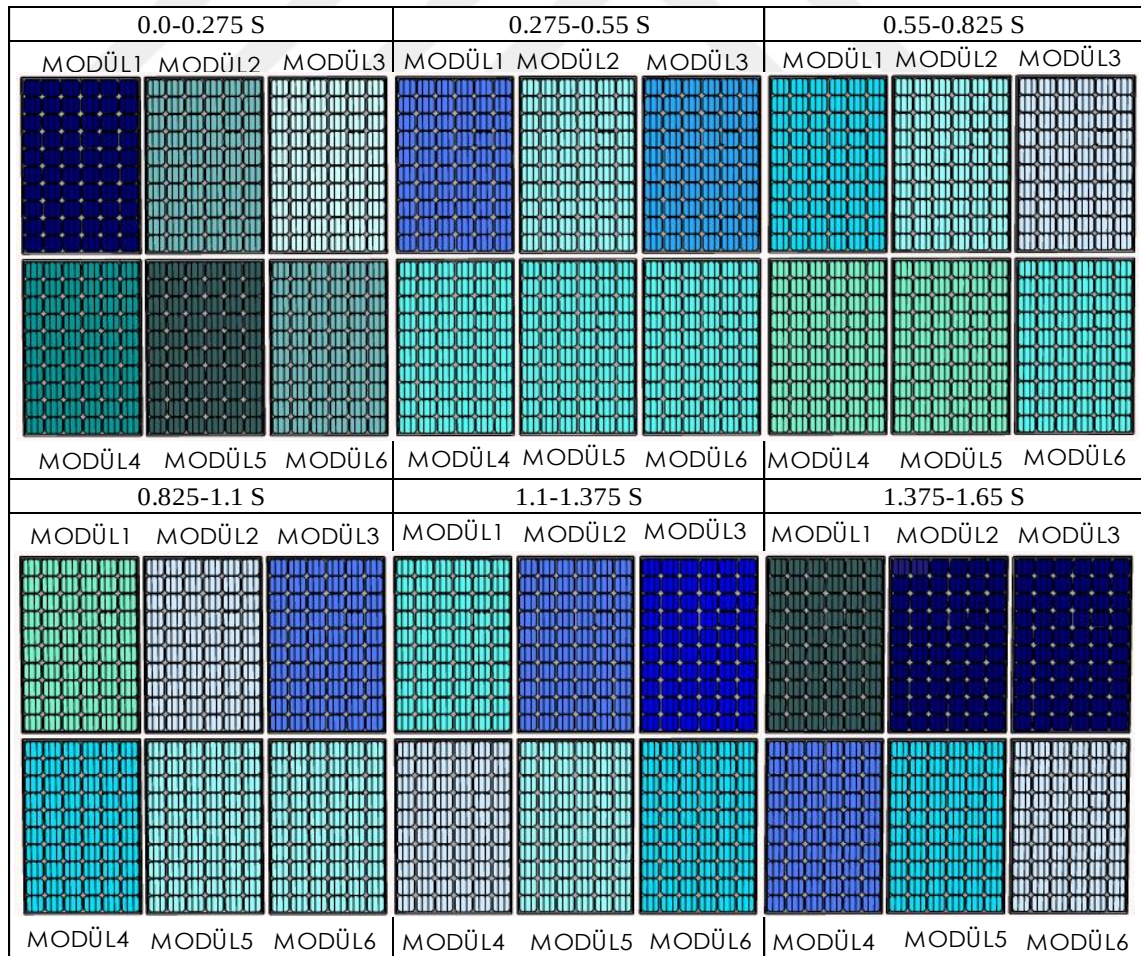
4.3.3. Senaryo-3: Şiddetli Parçalı Gölgeleme Durumu

Senaryo-3 için FV modüllere uygulanan ışıınım bilgileri ve P-V grafiği ile elde edilen global MGN ve yerel MGN güç değerleri Tablo 9’da verilmiştir. Tablo 9’da verildiği üzere 0.275-0.55s zaman aralığında FV modüllere dört farklı ışıınım değeri uygulanmış ve P-V grafiğinde 4 farklı MGN (tepe) oluşmuştur. 1.1-1.375s aralığında ise FV modüllere altı farklı ışıınım değeri uygulanmış ve P-V grafiğinde altı adet tepe meydana gelmiştir. Şekil 68’de Senaryo-3 için FV modüllerin görünümü verilmiştir.

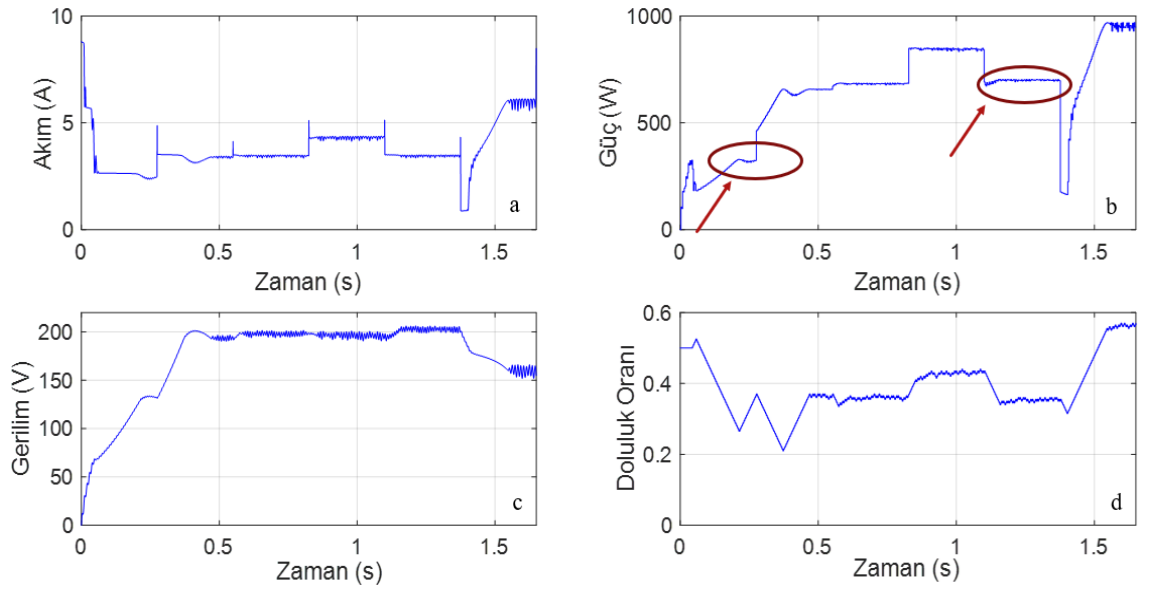
Senaryo-3’e ait simülasyon sonuçları Şekil 69’da verilmiştir. Şekil 69.b’de 0.275-0.55s zaman aralığında altı adet seri bağlı olan FV modülün çıkışında 657.99W güç üretildiği belirlenmiştir. İlgili zaman aralığı için Tablo 10’da MGN’deki güç değeri 657.9W olarak verilmiştir. Bu zaman aralığında MGN’ye ulaşılmıştır. Şekil 69.b’de aynı durum 0.55-0.825s, 0.825-1.10s ve 1.375-1.65s zaman aralıkları içinde geçerlidir. Tablo 10’da 0-0.275s aralığında MGN değeri 334.75W olup, Şekil 69.b grafiği incelendiğinde 329.05W değerinde güç üretildiği görülmektedir. Tablo 9’da verilen MGN güç değeri ile simülasyon sonucunda üretilen güç değeri karşılaştırıldığında yerel MGN’ye ulaşıldığı görülmüştür. Benzer durum 1.1-1.375s aralığında da yaşanmıştır. Merkezi MGNİ mimarisinde Senaryo-3 için gerçekleştirilen simülasyon sonucunda MGNİ verimi %89.26 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 9. Merkezi MGNİ mimarisi Senaryo-3’de uygulanan ısıtım değerleri ve MGN’deki güç değerleri

Senaryo-3	Zaman (s)					
	0-0.275	0.275-0.55	0.55-0.825	0.825-1.1	1.1-1.375	1.375-1.65
Işıtım 1 (W/m ²)	1000	900	700	500	400	100
Işıtım 2 (W/m ²)	300	600	600	800	900	1000
Işıtım 3 (W/m ²)	650	750	800	900	950	1000
Işıtım 4 (W/m ²)	200	400	500	700	800	900
Işıtım 5 (W/m ²)	100	400	500	600	600	700
Işıtım 6 (W/m ²)	300	400	400	600	700	800
Tepe 1: MGN’deki güç değeri (W)	334.75	657.99	685.92	850.63	838.71	968.99
Tepe 2: yerel MGN’deki güç değeri (W)	329.05	482.78	679.1	809.93	758.54	857.52
Tepe 3: yerel MGN’deki güç değeri (W)	289.12	376.17	476.73	552.16	703.49	691.75
Tepe 4: yerel MGN’deki güç değeri (W)	217.02	196.47	349.1	396.41	623.45	473.74
Tepe 5: yerel MGN’deki güç değeri (W)	177.5		175.47	196.46	437.39	184.12
Tepe 6: yerel MGN’deki güç değeri (W)					202.79	



Şekil 68. Merkezi MGNİ mimari Senaryo-3’te parçalı gölgelemenin görünümü

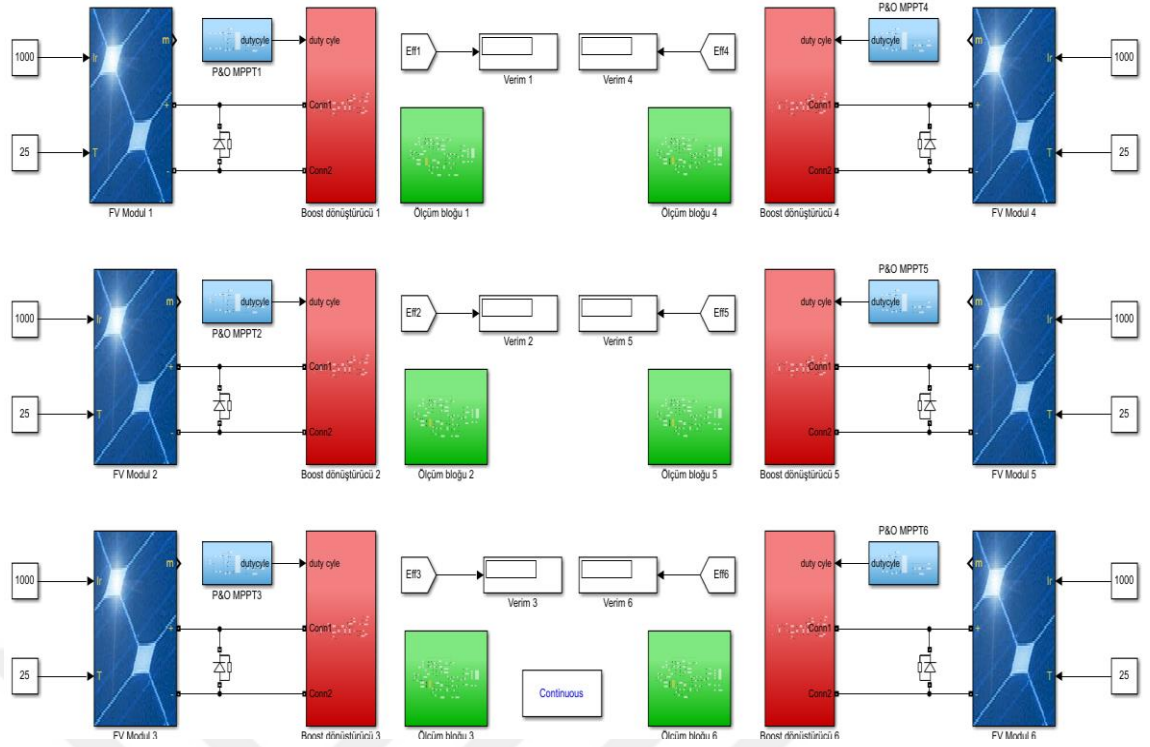


Şekil 69. Merkezi MGNİ mimarisi Senaryo-2 için simülasyon sonuçları: (a) FV sistem akım değişimi, (b) FV sistem güç değişimi, (c) FV sistem gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi

4.4. Modül Tabanlı MGNİ Mimarisi

Modül tabanlı MGNİ mimarisinde her bir FV modül için MGNİ işlemi ayrı ayrı gerçekleştirilir. Simülasyon çalışmalarında Tablo 6’da belirtilen FV modül kullanılmış olup, FV modüllerin çıkışı ayrı ayrı bağımsız DA-DA yükseltici dönüştürücüsüne bağlanmıştır. MGNİ için D&G algoritması tercih edilmiştir. MATLAB/SIMULINK’te modül tabanlı MGNİ mimari için oluşturulan çalışmanın ekran görünüm Şekil 70’de gösterilmiştir. Modül tabanlı MGNİ mimaride kullanılan bileşenlerin özellikleri Tablo 10’da verilmiştir.

Merkezi MGNİ mimarisinde FV modüller seri olarak bağlandığından farklı ışınlamalar sonucu oluşan parçalı gölgelenme durumunda üretilen güç miktarı olumsuz olarak etkilenir. Fakat modül tabanlı MGNİ mimarisinde FV modüllerde MGNİ işlemi bağımsız gerçekleştiğinden, farklı ışınlamalara maruz kalan FV modüllerin üreteceği güç değişmez. Bir başka ifadeyle düşük ışınlama maruz kalan bir FV modülün üreteceği güç ile diğer bir FV modülün üreteceği güç birbirinden bağımsız kontrol edildiğinden, merkezi MGNİ mimarisine göre avantajlı bir durum elde edilir.



Şekil 70. Modül tabanlı MGNİ mimarisi için SIMULINK modelinin ekran görünümü

Tablo 10. Modül tabanlı MGNİ mimarisine ait bileşenlerin özellikleri

FV modül özellikleri	
MGN'deki güç (W)	250.05
MGN'deki gerilim (V)	30.31
MGN'deki akım (A)	8.25
Açık devre gerilim değeri (V)	37.9
Kısa devre akımı (A)	8.82
Yükseltici DA-DA dönüştürücüye ait değerler	
C _{GİRİŞ} (F)	250μ
C _{ÇIKIŞ} (F)	83.33μ
Endüktans (H)	0.42m
Direnç (Ω)	25

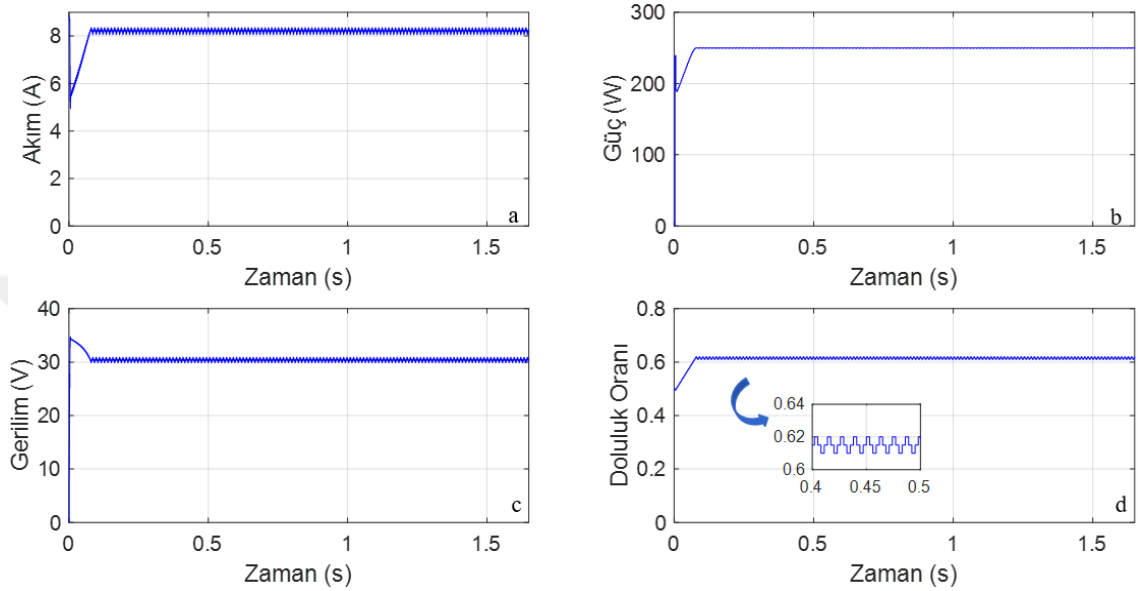
4.4.1. Senaryo-1: Düzenli Işınlım Durumu

Modül tabanlı MGNİ mimarisi için düzenli ışınlım durumu için FV modüllere 1000W/m^2 uygulanmıştır. Tablo 11'de ışınlım, zaman aralığı ve MGN'deki güç değerleri verilmiştir. Düzenli ışınlım olduğu için tüm FV modüllerin P-V eğrisinde bir MGN oluşmuştur.

Modül tabanlı MGNİ mimarisinde simülasyon sonuçları Şekil 71'de verilmiştir. Şekil 71.b incelendiğinde 1000W/m^2 ışınlım altında 250W güç değerine ulaşılmış ve MGNİ takibi sağlanmıştır. Simülasyon sonucunda MGNİ verimi %99.34'tür.

Tablo 11. Modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo-1’de uygulanan ışı nım miktarları ve MGN’deki güç değ erleri

Senaryo-1		Zaman (s)					
		0- 0.275	0.275- 0.55	0.55- 0.825	0.825- 1.1	1.1- 1.375	1.375- 1.65
FV modül 1-6	Iş ınım (W/m^2)	1000					
	MGN’deki güç değ eri (W)	250.07					



Ş ekil 71. Modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo-1 için simü lasyon sonuç ları: (a) FV modül akım değ iş imi, (b) FV modül güç değ iş imi, (c) FV modül gerilim değ iş imi ve (d) Doluluk Oranı değ iş imi

4.4.2. Senaryo-2: Hafif Parçal ı Gölgeleme Durumu

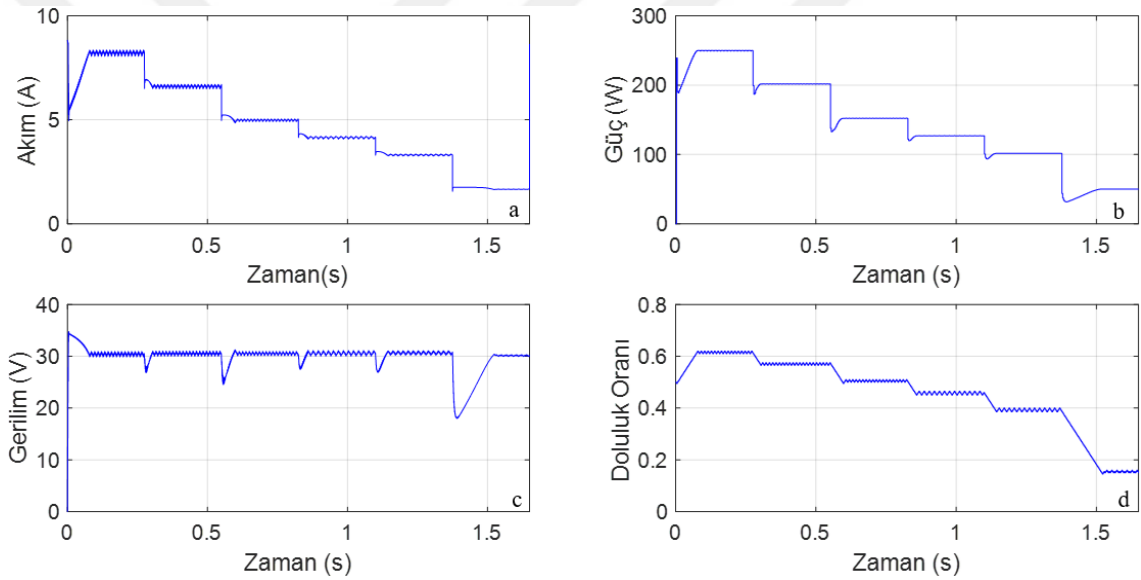
Modül tabanlı MGNİ mimarisinde, hafif parçal ı gölgeleme durumu için Senaryo-2’de tanımlanan ışı nım profilleri FV modüllere uygulanmı ş tır. Simü lasyon ç alış ması için FV modüllere uygulanan ışı nım değ erleri ve P-V grafiklerinden elde edilen MGN’ye ait güç değ erleri Tablo 12’de verilmi ş tir. Senaryo-2 için yapılan simü lasyon ç alış masında FV modül-1, FV modül-2 ve FV modül-3 aynı ışı nıma maruz kalmı ş , FV modül-4, FV modül-5 ve FV modül-6 aynı ışı nıma maruz kalmı ş tır.

Simü lasyon sonuç ları FV modül-1, FV modül-2 ve FV modül-3 için Ş ekil 72’de, FV modül-4, FV modül-5 ve FV modül-6 için Ş ekil 73’te gösterilmi ş tir. Tablo 12’de ilgili zaman aralı klarında paylaşı lan MGN’ye ait güç değ erlerine Ş ekil 72.b ve Ş ekil 73.b’te ulaşı ldı ğ ı tespit edilmi ş tir. Senaryo-2 için yapılan simü lasyonda FV modüller ayrı MGN’ye ulaşı p, MGNİ sa ğ lanmı ş tır. Simü lasyon ç alış ması sonucunda MGNİ verim değ eri birinci gruptaki FV modüller için %98.09, ikinci gruptaki modüller için %97.1 olarak hesaplanmı ş olup, birinci modül grubu için FV modül gerilim, akım ve

dönüştürücü devresi doluluk oranı değişimi Şekil 72’de, ikinci grup için Şekil 73’te ilgili parametrelerin değişimi görülmektedir.

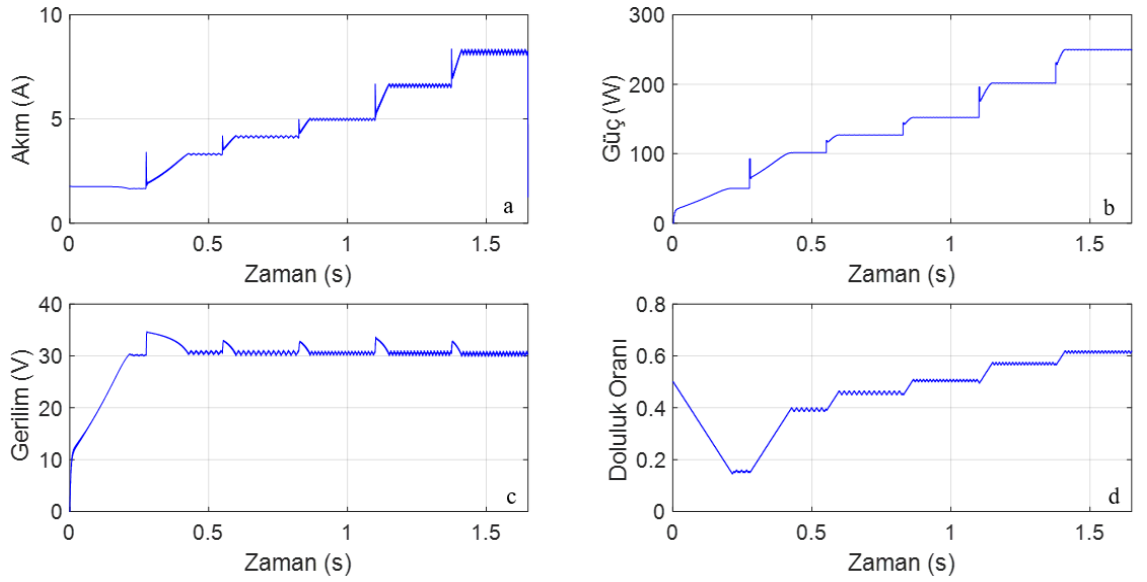
Tablo 12. Modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo-2’de uygulanan ısıtım miktarları ve MGN’deki güç değerleri

Senaryo-2		Zaman (s)					
		0-0.275	0.275-0.55	0.55-0.825	0.825-1.1	1.1-1.375	1.375-1.65
FV modül 1, 2 ve 3	Isınım (W/m^2)	1000	800	600	500	400	200
	MGN’deki güç değeri (W)	250.07	201.83	152.22	126.96	101.45	49.98
FV modül 4, 5 ve 6	Isınım (W/m^2)	200	400	500	600	800	1000
	MGN’deki güç değeri (W)	49.98	101.45	126.96	152.22	201.83	250.07



Şekil 72. Modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo-2’de birinci grup modüllerin simülasyon sonuçları: (a) FV modül akım değişimi, (b) FV modül güç değişimi, (c) FV modül gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi

Tablo 12’de birinci grup FV modüllere uygulanan ısıtım değerleri simülasyon süresi boyunca azalmış ve bu bağlamda modül çıkışında üretilen güç değerleri de azalmıştır. Şekil 72.b’de güç değişimine göre FV modülün ürettiği güç değerleri de Tablo 12’ye uygun olarak zamanla azalmıştır. Bu durumun tam tersi ikinci grup FV modüllerde meydana gelmiştir. Simülasyon süresi boyunca ısıtım değerleri artmış ve buna bağlı olarak üretilen güç miktarı da artış göstermiştir.



Şekil 73. Modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo-2’de ikinci grup modüllerin simülasyon sonuçları: (a) FV sistem akım değişimi, (b) FV sistem güç değişimi, (c) FV sistem gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi

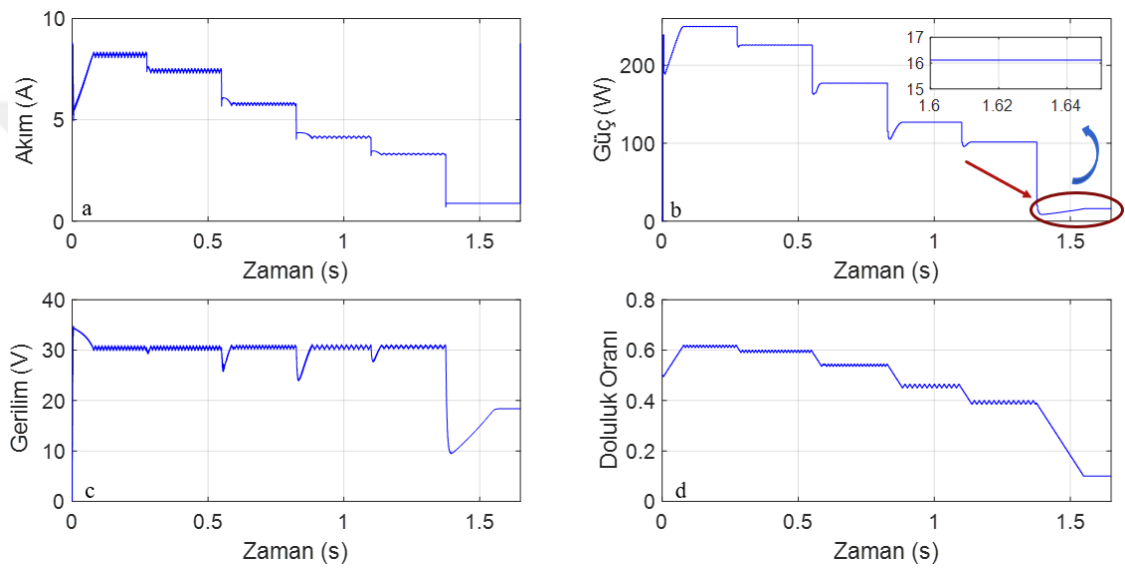
4.4.3. Senaryo-3: Şiddetli Parçalı Gölgeleme Durumu

Modül tabanlı MGNİ mimarisinde Senaryo-3’te FV modüllere uygulanan ışınım ve bu ışınım durumlarına ilişkin MGN güç değerleri Tablo 13’te verilmiştir.

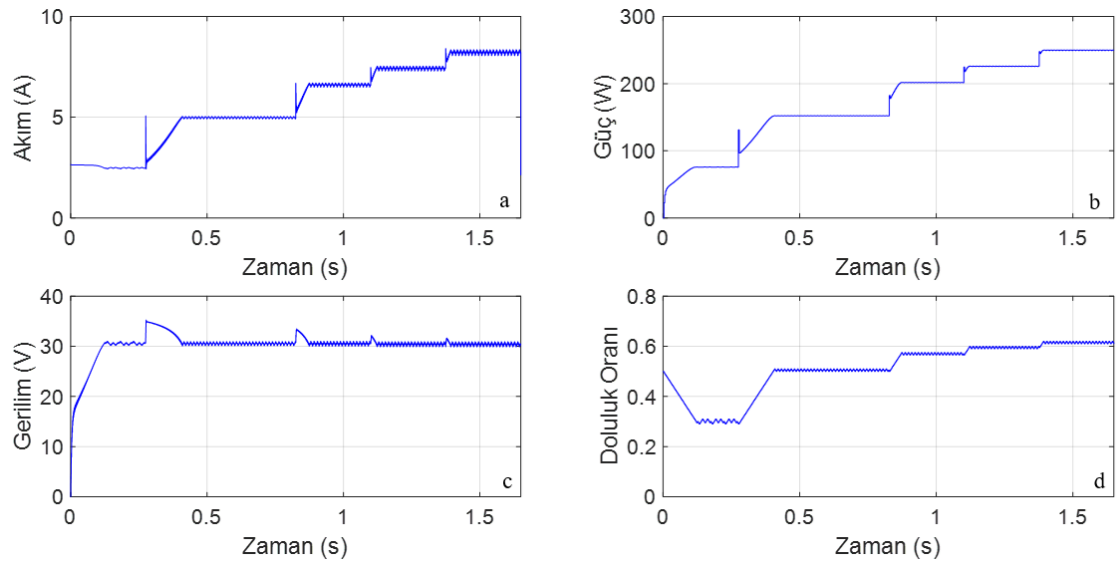
Tablo 13. Modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo-3’te uygulanan ışınım miktarları ve MGN’deki güç değerleri

Senaryo-3		Zaman (s)					
		0-0.275	0.275-0.55	0.55-0.825	0.825-1.1	1.1-1.375	1.375-1.65
FV modül-1	Işınım (W/m^2)	1000	900	700	500	400	100
	MGN’deki güç değeri (W)	250.07	226.13	177.18	126.96	101.45	24.36
FV modül-2	Işınım (W/m^2)	300	600	600	800	900	1000
	MGN’deki güç değeri (W)	75.75	152.22	152.22	201.83	226.13	250.07
FV modül-3	Işınım (W/m^2)	650	750	800	900	950	1000
	MGN’deki güç değeri (W)	164.74	189.55	201.83	226.13	238.15	250.07
FV modül-4	Işınım (W/m^2)	200	400	500	700	800	900
	MGN’deki güç değeri (W)	49.98	101.45	126.96	177.18	201.83	226.13
FV modül-5	Işınım (W/m^2)	100	400	500	600	600	700
	MGN’deki güç değeri (W)	24.36	101.45	126.96	152.22	152.22	177.18
FV modül-6	Işınım (W/m^2)	300	400	400	600	700	800
	MGN’deki güç değeri (W)	75.75	101.45	101.45	152.22	177.18	201.83

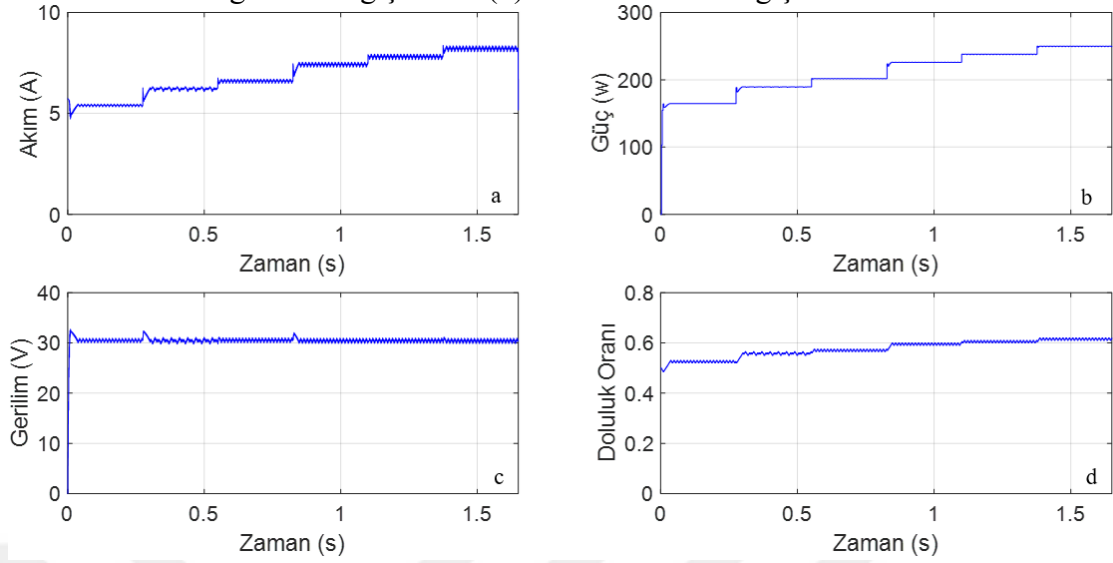
Modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo-3 simülasyon sonuçları sırasıyla tüm FV modüller için Şekil 74, Şekil 75, Şekil 76, Şekil 77, Şekil 78 ve Şekil 79’da verilmiştir. Şekil 75.b, Şekil 76.b, Şekil 77.b ve Şekil 79.b’de ilgili FV modüllerin MGN’de çalıştığı ve MGNİ’nin sağlandığı görülmüştür. Fakat Şekil 74.b ve Şekil 78.b’de ilgili FV modüllerin 100W/m^2 ışıma maruz kaldığı zaman aralıklarında MGN’ye ulaşamadığı tespit edilmiştir. Tablo 13’te 100W/m^2 ışıma için P-V grafiğindeki MGN güç değeri 24.36W olup, simülasyon sonucu üretilen güç değeri ise 16W ’tır. Bu durumda P-V grafiğinde elde edilen güç değerinden daha az değerde güç üretildiği belirlenmiştir.



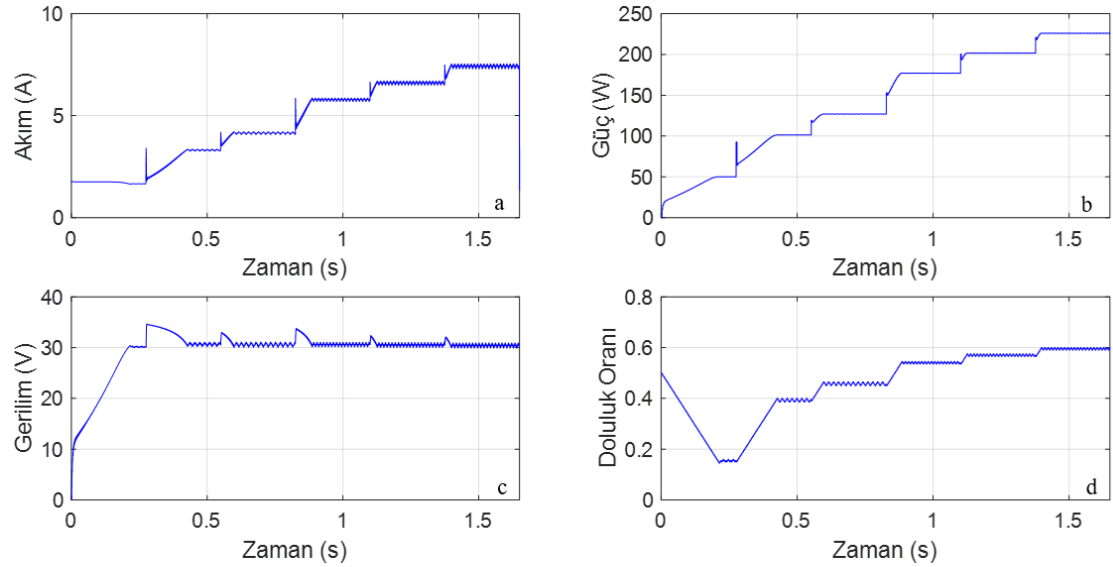
Şekil 74. Modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo-3’te FV modül-1 için simülasyon sonuçları: (a) FV modül akım değişimi, (b) FV modül güç değişimi, (c) FV modül gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi



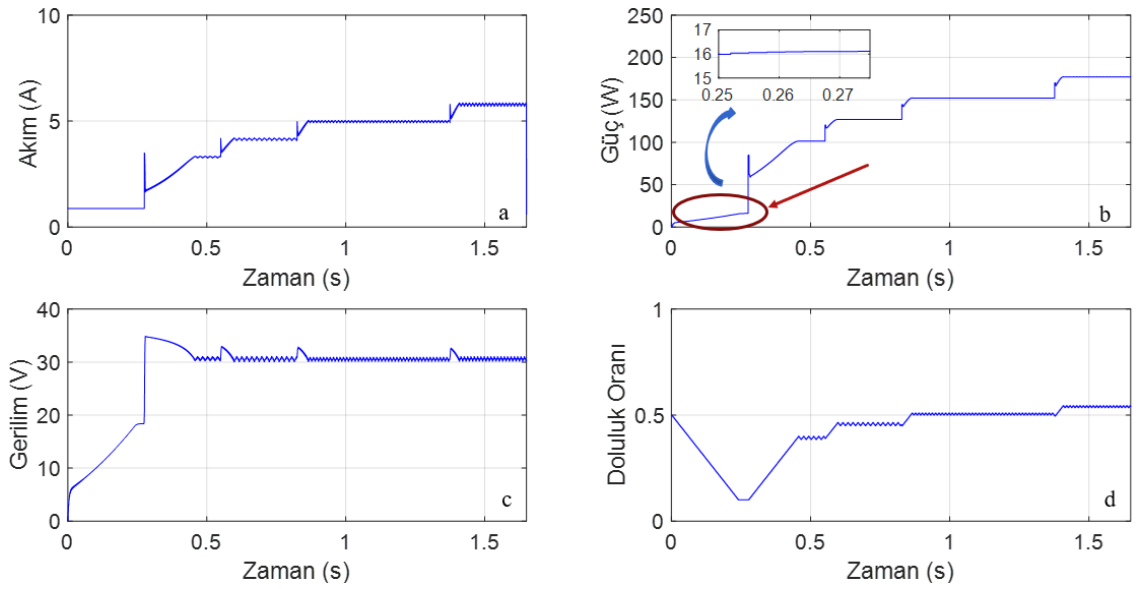
Şekil 75. Modül tabanlı MGNI mimarisi Senaryo-3'te FV modül-2 için simülasyon sonuçları: (a) FV modül akım değişimi, (b) FV modül güç değişimi, (c) FV modül gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi



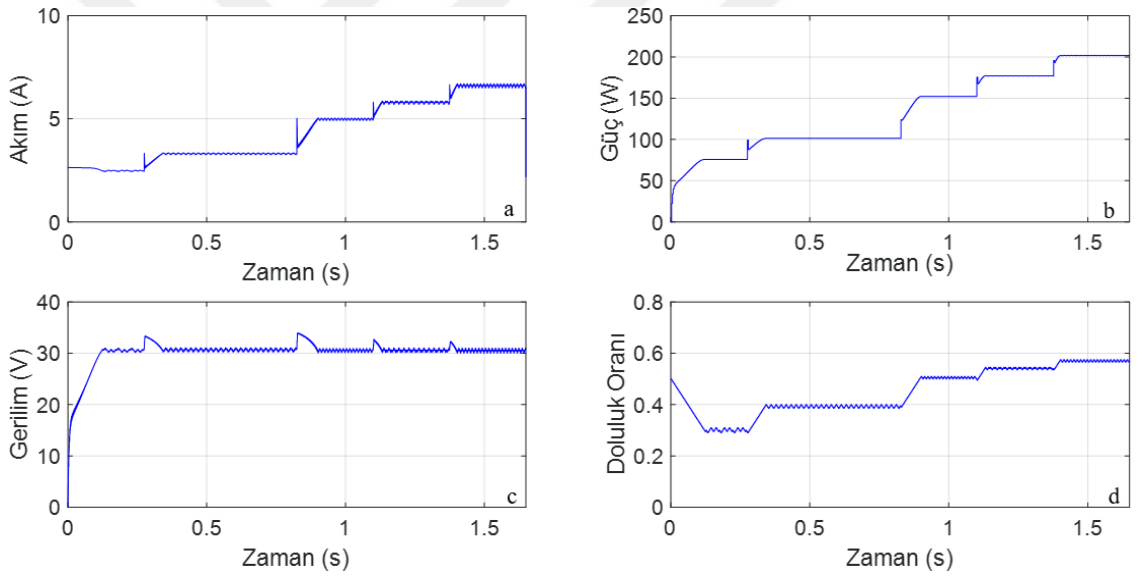
Şekil 76. Modül tabanlı MGNI mimarisi Senaryo-3'te FV modül-3 için simülasyon sonuçları: (a) FV modül akım değişimi, (b) FV modül güç değişimi, (c) FV modül gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi



Şekil 77. Modül tabanlı MGNI mimarisi Senaryo-3'te FV modül-4 için simülasyon sonuçları: (a) FV modül akım değişimi, (b) FV modül güç değişimi, (c) FV modül gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi



Şekil 78. Modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo-3'te FV modül-5 için simülasyon sonuçları: (a) FV modül akım değişimi, (b) FV modül güç değişimi, (c) FV modül gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi



Şekil 79. Modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo-3'te FV modül-6 için simülasyon sonuçları: (a) FV modül akım değişimi, (b) FV modül güç değişimi, (c) FV modül gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi

Simülasyon sonuçları incelendiğinde yüksek ışıınım değerlerinde MGN'ye ulaşılmış ve MGN takibi gerçekleştirilmiştir. Fakat FV modüllere 100W/m^2 'lik düşük ışıınım değeri uygulandığında MGN'ye ulaşamadığı tespit edilmiştir. Bu durumun sebebi MGN takibinde DA-DA yükseltici dönüştürücü kullanıldığında FV modülleri etkileyen güneş ışıınım şiddetinin azalmasıyla beraber sistemin MGNİ performansının olumsuz olarak etkilenmesi ve sistemin MGN'de çalışmayı gerçekleştirememesidir. Yükseltici tip DA-DA dönüştürücülerde, FV modülün anlık ürettiği güç, FV modül

akımı ve geriliminin çarpımına eşittir. FV modül geriliminin FV modül akımına oranı ise anlık FV modül iç empedansını verecektir. Bu empedans değeri şayet, yük direncinden küçükse MGNİ sağlanamaz. Bu durum özellikle düşük ışınlımlarda, FV modül anlık iç empedansı yükselmesine bağlı olarak, sıklıkla yaşanan bir durumdur (Başoğlu, M.E., 2016).

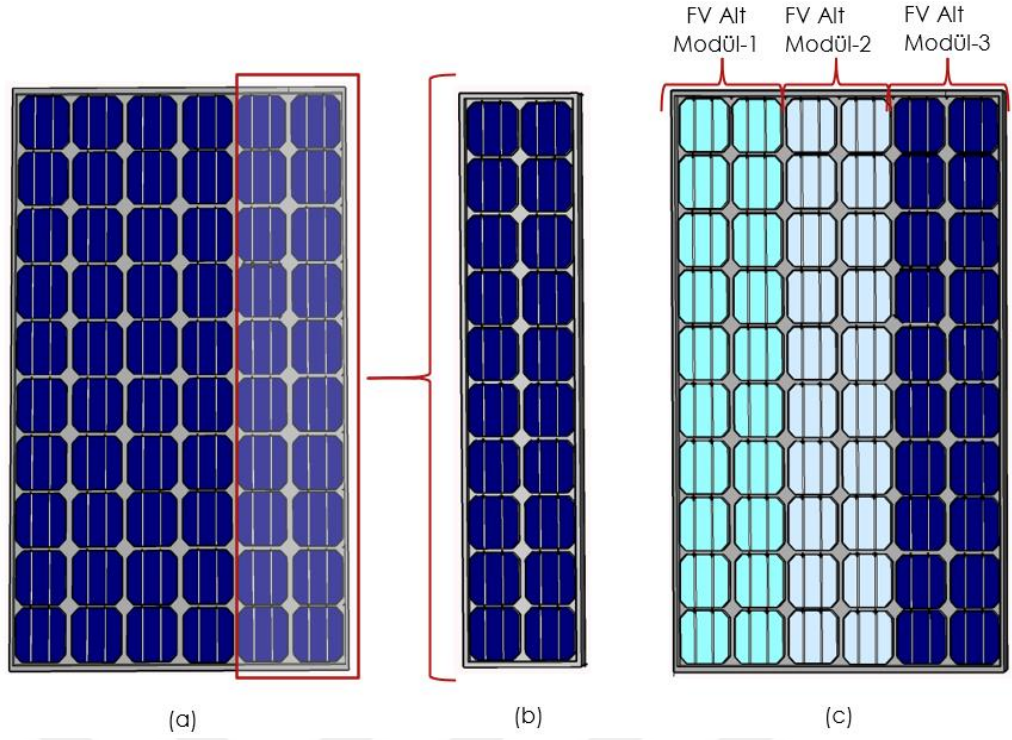
Simülasyon çalışması sonucunda FV modül-1, FV modül-2, FV modül-3, FV modül-4, FV modül-5 ve FV modül-6'ya ait hesaplanan verim değerleri sırasıyla %97.4, %97.87, %99.77, %97.16, %96.03 ve %98.4'tür.

4.5. Alt-Modül Tabanlı MGNİ Mimarisi

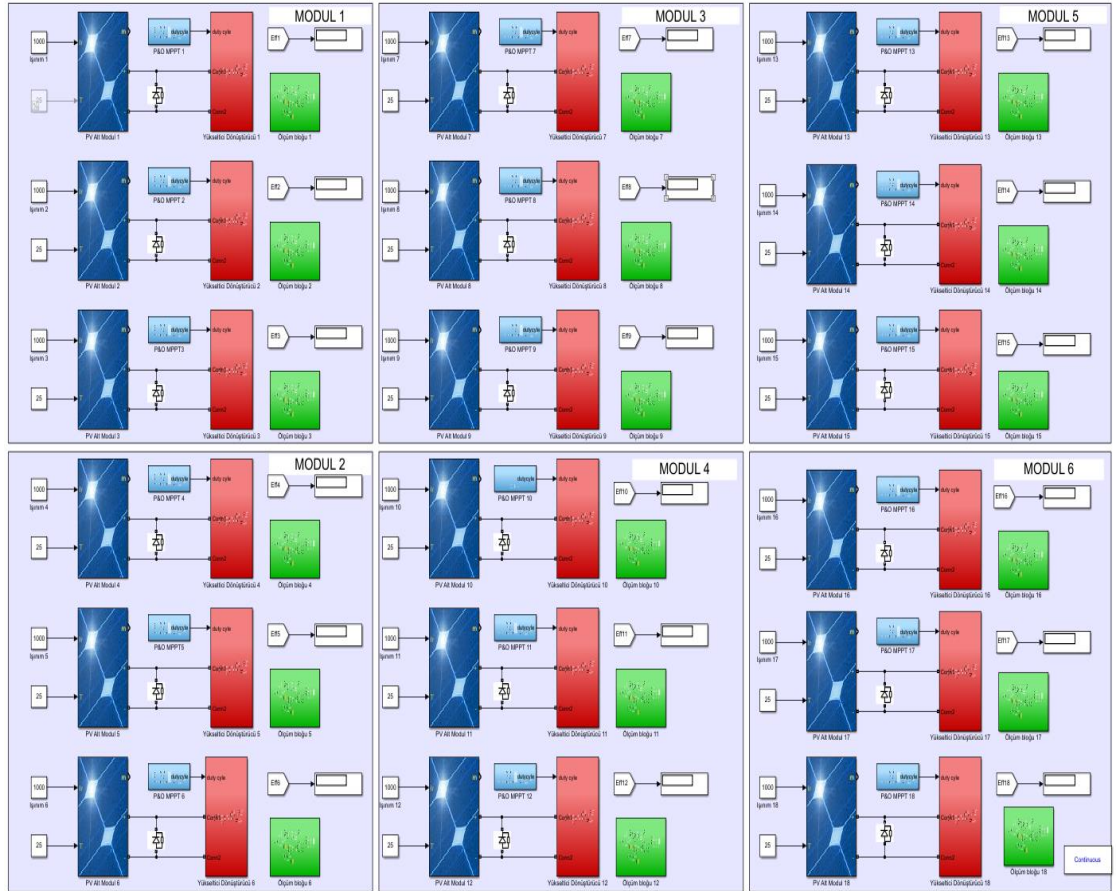
Simülasyon çalışmalarında kullanılan FV modül, üç alt-modülden oluşmaktadır. Bu nedenle altı FV modülde toplam 18 tane alt-modül bulunur. Şekil 80'da FV modül, alt-modül gösterimi verilmiştir. MATLAB/SIMULINK'de gerçekleştirilen alt-modül tabanlı MGNİ mimarisi simülasyon çalışmalarında Şekil 81'de gösterildiği üzere 18 adet alt-modül ve her bir alt-modül için bir DA-DA yükseltici dönüştürücü kullanılmıştır. FV alt-modüllerin parçalı gölgelenme durumunda görünümü ise Şekil 80.c'de verilmiş olup, FV alt-modüllerin numaralandırma işlemi soldan sağ tarafa doğru yapılmıştır. Alt-modül tabanlı MGNİ mimarisinde kullanılan sistem bileşenlerinin özellikleri Tablo 14'de sunulmuştur.

Tablo 14. Alt-Modül Tabanlı MGNİ mimarisindeki bileşenlerin özellikler

FV alt-modül özellikleri	
MGN'deki güç (W)	83.35
MGN'deki gerilim (V)	10.1
MGN'deki akım (A)	8.25
Açık devre gerilim değeri (V)	12.63
Kısa devre akımı (A)	8.82
Yükseltici dönüştürücüye ait değerler	
C _{GİRİŞ} (F)	83.33μ
C _{ÇIKIŞ} (F)	27.78μ
Endüktans (H)	0.14m
Direnç (Ω)	8.33



Şekil 80. (a) FV modül, (b) alt-modül ve (c) farklı ışınımlara maruz kalan alt-modüller



Şekil 81. Alt-modül tabanlı MGNİ mimarisi için SIMULINK modelinin ekran görünümü

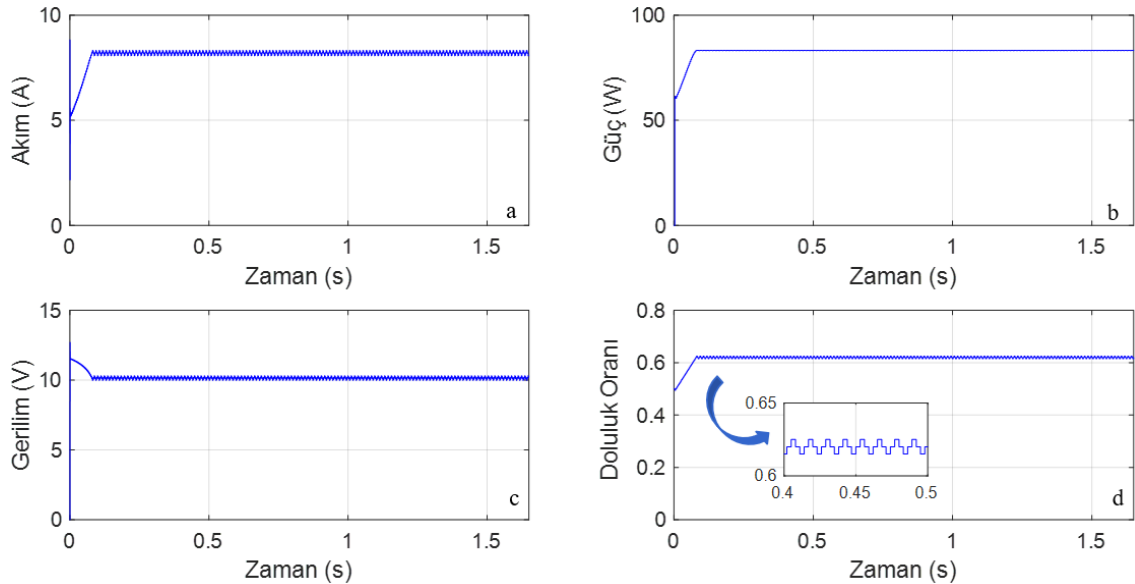
4.5.1. Senaryo-1: Düzenli Işınım Durumu

Alt-modül tabanlı MGNİ mimarisinde 18 adet alt-modüle 1000W/m^2 ışınlam uygulanmıştır. Farklı bir ışınlam uygulanmadığından dolayı sistemde parçalı gölgelenme durumu oluşmamıştır. Alt-modüller 1000W/m^2 ışınlamaya maruz kaldığından alt-modül P-V eğrisinde MGN'deki güç değeri 83.32W ve gerilim değeri 10.1V 'tur. Tablo 15'de FV alt-modüllere uygulanan ışınlam ve MGN'deki güç değerleri sunulmuştur.

Tablo 15. Alt-modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo-1'de uygulanan ışınlam miktarları ve MGN'deki güç değerleri

Senaryo-1		Zaman (s)					
		0-0.275	0.275-0.55	0.55-0.825	0.825-1.1	1.1-1.375	1.375-1.65
FV modül 1-6	FV alt-modül 1-18	Işınım (W/m^2)					
		1000					
		MGN'de güç değeri (W)					
		83.32					

Senaryo-1 simülasyon çalışması sonucunda FV alt-modüller 83.32W değerinde güç üretmiş ve MGNİ sağlanmıştır. Tüm alt-modüller aynı ışınlamaya maruz kaldığından tek bir alt-modüle ait simülasyon sonuçları Şekil 82'de verilmiş olup, Şekil 82.b'de FV alt-modüllerin ürettiği güç değeri 83.32W civarındadır. Simülasyon sonucunda FV alt-modüller için MGNİ verimi $\%99.3$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 82. Alt-modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo-1 için simülasyon sonuçları: (a) FV alt-modül akım değişimi, (b) FV alt-modül sistem güç değişimi, (c) FV alt-modül gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi

4.5.2. Senaryo-2: Hafif Parçalı Gölgeleme Durumu

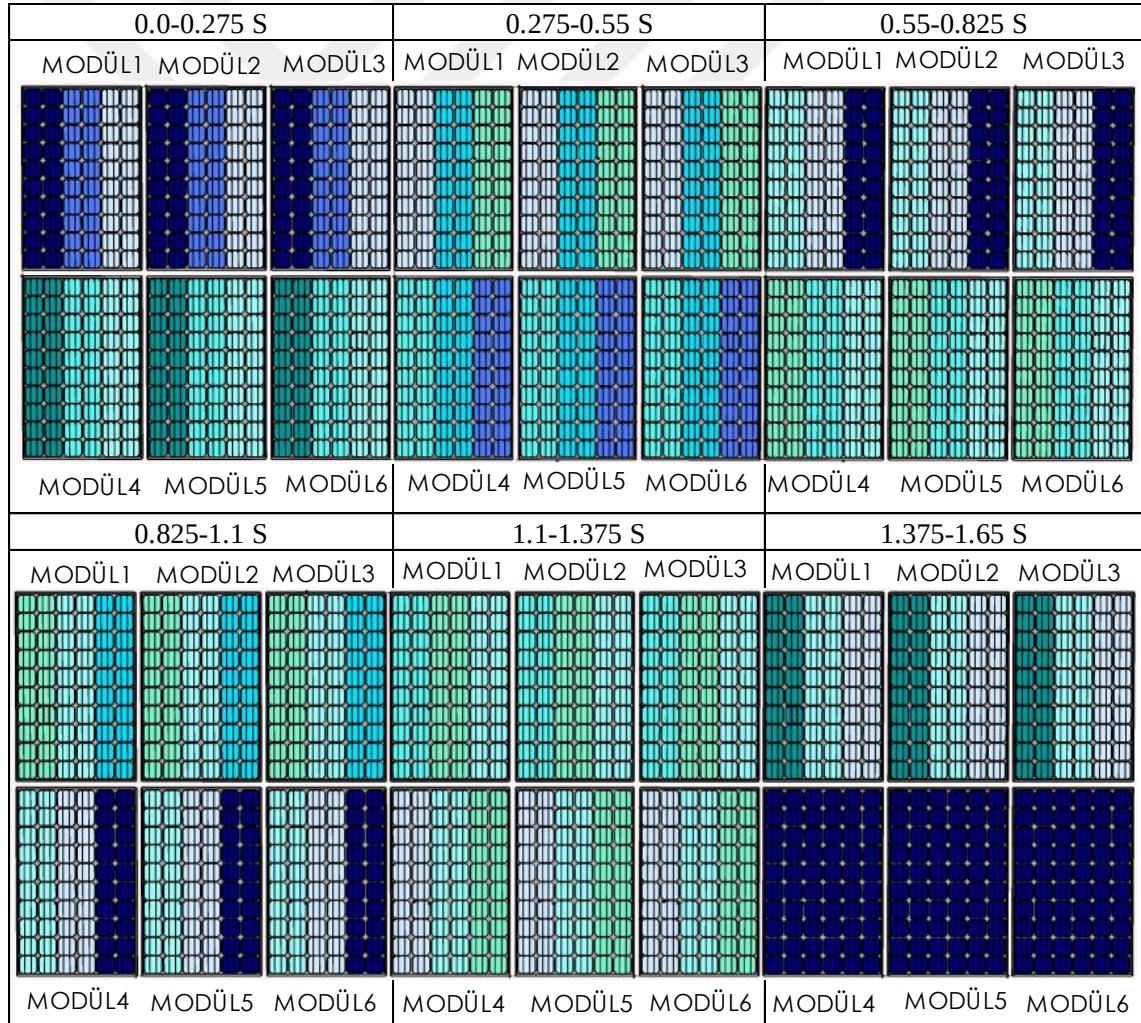
Modül tabanlı MGNİ mimarisinde Senaryo-2 için gerçekleştirilen simülasyon çalışmasında FV modül-1, FV modül-2 ve FV modül-3 eşit ışınımlara maruz kalmıştır. Aynı şekilde FV modül-4, FV modül-5 ve FV modül-6'da eşit ışınım değerlerine sahiptir. Alt-modül tabanlı MGNİ mimarisinde, modül tabanlı MGNİ mimarisindeki ışınım değerleri ilgili modüle ait bir adet alt-modülde birebir aynı bırakılmıştır. Diğer iki alt-modül ise farklı ışınıma maruz bırakılmıştır. Örneğin; modül tabanlı MGNİ mimarisinde FV modül 1000W/m^2 'ye maruz kalmışsa, alt-modül tabanlı MGNİ mimarisinde 1000W/m^2 , 900W/m^2 ve 800W/m^2 'ye maruz kalmıştır. Başka bir ifadeyle, modül tabanlı MGNİ mimarisinde FV modül-1'e uygulanan ışınım değerleri, alt-modül tabanlı MGNİ mimarisinde FV alt-modül-1'e uygulanmış olup, FV alt-modül-2 ve FV alt-modül-3'te farklı ışınım değerleri belirlenmiştir. Belirtilen bu durum FV modül-2 ve FV modül-3'teki alt-modüller içinde geçerlidir. FV modül-1, FV modül-2 ve FV modül-3'e ait alt-modüllerde oluşturulan ışınım değerleri FV modül-4, FV modül-5 ve FV modül-6'ya ait alt-modüllerde de uygulanmıştır.

Tablo 16. Alt-modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo-2'de uygulanan ışınım miktarları ve MGN'deki güç değerleri

Senaryo-2			Zaman (s)					
			0-0.275	0.275-0.55	0.55-0.825	0.825-1.1	1.1-1.375	1.375-1.65
FV modül 1-3	Alt-modül 1,4,7	Işınım (W/m^2)	1000	800	600	500	400	200
		MGN'de güç değeri (W)	83.32	67.25	50.72	42.3	33.8	16.65
	Alt-modül 2,5,8	Işınım (W/m^2)	900	700	800	600	500	600
		MGN'de güç değeri (W)	75.35	59.04	67.25	50.72	42.3	50.72
	Alt-modül 3,6,9	Işınım (W/m^2)	800	500	1000	700	600	800
		MGN'de güç değeri (w)	67.25	42.3	83.32	59.04	50.72	67.25
FV modül 4-6	Alt-modül 10,13,16	Işınım (W/m^2)	200	400	500	600	800	1000
		MGN'de güç değeri (W)	16.65	33.8	42.3	50.72	67.25	83.32
	Alt-modül 11,14,17	Işınım (W/m^2)	400	700	700	800	600	1000
		MGN'de güç değeri (W)	33.8	59.04	59.04	67.25	50.72	83.32
	Alt-modül 12,15,18	Işınım (W/m^2)	600	900	900	1000	500	1000
		MGN'de güç değeri (W)	50.72	75.35	75.35	83.32	42.3	83.32

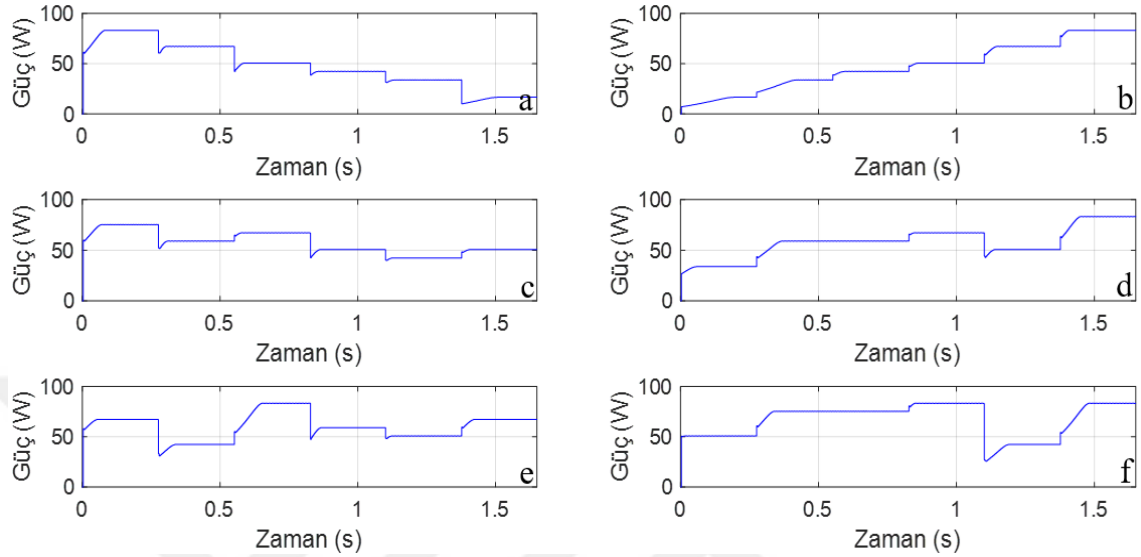
Tablo 16’da alt-modül MGNİ mimarisi Senaryo-2’ye ait ışı nım değ erleri ve P-V eğ risindeki MGN’ye ait güç değ erleri verilmiştir. Tabloda sarı renk ile gösterilen ışı nım değ erleri modül tabanlı MGNİ mimarisinde FV modüllere uygulanan ışı nım değ erlerine eş it olup bu çalışmada alt-modüllere uygulanan ışı nım değ erlerini gösterir. Aynı ışı nıma maruz kalan FV alt-modüller:

- ✓ Alt-modül 1, alt-modül 4, alt-modül 7
- ✓ Alt-modül 2, alt-modül 5, alt-modül 8
- ✓ Alt-modül 3, alt-modül 6, alt-modül 9
- ✓ Alt-modül 10, alt-modül 13, alt-modül 16
- ✓ Alt-modül 11, alt-modül 14, alt-modül 17
- ✓ Alt-modül 12, alt-modül 15, alt-modül 18 olarak ifade edilebilir.



Şekil 83. Alt-modül MGNİ mimari Senaryo-2’de parçalı gölgelenmenin görünümü

Tablo 16’da verilen sonuçlara göre gerçekleştirilen simülasyon çalışmalarında, alt-modül P-V eğrilerinde çoklu tepe yapısı olmadığı için D&G algoritması kullanılarak FV alt-modüller için MGNİ sağlanmıştır. Şekil 83’te FV alt-modüllerin görünümüleri paylaşılmıştır.



Şekil 84. Alt-modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo-2 simülasyon sonuçları: (a) FV alt- modül-1, (b) FV alt-modül-10, (c) FV alt-modül-2, (d) FV alt-modül-11, (e) FV alt- modül-3 ve (f) FV alt-modül-12

4.5.3. Senaryo-3: Şiddetli Parçalı Gölgeleme Durumu

Alt-modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo-3 için alt-modüllere uygulanan ışınlam değerleri Tablo 17’de sunulmuştur. Senaryo-3 şiddetli parçalı gölgeleme durumunu temsil etmekle birlikte, alt-modüllerde ayrı ayrı MGNİ gerçekleştirildiğinden, MGNİ başarımı yüksektir.

Tablo 17 incelendiğinde, 100W/m^2 ’lik ışınlam değeri haricinde, uygulanan diğer ışınlamlarda FV alt-modüllerin çıkışında üretilen güç değerlerine göre MGN’ye ulaşıldığı ve MGNİ takibinin gerçekleştirildiği görülmüştür. Düşük ışınlamlarda, bu durumun sebebi DA-DA yükseltici dönüştürücünün düşük ışınlamlarda MGN’de çalışma performansının olumsuz olarak etkilemesinden dolayıdır (Başoğlu, 2016).

Şekil 85’de alt-modül tabanlı MGNİ mimarisinde sisteme uygulanan ışınlam miktarındaki farklılık ve parçalı gölgeleme durumunun FV modüller üzerindeki görünümü gösterilmiştir. Şekil 83 ile Şekil 85 kıyaslandığında alt-modül düzeyinde gerçekleştirilen Senaryo-3’e ait simülasyon çalışmasındaki parçalı gölgeleme durumunun Senaryo-2’ye göre daha fazladır.

Tablo 17. Alt-modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo-3’de uygulanan ışınlm miktarları ve MGN’deki güç değeri

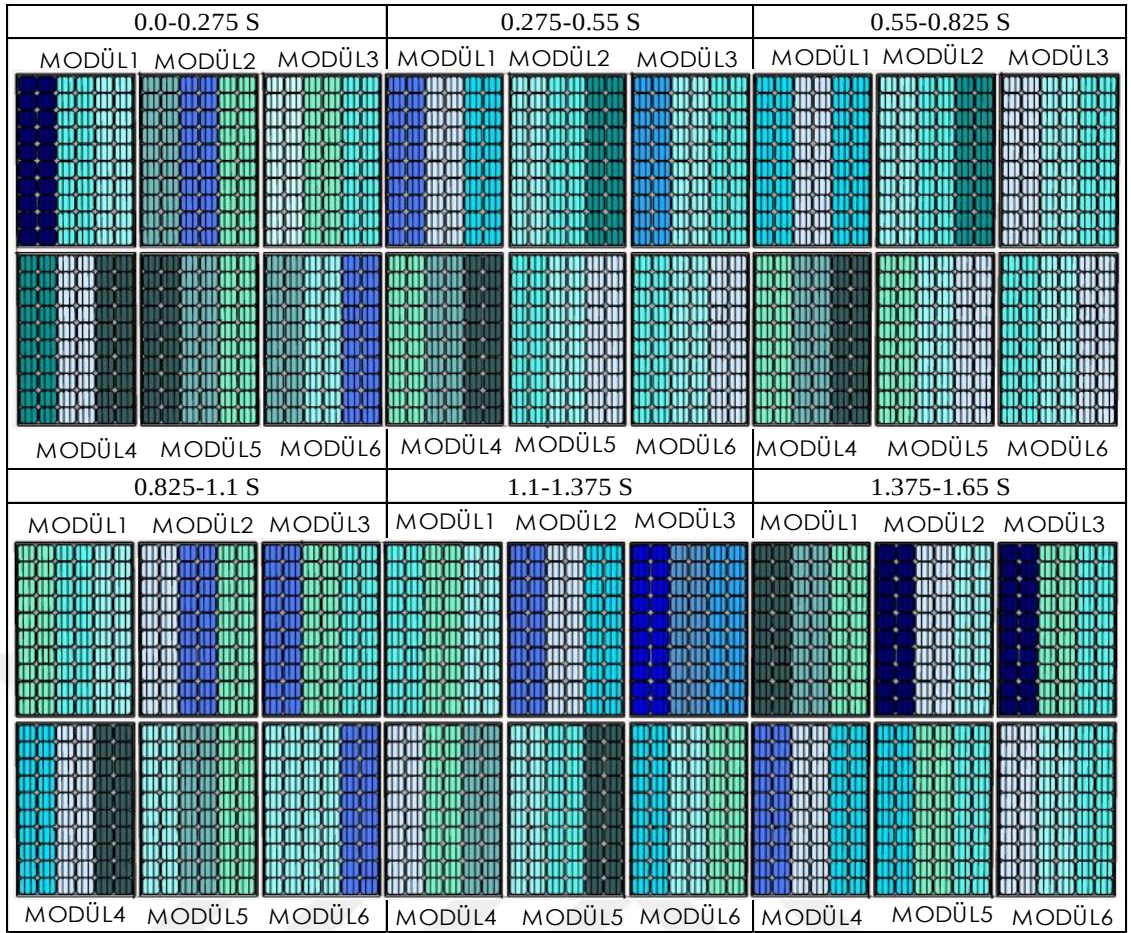
Senaryo-3			Zaman (s)					
			0-0.275	0.275-0.55	0.55-0.825	0.825-1.1	1.1-1.375	1.375-1.65
FV modül 1	FV Alt-modül 1	Işınım (W/m^2)	1000	900	700	500	400	100
		MGN’de güç değeri (W)	83.32	75.35	59.04	42.3	33.8	8.12
	FV Alt-modül 2	Işınım (W/m^2)	400	800	800	400	500	300
		MGN’de güç değeri (W)	33.8	67.25	67.25	33.8	42.3	25.24
	FV Alt-modül 3	Işınım (W/m^2)	600	700	700	600	600	500
		MGN’de güç değeri (W)	50.72	59.04	59.04	50.72	50.72	42.3
FV modül 2	FV Alt-modül 4	Işınım (W/m^2)	300	600	600	800	900	1000
		MGN’de güç değeri (W)	25.24	50.72	50.72	67.25	75.35	83.32
	FV Alt-modül 5	Işınım (W/m^2)	900	400	400	900	800	800
		MGN’de güç değeri (W)	75.35	33.8	33.8	75.35	67.25	67.25
	FV Alt-modül 6	Işınım (W/m^2)	500	200	200	500	700	600
		MGN’de güç değeri (W)	42.3	16.65	16.65	42.3	59.04	50.72
FV modül 3	FV Alt-modül 7	Işınım (W/m^2)	650	750	800	900	950	1000
		MGN’de güç değeri (W)	54.89	63.16	67.25	75.35	79.35	83.32
	FV Alt-modül 8	Işınım (W/m^2)	500	600	600	500	850	500
		MGN’de güç değeri (W)	42.3	50.72	50.72	42.3	71.31	42.3
	FV Alt-modül 9	Işınım (W/m^2)	400	400	400	400	750	400
		MGN’de güç değeri (W)	33.8	33.8	33.8	33.8	63.16	33.8
FV modül 4	FV Alt-modül 10	Işınım (W/m^2)	200	400	500	700	800	900
		MGN’de güç değeri (W)	16.65	33.8	42.3	59.04	67.25	75.35
	FV Alt-modül 11	Işınım (W/m^2)	800	300	300	800	500	800
		MGN’de güç değeri (W)	67.25	25.24	25.24	67.25	42.3	67.25
	FV Alt-modül 12	Işınım (W/m^2)	100	100	100	100	300	700
		MGN’de güç değeri (W)	8.12	8.12	8.12	8.12	25.24	59.04

Tablo 17. (Devamı)

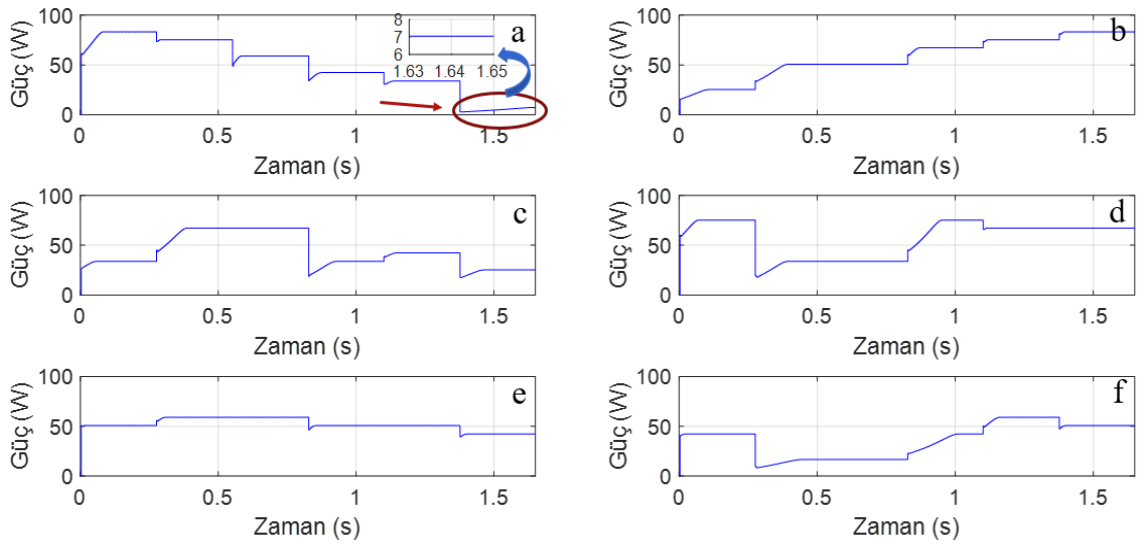
Senaryo-3			Zaman (s)					
			0-0.275	0.275-0.55	0.55-0.825	0.825-1.1	1.1-1.375	1.375-1.65
FV modül 5	FV Alt-modül 13	Işınım (W/m^2)	100	400	500	600	600	700
		MGN'de güç değeri (W)	8.12	33.8	42.3	50.72	50.72	59.04
	FV Alt-modül 14	Işınım (W/m^2)	300	600	600	300	400	500
		MGN'de güç değeri (W)	25.24	50.72	50.72	25.24	33.8	42.3
	FV Alt-modül 15	Işınım (W/m^2)	500	800	800	500	100	400
		MGN'de güç değeri (W)	42.3	67.25	67.25	42.3	8.12	33.8
FV modül 6	FV Alt-modül 16	Işınım (W/m^2)	300	400	400	600	700	800
		MGN'de güç değeri (W)	25.24	33.8	33.8	50.72	59.04	67.25
	FV Alt-modül 17	Işınım (W/m^2)	600	600	600	600	600	600
		MGN'de güç değeri (W)	50.72	50.72	50.72	50.72	50.72	50.72
	FV Alt-modül 18	Işınım (W/m^2)	900	800	800	900	500	400
		MGN'de güç değeri (W)	75.35	67.25	67.25	75.35	42.3	33.8

Alt-modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo-3'ün simülasyon sonuçları alt-modül-1'den alt-modül-6'ya kadar Şekil 86'da, alt-modül-7'den alt-modül-12'ye kadar Şekil 87'de ve alt-modül-13'ten alt-modül-18'e kadar Şekil 88'de verilmiştir. Simülasyon sonuçları incelendiğinde, alt-modül-1, alt-modül-12 ve alt-modül-15'te $100W/m^2$ şiddetinde ışınlam uygulandığında üretilen güç miktarı Tablo 17'de belirtilen MGN değerine ulaşamamıştır. Bu ışınlam şartı altında alt-modülün ürettiği güç miktarı 7W olarak tespit edilmiştir. $100W/m^2$ lik ışınlam şiddetinin uygulandığı zaman aralıkları Şekil 86.a, Şekil 87.f ve Şekil 88.e'de gösterilmiştir. Senaryo-3'te $100W/m^2$ ışınlam haricindeki diğer ışınlam değerlerinde üretilen güç miktarı Tablo 17'de sunulan MGN'deki güç değerlerine ulaşmış ve MGNİ takibi gerçekleştirilmiştir.

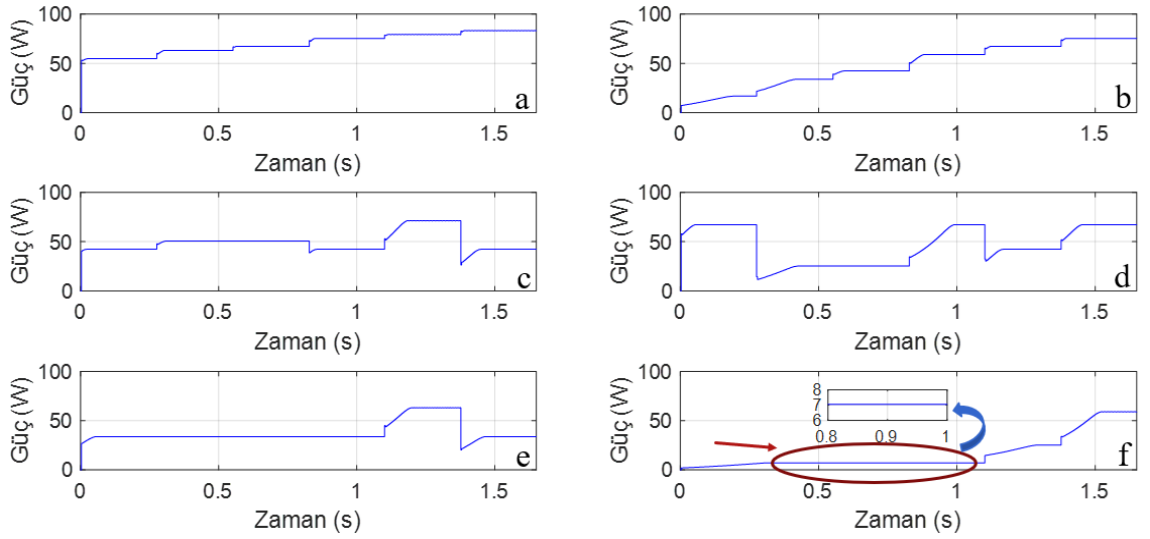
Simülasyon sonucunda alt-modül-1'den alt-modül-18'e kadar verimler sırasıyla %97.46, %96.88, %99.81, %98.26, %96.48, %95.46, %99.85, %98.38, %97.51, %97.42, %93.75, %84.66, %95.11, %96.5, %93.97, %98.69, %99.95, %98.84 olarak bulunmuştur.



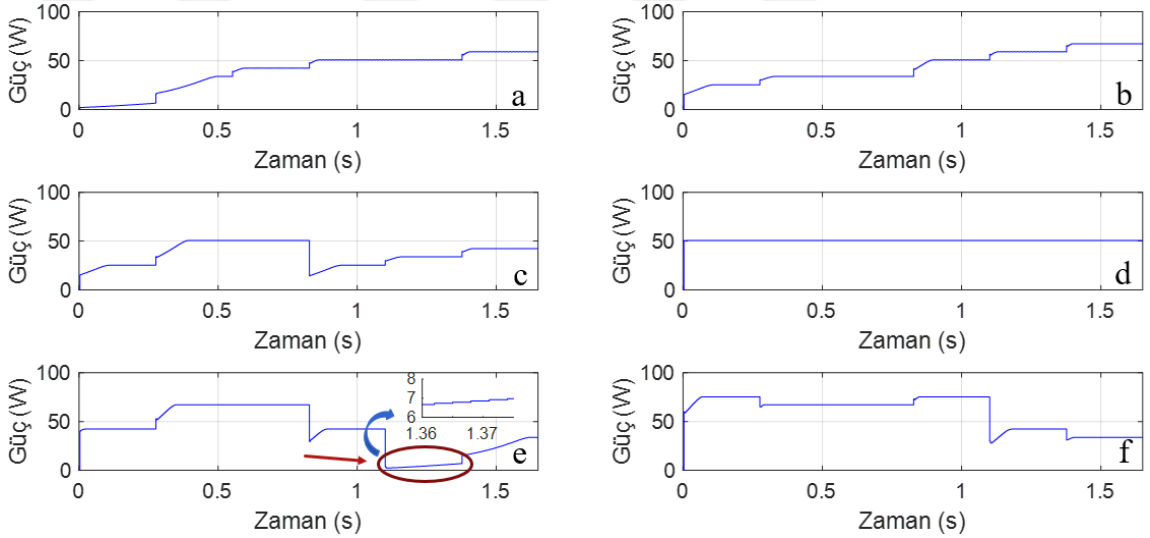
Şekil 85. Alt-modül MGNİ mimarisinde Senaryo 3’de parçalı gölgelemenin görünümü



Şekil 86. Alt-modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo-3 simülasyon sonuçları: (a) Alt-modül-1, (b) Alt-modül-4, (c) Alt-modül-2, (d) Alt-modül-5, (e) Alt-modül-3 ve (f) Alt-modül-6



Şekil 87. Alt-modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo-3 simülasyon sonuçları: (a) Alt-modül-7, (b) Alt-modül-10, (c) Alt-modül-8, (d) Alt-modül-11, (e) Alt-modül-9 ve (f) Alt-modül-12

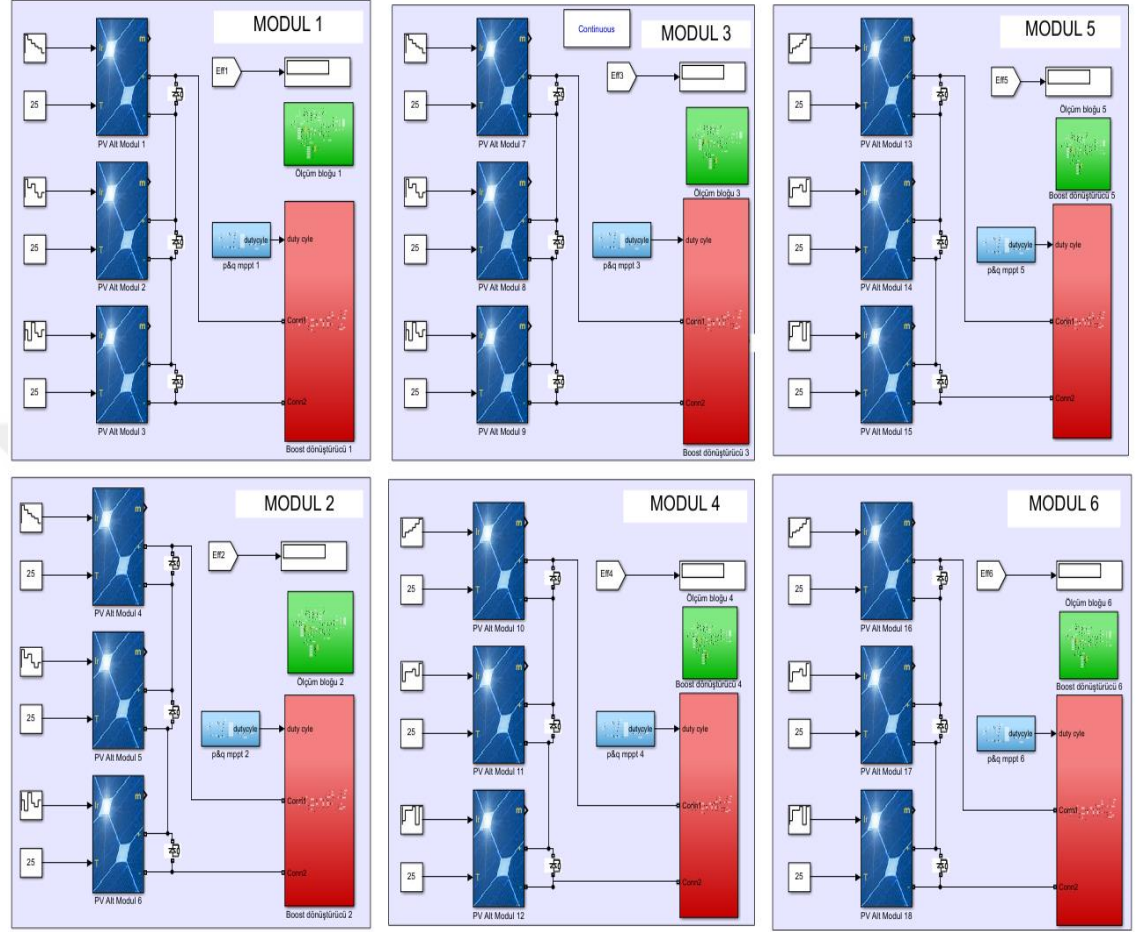


Şekil 88. Alt-modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo-3 simülasyon sonuçları: (a) Alt-modül-13, (b) Alt-modül-16, (c) Alt-modül-14, (d) Alt-modül-17, (e) Alt-modül-15 ve (f) Alt-modül-18

4.6. Farklı Işınımların Uygulandığı Alt-Modüllere Sahip FV Modül için Modül Tabanlı MGNİ Mimari Çalışması

Farklı ışınlamaların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimari çalışmasında on sekiz adet FV alt-modül ve altı adet DA-DA yükseltici dönüştürücü kullanılmıştır. MGNİ için D&G algoritması tercih edilmiştir. Bu çalışmada üç adet FV alt-modülün çıkışları seri bağlandıktan sonra elde edilen çıkışlar DA-DA yükseltici dönüştürücüye bağlanmıştır. Modül tabanlı MGNİ mimarisinde FV modüller parçalı gölgelenme durumu yaşandığında alt-modüllerde eşit ışınlamalar uygulanmıştır. Bu çalışmanın modül tabanlı MGNİ mimarisinden farklı FV alt-modüllerin farklı ışınlamalar

maruz kalmasıdır. Bu kapsamda oluşturulan model Şekil 89’da paylaşılmıştır. Tablo 14’de verilen FV alt-modül bu çalışma için kullanılmış olup, Tablo 10’da özellikleri listelenen DA-DA yükseltici ile simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir.



Şekil 89. Farklı ışınlımların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimari için SIMULINK modelinin ekran görünümü

4.6.1. Senaryo 1: Düzenli Işınlım Durumu

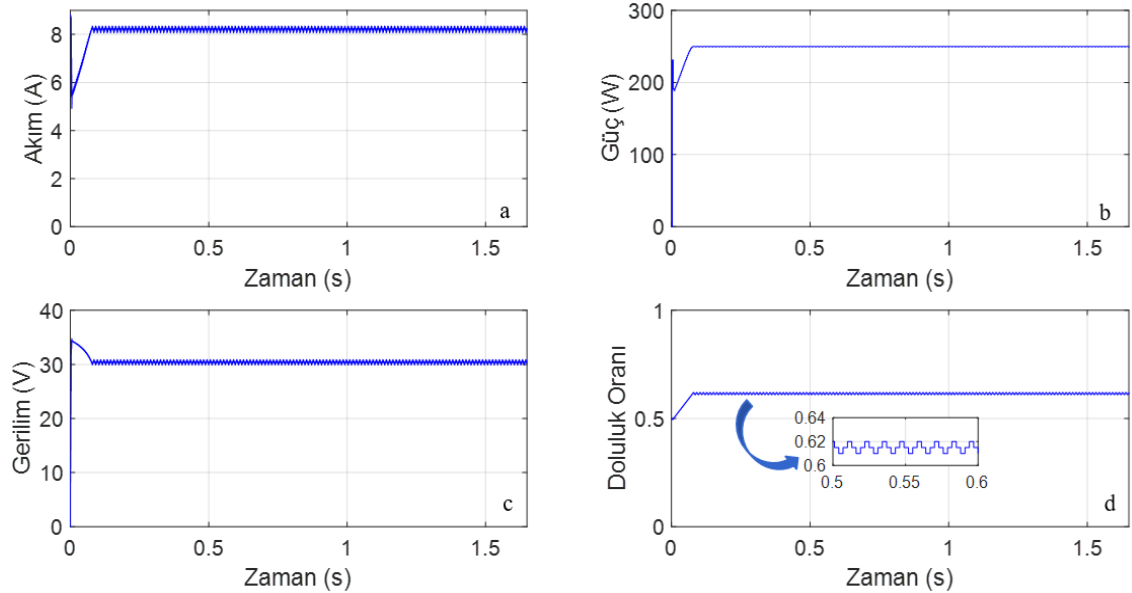
Simülasyon çalışmasında kullanılan on sekiz adet alt-modül 1000W/m^2 ışınlıma maruz kalmıştır. Alt-modüllere 1000W/m^2 ışınlım uygulandığı için parçalı gölgelenme durumu gerçekleşmemiştir. Alt-modüllere uygulanan ışınlım miktarı ve MGN’deki güç ve gerilim değerleri Tablo 18’de verilmiştir. Tabloda her modüle ait alt-modüller gruplandırılarak gösterilmiştir.

Senaryo-1’de alt-modül-1, alt-modül-2 ve alt-modül-3’e eşit ışınlımlar uygulandığında elde edilen sonuçlar Şekil 90’da verilmiştir. Şekil 90.(b)’de, FV modül güç değeri Tablo 18’de paylaşılan MGN’deki güç değerine eşit olup, Şekil 90.(a)’daki akım değeri 8.2A ve Şekil 89.(c)’deki gerilim değeri 30.3V’tur. Şekil 90.(b)’de sistemin

MGN'ye ulaşıp, MGNİ takibini gerçekleştirdiği belirlenmiştir. Çalışmaya ait MGNİ verimi %99.3 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 18. Farklı ışınlımların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimari çalışması Senaryo-1'de uygulanan ışınlım miktarları ve MGN'deki güç değerleri

Senaryo-2		Zaman (s)					
		0-0.275	0.275-0.55	0.55-0.825	0.825-1.1	1.1-1.375	1.375-1.65
FV modül 1-6	Alt-modül 1,4,7,10,13,16	1000					
	Alt-modül 2,5,8,11,14,17	1000					
	Alt-modül 3,6,9,12,15,18	1000					
	MGN'DE GÜÇ DEĞERİ (W)	249.96					



Şekil 90. Farklı ışınlımların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimari çalışması Senaryo-1 simülasyon sonuçları: (a) FV modül akım değişimi, (b) FV modül güç değişimi, (c) FV modül gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi

4.6.2. Senaryo-2: Hafif Parçalı Gölgeleme Durumu

Alt-modül tabanlı MGN mimarisinde Senaryo-2 için alt-modüllere uygulanan ışınlam değerleri bu senaryo içinde geçerlidir. Farklı ışınlamaların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGN mimarisi Senaryo-2 çalışmasına ait ışınlam ve P-V eğrilerindeki MGN'ye ait güç değerleri Tablo 19'da paylaşılmıştır. Tablo 19'da eşit ışınlamaya maruz kalan alt-modüller aynı satır içerisinde paylaşılmıştır. Tabloda FV modül-1, FV modül-2 ve FV modül-3 içerisindeki alt-modüllerin eşit ışınlamaya maruz kaldığı gösterilmiştir. Bu durum FV modül-4, FV modül-5 ve FV modül-6 içinde geçerlidir. Tablo 19 incelendiğinde simülasyon çalışmasında üç adet alt-modül seri olarak bağlandığında uygulanan ışınlamalar sonucunda parçalı gölgeleme durumu oluşmuş ve P-V eğrindeki tepe sayısı artmıştır.

Tablo 19'da FV modül-1, FV modül-2 ve FV modül-3'ün simülasyon süresince MGN'ye ulaşp, MGN takibini gerçekleştirmiştir. FV modül-4, FV modül-5 ve FV modül-6'da ise 0.55s-1.375s aralığında yerel MGN'ye takılı kalıp MGN'ye ulaşamadığı görülmüştür. Bu durum D&G algoritmasının yerel MGN'yi sistemin global MGN'si olarak kabul etmesinden kaynaklanmıştır.

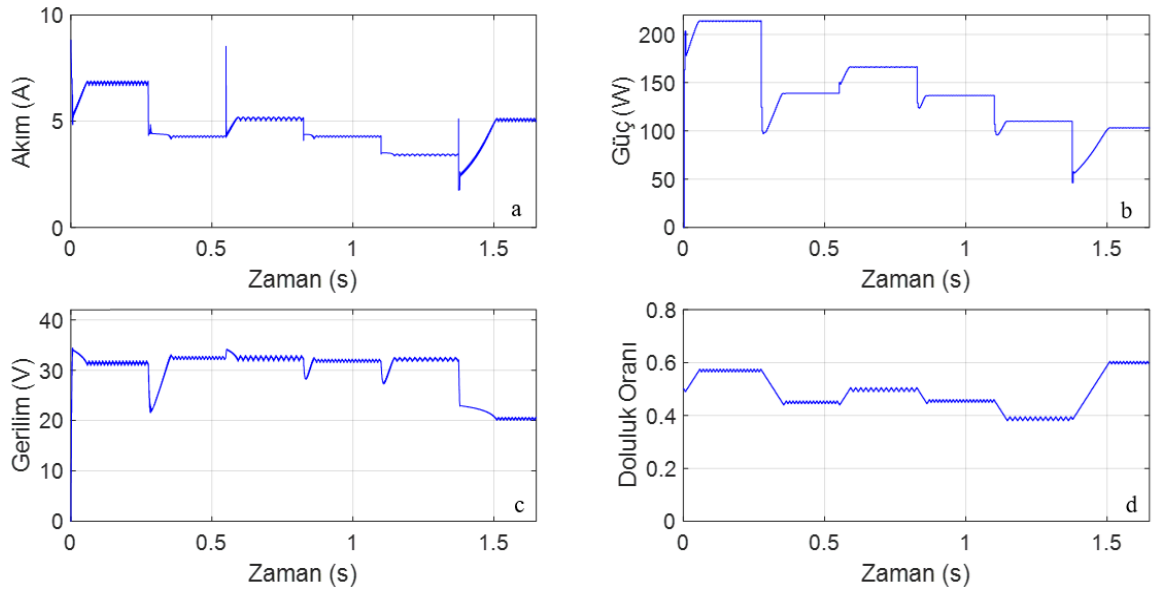
Tablo 19. Farklı ışınlamaların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGN mimari çalışması Senaryo-2'de uygulanan ışınlam miktarları ve MGN'deki güç değerleri

Senaryo-2			Zaman (s)					
			0-0.275	0.275-0.55	0.55-0.825	0.825-1.1	1.1-1.375	1.375-1.65
FV modül 1-3	FV alt-modül 1,4,7	ışınlam (W/m ²)	1000	800	600	500	400	200
	FV alt-modül 2,5,8	ışınlam (W/m ²)	900	700	800	600	500	600
	FV alt-modül 3,6,9	ışınlam (W/m ²)	800	500	1000	700	600	800
	Tepe 1: MGN'deki güç değeri (W)		214.12	139	166.44	136.71	110.03	103.25
	Tepe 2: Yerel MGN'deki güç değeri (W)		149.59	117.89	135.93	101.65	85.14	57.65
	Tepe 3: Yerel MGN'deki Güç değeri (W)		70.18	56.71	70.16	49.81	42.8	56.68

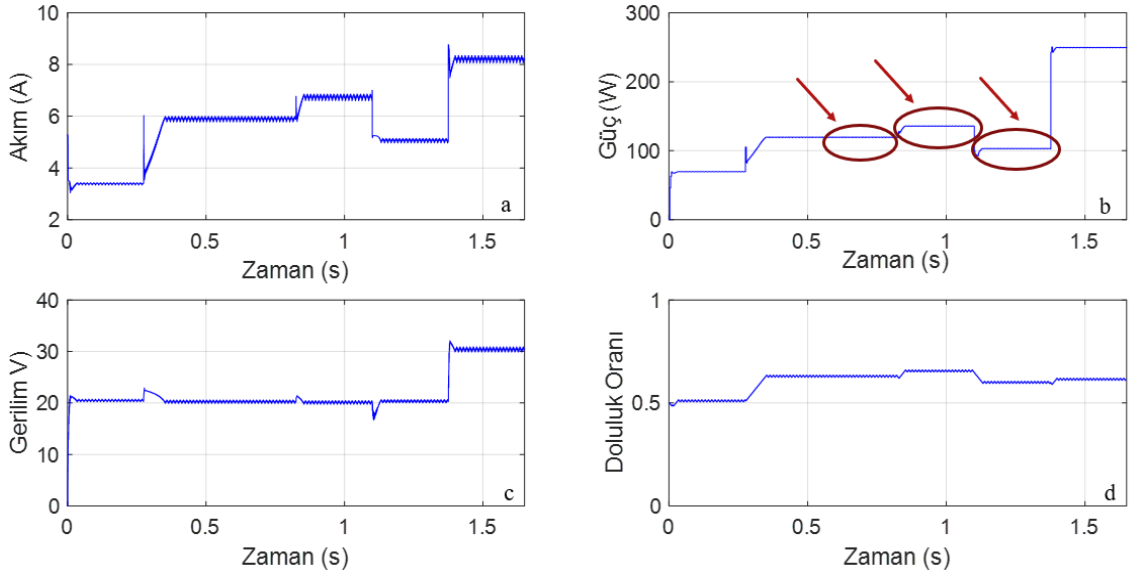
Tablo 19. (Devamı)

Senaryo-2			Zaman (s)					
			0-0.275	0.275-0.55	0.55-0.825	0.825-1.1	1.1-1.375	1.375-1.65
FV modül 4-6	FV alt-modül 10,13,16	Işınım (W/m^2)	200	400	500	600	800	1000
	FV alt-modül 11,14,17	Işınım (W/m^2)	400	700	700	800	600	1000
	FV alt-modül 12,15,18	Işınım (W/m^2)	600	900	900	1000	500	1000
	Tepe 1: MGN'deki güç değeri (W)		69.52	119.73	139.64	166.44	137.57	249.96
	Tepe 2: Yerel MGN'deki güç değeri (W)		56.68	113.49	119.73	135.93	103.27	
	Tepe 3: Yerel MGN'deki Güç değeri (W)		42.79	63.48	63.49	70.16	56.7	

Senaryo-2'nin simülasyon sonuçları FV modül-1 ve FV modül-4 için sırasıyla Şekil 91 ve Şekil 92'de paylaşılmıştır. Simülasyon çalışmasının sonucunda MGNİ verimleri FV modül-1 ve FV modül-4 için sırasıyla %96.92 ve %89.54'tür.



Şekil 91. Farklı ışınlımların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimari çalışması Senaryo-2'de FV modül-1 için simülasyon sonuçları: (a) FV modül akım değişimi, (b) FV modül güç değişimi, (c) FV modül gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi



Şekil 92. Farklı ışınlımların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimari çalışması Senaryo-2’de FV modül-4 için simülasyon sonuçları: (a) FV modül akım değişimi, (b) FV modül güç değişimi, (c) FV modül gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi

4.6.3. Senaryo-3: Şiddetli Parçalı Gölgeleme Durumu

Farklı ışınlımların uygulandığı alt-modüllere sahip FV modül için modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo 3 için FV alt-modüllere uygulanan ışınlım miktarları, P-V eğrisi ile elde edilen MGN ve yerel MGN’deki güç değerleri Tablo 20’de verilmiştir. Alt-modül tabanlı MGNİ mimarisi Senaryo-3’de uygulanan ışınlım miktarları bu çalışma için de geçerlidir.

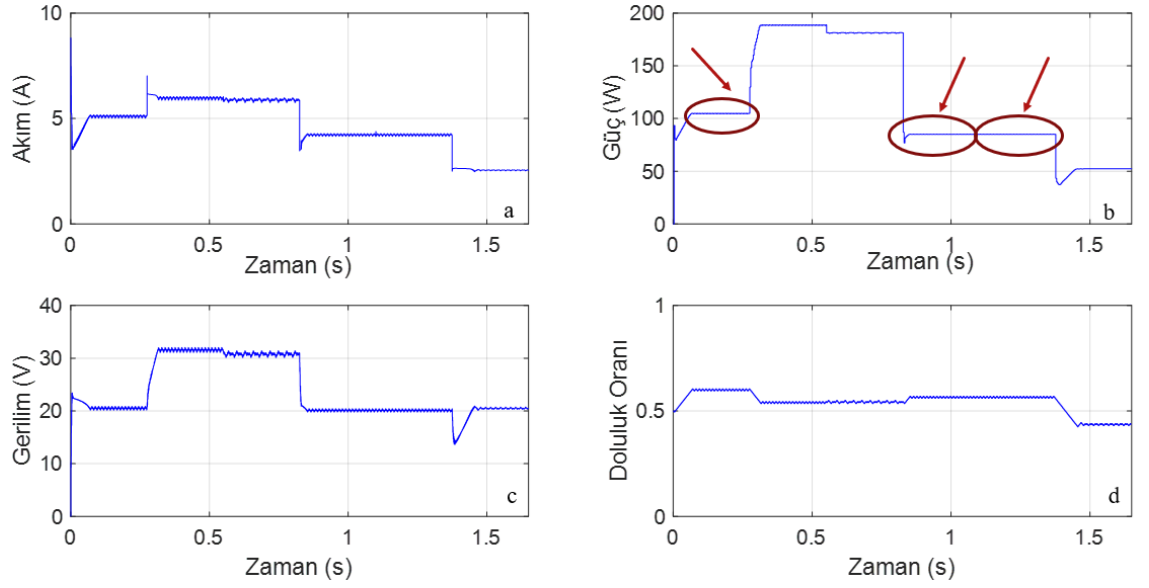
Simülasyon çalışması sonucunda Tablo 20’da kırmızı renkli gösterilen alanlarda sistem yerel MGN’ye takılı kalmış ve MGN’ye ulaşamamıştır. Bu durum sonucunda alt-modüllerin çıkışından P-V eğrisinde elde edilen MGN’deki güç değerinden daha az değerde güç üretilmiştir. Senaryo-3’ün simülasyon sonuçları FV modül-1, FV modül-2, FV modül-3, FV modül-4, FV modül-5 ve FV modül-6 için sırasıyla Şekil 93, Şekil 94, Şekil 95, Şekil 96, Şekil 97 ve Şekil 98’de verilmiştir. Hesaplanan verim değerleri FV modül-1, FV modül-2, FV modül-3, FV modül-4, FV modül-5 ve FV modül-6 için sırasıyla %91.16, %98.77, %94.36, %92.45, %97.61 ve %95.85’tir.

Tablo 20. Farklı ışınlımların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimari çalışması Senaryo-3’de uygulanan ışınlım miktarları ve MGN’deki güç değeri

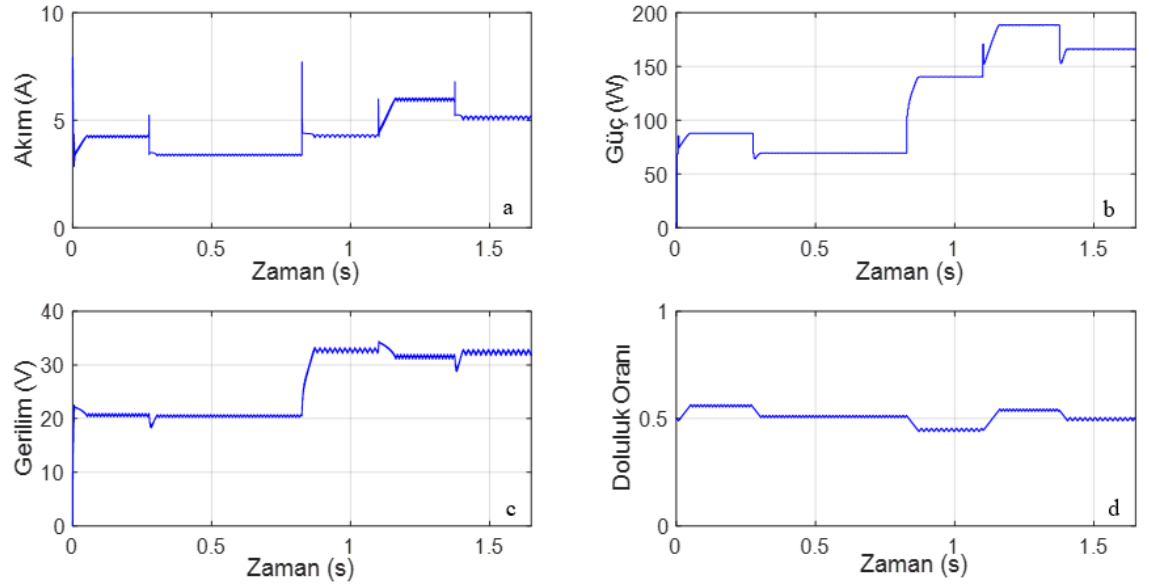
			Zaman (s)					
Senaryo-3			0-0.275	0.275-0.55	0.55-0.825	0.825-1.1	1.1-1.375	1.375-1.65
FV modül 1	FV alt modül-1	İşınım (W/m ²)	1000	900	700	500	400	100
	FV alt modül-2	İşınım (W/m ²)	400	800	800	400	500	300
	FV alt modül-3	İşınım (W/m ²)	600	700	700	600	600	500
	Tepe 1: MGN’deki güç değeri (W)		113.11	188.76	181.43	110.03	110.03	52.29
	Tepe 2: Yerel MGN’deki güç değeri (W)		104.99	133.88	56.72	85.14	85.14	35.69
	Tepe 3: Yerel MGN’deki güç değeri (W)		70.13	63.51		42.8	42.8	28.31
FV modül 2	FV alt modül-4	İşınım (W/m ²)	300	600	600	800	900	1000
	FV alt modül-5	İşınım (W/m ²)	900	400	400	900	800	800
	FV alt modül-6	İşınım (W/m ²)	500	200	200	500	700	600
	Tepe 1: MGN’deki güç değeri (W)		87.97	69.52	69.52	140.51	188.76	166.44
	Tepe 2: Yerel MGN’deki güç değeri (W)		85.27	56.68	56.68	133.86	133.88	135.93
	Tepe 3: Yerel MGN’deki güç değeri (W)		63.46	42.79	42.79	63.49	63.51	70.16
FV modül 3	FV alt modül-4	İşınım (W/m ²)	650	750	800	900	950	1000
	FV alt modül-5	İşınım (W/m ²)	500	600	600	500	850	500
	FV alt modül-6	İşınım (W/m ²)	400	400	400	400	750	400
	Tepe 1: MGN’deki güç değeri (W)		110.41	112.17	112.4	111.62	201.5	111.94
	Tepe 2: Yerel MGN’deki güç değeri (W)		85.94	102.57	103.26	87.98	141.77	88.45
	Tepe 3: Yerel MGN’deki güç değeri (W)		46.31	53.27	56.7	63.47	66.86	70.13

Tablo 20. (Devamı)

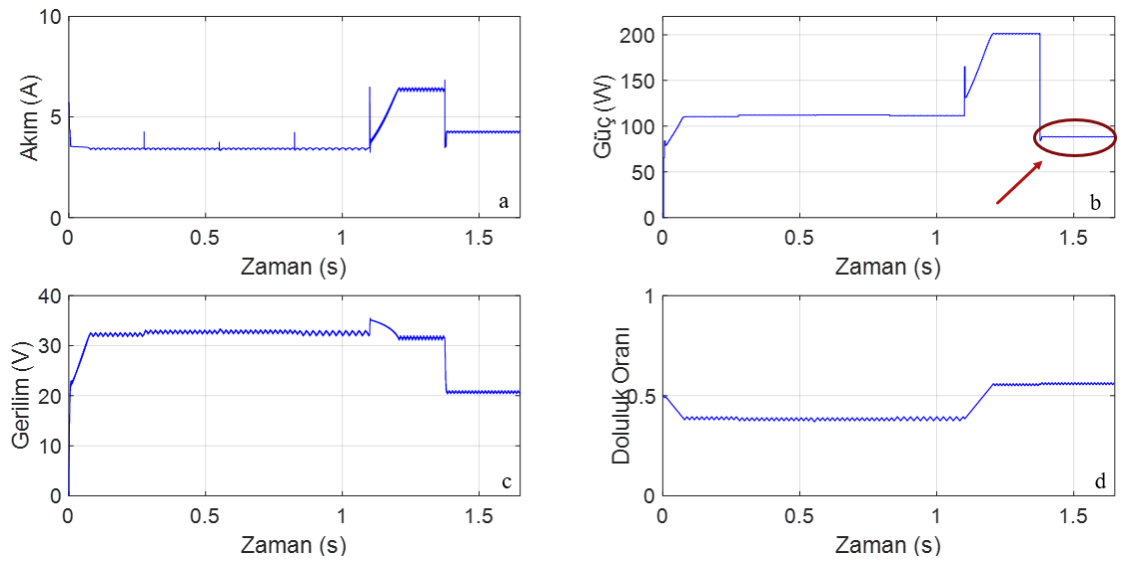
Senaryo-3			Zaman (s)					
			0-0.275	0.275-0.55	0.55-0.825	0.825-1.1	1.1-1.375	1.375-1.65
FV modül 4	FV alt modül-10	Işınım (W/m ²)	200	400	500	700	800	1000
	FV alt modül-11	Işınım (W/m ²)	800	300	300	800	500	800
	FV alt modül-12	Işınım (W/m ²)	100	100	100	100	300	600
	Tepe 1: MGN'deki güç değeri (W)		56.65	51.43	52.29	117.87	87.36	188.76
	Tepe 2: Yerel MGN'deki güç değeri (W)		35.81	28.51	35.69	56.68	85.03	133.88
	Tepe 3: Yerel MGN'deki güç değeri (W)		32.84	28.19	28.31	29.05	56.68	63.51
	FV alt modül-13	Işınım (W/m ²)	100	400	500	600	600	700
FV modül 5	FV alt modül-14	Işınım (W/m ²)	300	600	600	300	400	500
	FV alt modül-15	Işınım (W/m ²)	500	800	800	500	100	400
	Tepe 1: MGN'deki güç değeri (W)		52.29	112.4	137.57	85.14	69.52	110.73
	Tepe 2: Yerel MGN'deki güç değeri (W)		35.69	103.26	103.27	84.36	42.79	86.52
	Tepe 3: Yerel MGN'deki güç değeri (W)		28.31	56.7	56.7	42.8	28.59	49.8
FV modül 6	FV alt modül-16	Işınım (W/m ²)	300	400	400	600	700	800
	FV alt modül-17	Işınım (W/m ²)	600	600	600	600	600	600
	FV alt modül-18	Işınım (W/m ²)	900	800	800	900	500	400
	Tepe 1: MGN'deki güç değeri (W)		104.26	112.4	112.4	158.75	136.71	112.4
	Tepe 2: Yerel MGN'deki güç değeri (W)		85.8	103.26	103.26	63.49	101.65	103.26
	Tepe 3: Yerel MGN'deki güç değeri (W)		63.47	56.7	56.7		49.67	56.7



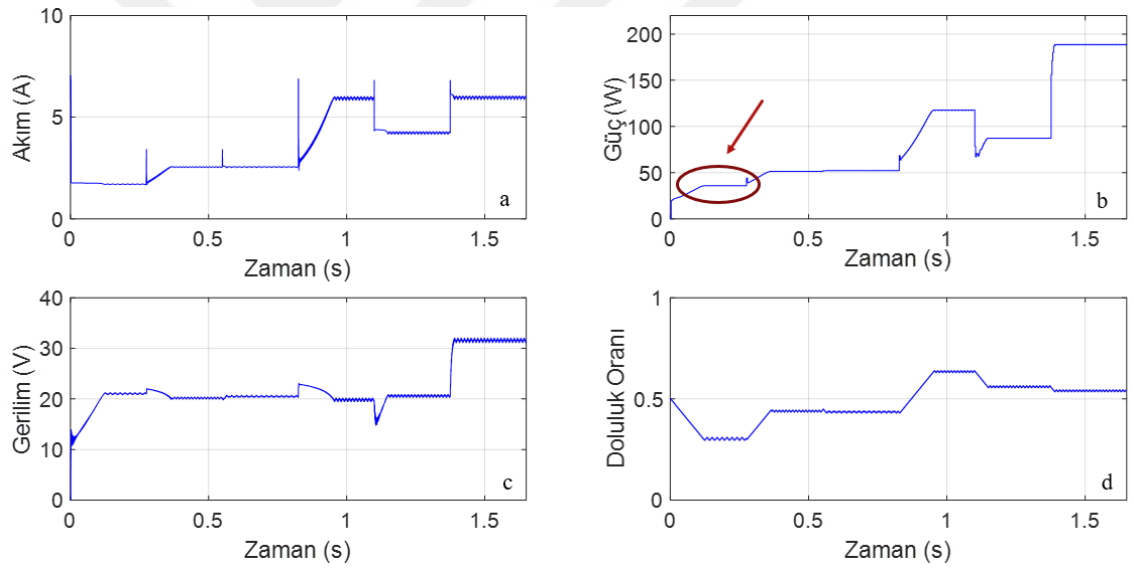
Şekil 93. Farklı ışınlımların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimari çalışması Senaryo-3’de FV modül-1 için simülasyon sonuçları: (a) FV modül akım değişimi, (b) FV modül güç değişimi, (c) FV modül gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi



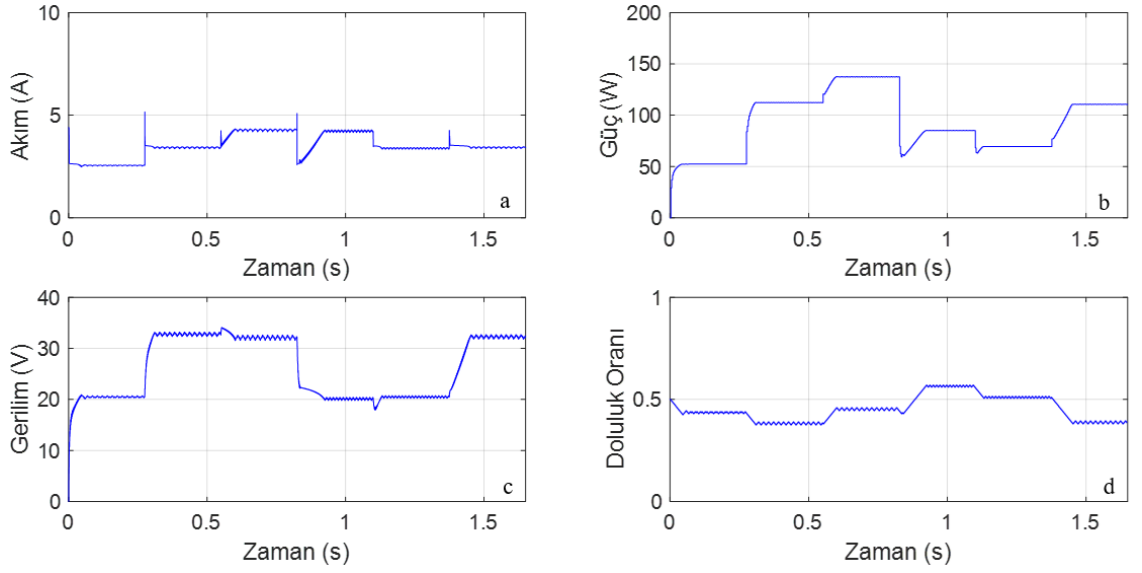
Şekil 94. Farklı ışınlımların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimari çalışması Senaryo-3’de FV modül-2 için simülasyon sonuçları: (a) FV modül akım değişimi, (b) FV modül güç değişimi, (c) FV modül gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi



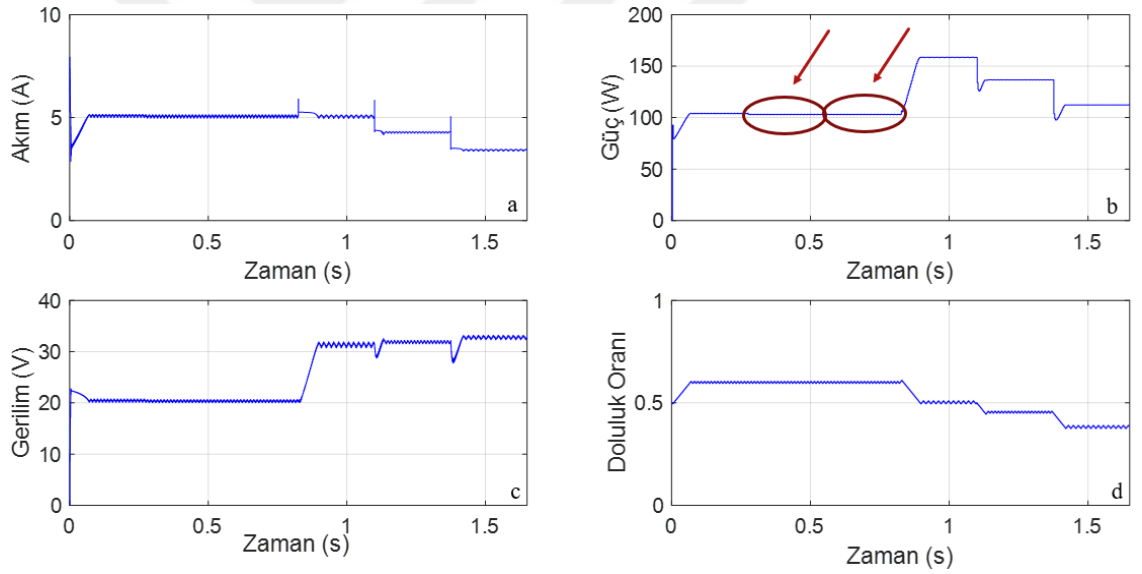
Şekil 95. Farklı ışınlımların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimari çalışması Senaryo-3’de FV modül-3 için simülasyon sonuçları: (a) FV modül akım değişimi, (b) FV modül güç değişimi, (c) FV modül gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi



Şekil 96. Farklı ışınlımların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimari çalışması Senaryo-3’de FV modül-4 için simülasyon sonuçları: (a) FV modül akım değişimi, (b) FV modül güç değişimi, (c) FV modül gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi



Şekil 97. Farklı ışınlımların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimari çalışması Senaryo-3’de FV modül-5 için simülasyon sonuçları: (a) FV modül akım değişimi, (b) FV modül güç değişimi, (c) FV modül gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi



Şekil 98. Farklı ışınlımların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimari çalışması Senaryo-3’de FV modül-6 için simülasyon sonuçları: (a) FV modül akım değişimi, (b) FV modül güç değişimi, (c) FV modül gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi

4.7. Tarama Yöntemi

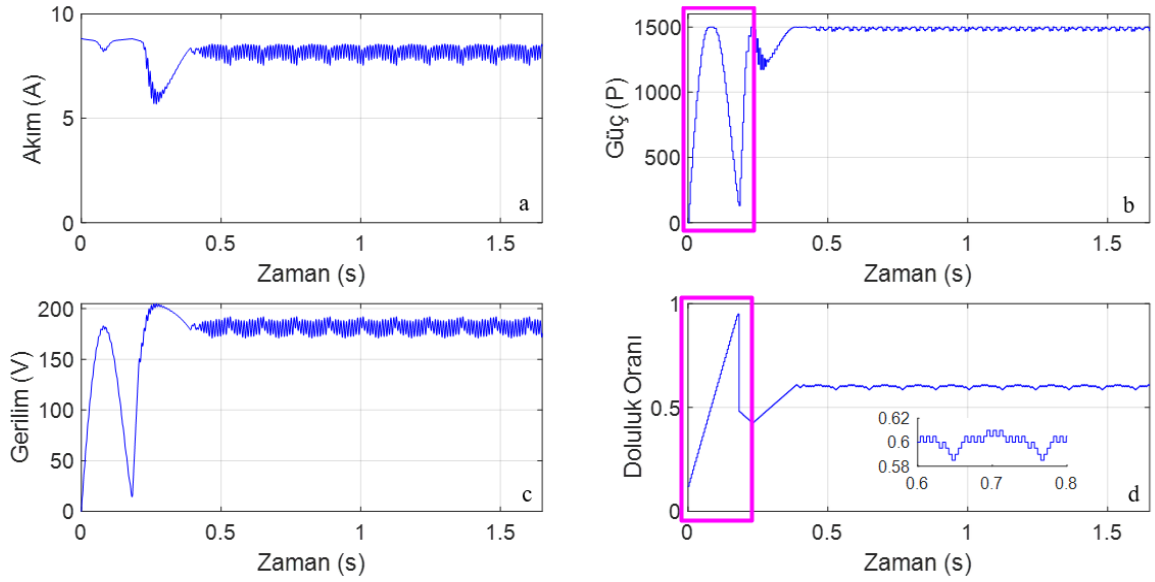
Çalışmanın bu kısmında doluluk oranında tarama yöntemi uygulanmıştır. Doluluk oranı tanımlanan en düşük değerden (D_{MIN}) başlatılmış ve doluluk oranı adım aralığı %2 olarak seçilmiştir. Doluluk oranı, belirtilen adım aralığı kadar artışlar ile tanımlanan en yüksek değere (D_{MAX}) ulaşana kadar tarama yöntemi gerçekleştirilmiştir. Bu esnada doluluk oranının aldığı değerler ve bu değerlere karşılık gelen güç değerleri

kaydedilmektedir. Doluluk oranı en yüksek değere ulaştığında tarama yöntemi tamamlanmıştır. Daha sonra kaydedilen güç değerleri arasından en yüksek güce karşılık gelen doluluk oranı seçilmiştir. Seçilen doluluk oranı ile D&G algoritması çalışmıştır. Tarama yöntemi sayesinde en yüksek güç değerine karşılık gelen doluluk oranı ile sistemin çalışması sağlanmıştır. Merkezi MGNİ ve modül tabanlı MGNİ mimarilerinde normal şartlara sahip olan Senaryo-1 için tarama yöntemi kullanılarak simülasyon çalışmaları uygulanmış ve FV modüllerin ürettiği güç performansları incelenmiştir.

4.7.1. Tarama Yöntemi ile Merkezi MGNİ Mimari Senaryo-1 Simülasyon Çalışması

Tarama yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen merkezi MGNİ mimarisi Senaryo-1 çalışmasında Tablo 6'da belirtilen parametreler geçerlidir. Bu çalışmada da merkezi MGNİ mimarisinde kullanıldığı gibi altı adet FV modül ve bir adet DA-DA yükseltici dönüştürücü kullanılmış olup, MGN takibi için D&G algoritması tercih edilmiştir. Simülasyon çalışmasında D_{MIN} değeri %10'dan başlatılıp, D_{MAX} 'a kadar sistem taraması gerçekleştirilmiştir. D_{TARAMA} yalnızca tarama için kullanılmış olup, D&G'de diğer simülasyonlardaki gibi adım aralığı %0.5'dir. Merkezi MGNİ mimarisi simülasyon çalışmasındaki ışıınım değerleri bu çalışma içinde uygulanmıştır. Tablo 7'de paylaşılan ışıınım değerleri ve MGN'ye ait güç değerleri bu çalışma içinde geçerlidir.

Simülasyon sonucunda elde edilen sonuçlar Şekil 99'da verilmiştir. Şekil 99.d'de pembe çerçeve içerisinde doluluk oranında gerçekleştirilen tarama işlemi gösterilmiştir. Tarama işlemi tamamlandıktan sonra seçilen doluluk oranı değeri ile D&G algoritması çalışmıştır. Şekil 99.b'de ise tarama işlemi esnasındaki güç değerlerinin değişimi sunulmuştur. Simülasyon sonucunda FV modüllerden üretilen güç değerinin Tablo 7'de belirtilen MGN'ye ulaştığı ve MGNİ takibini gerçekleştirdiği tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda MGNİ verimi %93.94 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan verim değeri merkezi MGNİ'ye göre daha düşüktür. Bunun sebebi tarama işleminden dolayı güç değeri MGN'ye daha geç ulaşmıştır.

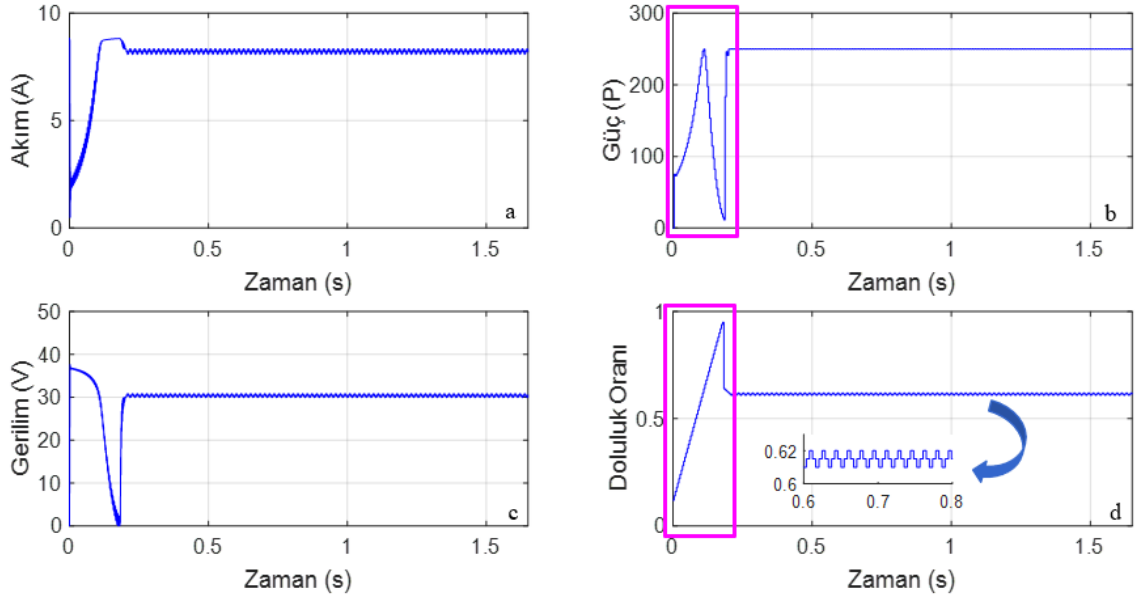


Şekil 99. Tarama yöntemi ile merkezi MGNI mimari Senaryo-1 için simülasyon sonuçları: (a) FV modül akım değişimi, (b) FV modül güç değişimi, (c) FV modül gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi

4.7.2. Tarama Yöntemi ile Modül Tabanlı MGNI Mimari Senaryo-1 Simülasyon Çalışması

Tarama yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen modül tabanlı MGNI mimarisinde Senaryo-1 çalışmasında Tablo 11’de belirtilen bileşenlere ait değerler kullanılmıştır. Modül tabanlı MGNI mimarisinde altı adet FV modül ve altı adet DA-DA yükseltici dönüştürücü kullanılmış olup, MGNI için D&G algoritması kullanılmıştır. Tablo 12’de paylaşılan ışıınım değerleri ve P-V eğrisi ile elde edilen MGN’ye ait güç değerleri bu çalışmada içinde kullanılmıştır.

Simülasyon sonucunda elde edilen sonuçlar Şekil 99’da verilmiş olup, Şekil 99.b’de tarama yöntemi ile modül tabanlı MGNI mimari simülasyon çalışmasında MGN’ye ulaşılmış ve MGNI takibi gerçekleştiği sonucuna varılmıştır. Şekil 99.d’de pembe çerçeve içerisinde doluluk oranında gerçekleştirilen tarama işlemi gösterilmiştir. Çalışma sonucunda hesaplanan MGNI verimi %94.32’dir.



Şekil 100. Tarama Yöntemi ile Modül tabanlı MGNİ Mimari Senaryo-1 için simülasyon sonuçları: (a) FV modül akım değişimi, (b) FV modül güç değişimi, (c) FV modül gerilim değişimi ve (d) Doluluk Oranı değişimi

5. SİMÜLASYON SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Senaryo-1 için gerçekleştirilen simülasyon çalışmalarında FV modül veya alt-modüllerin tamamı eşit ışınlıma maruz kaldığından dolayı parçalı gölgelenme durumu oluşmamıştır. Senaryo-2’de hafif parçalı gölgelenme durumu, Senaryo-3’te ise şiddetli parçalı gölgelenmeler meydana gelmiştir. Bu başlık altında parçalı gölgelenmenin olduğu senaryolara ait simülasyon çalışmalarının sonuçları değerlendirilmiştir.

Merkezi MGNİ mimarisinde parçalı gölgelenme durumu meydana geldiğinde P-V eğrisinde birden fazla tepe meydana gelmiştir. MGNİ için kullanılan D&G algoritması ise yerel MGN’sini sistemin global MGN’si olarak algılayabildiğinden, daha düşük değerlerde güç üretilmesi gibi durumlarla karşılaşmıştır. Çünkü D&G algoritması tipik tepe tırmanma yaklaşımını benimsediğinden, ilk yakaladığı tepeyi global MGN olarak kabul etmektedir. Bu nedenle sistem performansı olumsuz yönde etkilenmiş ve MGNİ verimi istenen düzeyde olmamıştır.

Modül tabanlı MGNİ mimarisinde yapılan çalışmada altı adet FV modül, altı adet DA-DA dönüştürücü ve her modül için D&G algoritması kullanılmıştır. Her FV modülde MGNİ işlemi birbirinden bağımsız yapıldığından oluşabilecek parçalı gölgelenme durumları belli ölçüde bertaraf edilmiş ve P-V eğrilerinde yalnızca MGN’deki güç değerleri elde edilmiştir. Kullanılan MGNİ algoritmasıyla FV modül çıkışında MGN’ye ait güç değeri üretilmiş ve MGNİ takibi sağlanmıştır. Merkezi MGNİ mimarisinde seri bağlı altı adet FV modül çıkışındaki güç incelenirken bu çalışmada bir adet FV modül çıkışındaki güç değeri incelenmiştir. Bundan dolayı elde edilen sonuçlar merkezi MGNİ mimarine göre hassastır. Modül tabanlı MGNİ’de elde edilen verim değerleri merkezi MGNİ çalışmasına göre daha yüksektir.

Alt-modül tabanlı MGNİ mimarisinde ise on sekiz adet FV alt-modül ve DA-DA yükseltici dönüştürücü kullanılmıştır. MGNİ için D&G algoritması kullanılmıştır. FV alt-modüllerde birbirinden bağımsız MGNİ gerçekleştiğinden, modül tabanlı MGNİ’ye göre daha hassas sonuçlar elde edilmiştir. Modül tabanlı MGNİ mimaride FV modüllerin sahip olduğu FV alt-modüller eşit ışınlıma maruz kalırken, bu çalışmada FV alt-modüller farklı ışınlıma maruz kalmasına rağmen MGN’ye ulaşmış ve MGN takibi gerçekleştirilmiştir. Bu mimariye ait yapılan çalışmalarda üretilen güç diğer iki mimariye göre daha yüksek değerdedir. Her alt-modülde MGNİ takibi yapılması sistem

performansını olumlu yönde etkilemiş ve verim değerlerinin diğer iki mimari çalışmasına göre daha yüksek olması sağlanmıştır.

Farklı ışınımlara maruz kalan alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimarisinde enerji üretim performansı incelenmiştir. Üç alt-modül seri bağlanmış ve çıkışında bir adet DA-DA yükseltici dönüştürücü kullanılmıştır. FV alt-modüller parçalı gölgelenmeye maruz kaldığında P-V grafiğinde oluşan tepe sayısı artmakta ve MGNİ için kullanılan algoritma bazen MGN'yi hatalı olarak tespit edebilmektedir. Bundan dolayı sistem performansı olumsuz olarak etkilenmiştir. Bu çalışmada üretilen güç miktarları modül ve alt-modül tabanlı MGNİ'ye göre düşüktür. Fakat parçalı gölgelenme durumu merkezi MGNİ'ye göre daha az olduğundan dolayı üretilen güç miktarı merkezi MGNİ mimarisine göre yüksektir.

Simülasyon çalışmaları karşılaştırıldığında en iyi performansı sırasıyla alt-modül tabanlı MGNİ, modül tabanlı MGNİ ve merkezi MGNİ mimarisi göstermiştir.

5.1. Senaryo-2: Hafif Parçalı Gölgeleme Durumu

Senaryo 2'ye ait ışınım değerleri 3 farklı mimaride uygulanmış ve MGNİ verimleri hesaplanmıştır. Tablo 21'de MGNİ mimarilerine ait verim değerleri verilmiştir. Tablo 21 incelendiğinde, MGNİ verim değerleri alt-modül MGNİ mimaride %97.38-%99.08, modül tabanlı MGNİ mimaride %97.1-%98.09, merkezi MGNİ mimaride %75.85 ve farklı ışınımların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimarisine ait çalışmada %89.54-%96.92'tür. Bu değerler incelendiğinde en yüksek verimin alt-modül MGNİ mimarisine ait olduğu tespit edilmiştir.

Senaryo-2 için gerçekleştirilen merkezi, modül, alt-modül ve alt-modül kullanımı ile modül MGNİ mimarisi simülasyon çalışmalarının sonuçları sırasıyla Tablo 8, Tablo 12, Tablo 16 ve Tablo 19'de paylaşılmıştı. Tablolardaki veriler derlendiğinde Tablo 22 oluşturulmuştur. Tablo 22'de Senaryo-2 için gerçekleştirilen simülasyonların ilgili zaman aralığında üretmiş oldukları güç değerleri toplanmıştır. Başka bir deyişle 0-0.275s aralığında üretilen toplam güç değeri merkezi MGNİ mimarisinde 730.31W, farklı ışınımların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimarisi çalışmasında 850.92W, modül tabanlı MGNİ mimarisinde 900.15W ve alt-modül tabanlı MGNİ mimarisinde 981.79W'tır. Tablo 22'de simülasyon süresi boyunca 0.275s'lik zaman aralıkları incelendiğinde üretilen en yüksek güç değeri alt-modül tabanlı MGNİ mimarisine aittir. Fakat 1.1-1.375s aralığında üretilen en yüksek güç değeri modül tabanlı MGNİ mimarisindedir. Bunun sebebi ise FV modüllere uygulanan

ışınım değerinden daha az ışınımın alt-modüllere uygulanması ve üretilen güç miktarının azalmasıdır.

Tablo 21. Senaryo-2 için farklı MGNİ mimarilerinin MGNİ verimleri

Simülasyon sonucu hesaplanan verimler (%)					
Simülasyonda kullanılan MGNİ mimari çeşitleri		Merkezi MGNİ mimarisi	Modül tabanlı MGNİ mimarisi	Alt modül tabanlı MGNİ mimarisi	Farklı ışınlımların uygulandığı alt modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ
Modül 1	Alt-modül-1	75.85	98.09	98.07	96.92
	Alt-modül-2			99.08	
	Alt-modül-3			97.63	
Modül 2	Alt-modül-4		98.09	98.07	96.92
	Alt-modül-5			99.08	
	Alt-modül-6			97.63	
Modül 3	Alt-modül-7		98.09	98.07	96.92
	Alt-modül-8			99.08	
	Alt-modül-9			97.63	
Modül 4	Alt-modül-10		97.1	97.38	89.54
	Alt-modül-11			98.17	
	Alt-modül-12			97.54	
Modül 5	Alt-modül-13		97.1	97.38	89.54
	Alt-modül-14			98.17	
	Alt-modül-15			97.54	
Modül 6	Alt-modül-16		97.1	97.38	89.54
	Alt-modül-17			98.17	
	Alt-modül-18			97.54	

Tablo 22. MGNİ mimarilerinin Senaryo-2 için güç değerleri

Zaman (s)	FV sistem çıkışında üretilen güç miktarları (W)					
	0.0- 0.275	0.275- 0.55	0.55- 0.825	0.825- 1.1	1.1- 1.375	1.375- 1.65
Merkezi MGNİ mimari	730.31	599.6	444.75	444.75	599.6	730.31
Modül tabanlı MGNİ mimari	900.15	909.83	837.52	837.52	909.83	900.15
Alt-modül tabanlı MGNİ mimari	981.29	1010.33	1133.94	1060.06	861.29	1153.78
Farklı ışınımın uygulandığı alt modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ çalışması	850.92	776.18	858.51	817.9	639.88	1059.64

Senaryo-2 için gerçekleştirilen simülasyon sonuçları için Tablo 22'deki verilerin kullanımı ile Tablo 23'te MGNİ mimarileri karşılaştırılmıştır. Tablo 23'de modül tabanlı MGNİ mimari yerine merkezi MGNİ mimarisi tercih edildiği durum karşılaştırılmıştır. Merkezi MGNİ mimaride 0-0.275s aralığında FV sistemde üretilen güç miktarı 900.15W iken merkezi MGNİ mimaride 730.31W değerinde güç üretilmiştir. Bu iki MGNİ mimarisi karşılaştırıldığında modül tabanlı MGNİ mimari yerine merkezi MGNİ mimari tercih edildiğinde modül tabanlı MGNİ mimarisine göre %81.13 kadar güç üretilmiştir. Modül tabanlı MGNİ mimari yerine merkezi MGNİ mimari tercih edildiğinde, modül tabanlı MGNİ'nin %53.1'i ile %81.13'i kadar güç üretilmiştir.

Tablo 23'te alt-modül tabanlı MGNİ mimari yerine merkezi MGNİ mimarisinin tercih edildiği durumda üretilen güç miktarındaki yüzdelik değişimler paylaşılmıştır. Tabloda 0-0.275s aralığında aynı ışınımın altında alt-modül tabanlı MGNİ mimarisinde üretilen güç miktarı 981.29W'tır. Alt-modül tabanlı MGNİ mimarisi yerine merkezi MGNİ mimarisi tercih edildiğinde alt-modül MGNİ mimarisine göre %74.42 oranında 730.31W değerinde güç üretilmiştir.

Farklı ışınımın uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimarisindeki çalışma ile merkezi MGNİ mimarisi karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlarda farklı ışınımın uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimarisinde çalışma ile üretilen güç miktarları merkezi MGNİ mimarisine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Simülasyon süresi 0-0.275s aralığında farklı ışınımın uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı

MGNİ mimarisinde üretilen güç miktarı 850.92W iken merkezi MGNİ mimaride 730.3W olarak hesaplanmıştır. Farklı ışınımın uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimarisi çalışması yerine merkezi MGNİ mimarisi kullanıldığında %85.83 kadar güç üretilmiş ve simülasyon süresi boyunca üretilen güç miktarları %51.81- %93.7 arasında olmuştur.

Tablo 23. MGNİ mimarilerinin Senaryo-2 için MGNİ verim değerlendirilmesi

Simülasyon çalışmalarında kullanılan MGNİ mimarileri arasındaki yüzdelerdeki değişim						
Zaman (s)	0- 0.275	0.275- 0.55	0.55- 0.825	0.825- 1.1	1.1- 1.375	1.375- 1.65
Merkezi MGNİ mimari	730.31	599.6	444.75	444.75	599.6	730.31
Modül MGNİ mimari	900.15	909.83	837.52	837.52	909.83	900.15
Yüzdelerdeki değişim (%)	81.13	65.9	53.1	53.1	65.9	81.13
Merkezi MGNİ mimari	730.31	599.6	444.75	444.75	599.6	730.31
Alt-modül MGNİ mimari	981.29	1010.33	1133.94	1060.06	861.29	1153.78
Yüzdelerdeki değişim (%)	74.42	59.35	39.22	41.96	69.62	63.3
Merkezi MGNİ mimari	730.31	599.6	444.75	444.75	599.6	730.31
Farklı ışınımın uygulandığı alt modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ	850.92	776.18	858.51	817.9	639.88	1059.64
Yüzdelerdeki değişim (%)	85.83	77.25	51.81	54.38	93.7	68.92
Modül MGNİ mimari	900.15	909.83	837.52	837.52	909.83	900.15
Alt-modül MGNİ mimari	981.29	1010.33	1133.94	1060.06	861.29	1153.78
Yüzdelerdeki değişim (%)	91.73	90.05	73.86	79.01	105.63	78.02
Farklı ışınımın uygulandığı alt modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ	850.92	776.18	858.51	817.9	639.88	1059.64
Modül MGNİ mimari	900.15	909.83	837.52	837.52	909.83	900.15
Yüzdelerdeki değişim (%)	94.53	85.31	102.51	97.66	70.33	117.72
Farklı ışınımın uygulandığı alt modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ	850.92	776.18	858.51	817.9	639.88	1059.64
Alt-modül MGNİ mimari	981.29	1010.33	1133.94	1060.06	861.29	1153.78
Yüzdelerdeki değişim (%)	86.71	76.82	75.71	77.16	74.29	91.84

Alt-modül tabanlı MGNİ mimari yerine modül tabanlı MGNİ mimarisi tercih edildiğinde üretilen güç miktarları azalmıştır. Fakat bazı zaman aralıklarında (1.1-1.375s) bu durumun tersi söz konusudur. Bunun sebebi, alt-modül tabanlı MGNİ

mimarisinde uygulanan ışınlm değerleridir. Başka bir ifadeyle, modül tabanlı MGNİ mimarisine uygulanan ışınlm değerinden daha küçük değerli ışınlm alt-modül tabanlı MGNİ mimarisine uygulandığında sistem MGN’de çalışsa bile üretilen güç miktarı modül tabanlı MGN’ye göre az olmuştur. Alt-modül tabanlı MGNİ mimarisi yerine modül MGNİ mimarisi kullanıldığında üretilen güç miktarları alt-modül MGNİ mimarisine göre %73.86 ile % 105.63 değerleri arasında olduğu belirlenmiştir.

Farklı ışınlmların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimarisindeki çalışma ile modül tabanlı MGNİ mimari çalışması kıyaslandığında modül tabanlı MGNİ mimarisinde üretilen gücüm daha büyük olduğu görölmüştür. Simölasyon çalışmasında 0.55-0.825s aralığında farklı ışınlmların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimarisindeki çalışmada üretilen gücün daha yüksek değerde olması, alt-modüllere uygulanan ışınlmların modüle uygulanan ışınlm değerinden fazla olmasından dolaydır. Bu kıyaslamada farklı ışınlmların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimarisindeki çalışması %70.33 ile %117.72 arasında güç üretilmiştir.

Farklı ışınlmların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimarisindeki çalışma ile alt-modül tabanlı MGNİ mimarisi karşılaştırıldığında alt-modül tabanlı MGNİ mimarisi çalışmasında daha yüksek güç değerleri üretilmiştir. Alt-modül tabanlı MGNİ mimari yerine farklı ışınlmların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimarisindeki çalışması tercih edildiğinde üretilen güç miktarı alt-modül MGNİ mimarisine göre %74.29 ile %91.84 aralığındadır.

Tablo 23’te Senaryo-2 için gerçekleştirilen farklı MGNİ mimarilerine ait simölasyon çalışmaları sonucunda üretilen güç miktarları incelenmiştir. Senaryo 2 için yapılan incelemeler sonucunda üretilen güç miktarı en çok değerden en az değere doğru sırasıyla alt-modül tabanlı, modül tabanlı, alt-modül kullanımı ile modül tabanlı ve merkezi MGNİ olduğu tespit edilmiştir.

5.2. Senaryo-3: şiddetli Parçalı Gölgeleme Durumu

Senaryo-3 için farklı mimarilerde gerçekleştirilen simölasyon çalışmalarında hesaplanan verim değerleri Tablo 24’de paylaşılmıştır. Tablo 24’e göre MGNİ verim değerleri alt-modül MGNİ mimaride %84.66-%99.95, modül tabanlı MGNİ mimaride %96.03-%99.77, merkezi MGNİ mimaride %89.26 ve farklı ışınlmların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimarisine ait çalışmada %91.16-%98.77’dir. Verim değerleri içerisinde en yüksek değer alt-modül tabanlı MGNİ mimarisine aittir.

Tablo 24. Senaryo-3 için farklı MGNİ mimarilerinin MGNİ verimleri

Simülasyon sonucu hesaplanan verimler (%)				
Simülasyonda kullanılan MGNİ mimari çeşitleri	Merkezi MGNİ mimarisi	Modül tabanlı MGNİ mimarisi	Alt modül tabanlı MGNİ mimarisi	Farklı işinimların uygulandığı alt modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ
Modül 1	89.26	97.4	Alt-modül-1	97.46
			Alt-modül-2	96.68
			Alt-modül-3	99.81
Modül 2		Alt-modül-4	98.26	
		Alt-modül-5	96.48	
		Alt-modül-6	95.46	
Modül 3		Alt-modül-7	99.85	
		Alt-modül-8	98.38	
		Alt-modül-9	97.51	
Modül 4		Alt-modül-10	97.42	
		Alt-modül-11	93.75	
		Alt-modül-12	84.66	
Modül 5		Alt-modül-13	95.11	
		Alt-modül-14	96.5	
		Alt-modül-15	93.97	
Modül 6		Alt-modül-16	98.69	
		Alt-modül-17	99.95	
		Alt-modül-18	98.84	

Senaryo-3'ün merkezi, modül tabanlı, alt-modül tabanlı ve farklı ışınlımların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimarisine ait simülasyon çalışmalarının sonuçları sırasıyla Tablo 9, Tablo 13, Tablo 17 ve Tablo 20'de sunulmuştu. Tablolardaki veriler düzenlendiğinde Tablo 25 oluşturulmuştur. Tablo 25'te 0-0.275s aralığında üretilen güç miktarı merkezi MGNİ mimaride 329.05W, modül tabanlı MGNİ mimaride 632.29W ve alt-modül tabanlı MGNİ mimaride 758.58W'tır.

Tablo 25 incelendiğinde istisnai durumlar haricinde üretilen en yüksek güç değeri alt-modül tabanlı MGNİ mimarisine aittir. İstisnai durumlar FV modüllere uygulanan ışınlım değerinden daha az ışınlımın FV alt-modüllere uygulanması ve üretilen güç miktarının azalması şeklinde değerlendirilmelidir.

Senaryo-3 için gerçekleştirilen simülasyon sonuçları için Tablo 25'teki verilerin kullanımı ile Tablo 26'de MGNİ mimarileri karşılaştırılmıştır. Tablo 25'te modül tabanlı MGNİ mimari yerine merkezi mimari MGNİ mimari tercih edildiğinde üretilen enerji miktarının azaldığı tespit edilmiştir. Merkezi MGNİ mimarisinde 0-0.275s ve 1.1-1.375s aralıklarında sistem yerel MGN'ye takılı kalmış ve MGN'ye ulaşamamıştır. Belirtilen zaman aralıklarındaki üretilen güç miktarını yüzdelik olarak ifade edildiğinde diğer zamanlara aralıklarına göre daha az değere sahip olduğu belirlenmiştir. Bu çalışma için modül tabanlı MGNİ mimari yerine merkezi MGNİ mimari tercih edildiğinde modül tabanlı MGNİ mimarisine göre %52.04-%86.42 aralığında güç üretilmiştir.

Tablo 25. Senaryo-3'e ait simülasyon çalışmaları sonucunda 0.275s'lik periyotlar ile FV sistem çıkışında üretilen güç miktarları

Zaman (s)	FV sistem çıkışında üretilen güç miktarları					
	0-0.275	0.275-0.55	0.55-0.825	0.825-1.1	1.1-1.375	1.375-1.65
Merkezi MGNİ mimarisi	329.05	657.99	685.92	850.63	703.49	968.99
Modül tabanlı MGNİ mimarisi	632.29	872.23	886.59	1036.53	1096.95	1121.28
Alt-modül tabanlı MGNİ mimarisi	758.58	820.13	824.91	891.56	921.78	923.86
Farklı ışınlımların uygulandığı alt modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ	495.73	637.54	656.48	699.03	768.99	719.07

Tablo 26’da alt-modül tabanlı MGNİ yerine merkezi MGNİ’nin tercih edildiği durumda üretilen güç miktarındaki yüzdelik değişimler verilmiştir. Tabloda 0-0.275s aralığında aynı ışınlımlar altında alt-modül tabanlı MGNİ mimarisinde üretilen güç miktarı 329.05W’tır. Alt-modül tabanlı MGNİ mimarisi yerine merkezi MGNİ mimarisi kullanılırsa alt-modül MGNİ’ye göre %43.38’lik değişim ile 329.04W değerinde güç üretilmektedir.

Tablo 26. Senaryo-3’e ait simülasyon çalışmalarında kullanılan MGNİ mimarileri arasındaki yüzdelik değişim

Simülasyon çalışmalarında kullanılan MGNİ mimarileri arasındaki yüzdelik değişim						
Zaman (s)	0.0- 0.275	0.275- 0.55	0.55- 0.825	0.825- 1.1	1.1- 1.375	1.375- 1.65
Merkezi MGNİ mimari	329.05	657.99	685.92	850.63	703.49	968.99
Modül MGNİ mimari	632.29	872.23	886.59	1036.53	1096.95	1121.28
Yüzdelik değişim (%)	52.04	75.44	77.37	82.07	64.13	86.42
Merkezi MGNİ mimari	329.05	657.99	685.92	850.63	703.49	968.99
Alt-modül MGNİ mimari	758.58	820.13	824.91	891.56	921.78	923.86
Yüzdelik değişim (%)	43.38	80.23	83.15	95.41	76.32	104.88
Merkezi MGNİ mimari	329.05	657.99	685.92	850.63	703.49	968.99
Farklı ışınlımların uygulandığı alt modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ	495.73	637.54	656.48	699.03	768.99	719.07
Yüzdelik değişim (%)	66.38	103.21	104.48	121.69	91.48	134.75
Modül MGNİ mimari	632.29	872.23	886.59	1036.53	1096.95	1121.28
Alt-modül MGNİ mimari	758.58	820.13	824.91	891.56	921.78	923.86
Yüzdelik değişim (%)	83.35	106.35	107.48	116.26	119	121.37
Farklı ışınlımların uygulandığı alt modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ	495.73	637.54	656.48	699.03	768.99	719.07
Modül MGNİ mimari	632.29	872.23	886.59	1036.53	1096.95	1121.28
Yüzdelik değişim (%)	78.4	73.09	74.05	67.44	70.1	64.13
Farklı ışınlımların uygulandığı alt modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ	495.73	637.54	656.48	699.03	768.99	719.07
Alt-modül MGNİ mimari	758.58	820.13	824.91	891.56	921.78	923.86
Yüzdelik değişim (%)	65.35	77.74	79.58	78.41	83.42	77.83

Farklı ışınlımların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimarisindeki çalışma ile merkezi MGNİ mimarisi kıyaslanmıştır. Elde edilen

sonuçlarda farklı ışınlamaların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimarisinde çalışma ile üretilen güç miktarları merkezi MGNİ mimarisine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Alt-modül tabanlı MGNİ mimari yerine modül tabanlı MGNİ mimarisi tercih edildiğinde üretilen güç miktarının azalmıştır. Fakat bazı zaman aralıklarında modül MGNİ mimarisi ile daha fazla güç üretildiği tespit edilmiştir. Bu durumun sebebi modül tabanlı MGNİ mimarisine uygulanan ışınlam değerinden daha az değerde ışınlam miktarının alt-modül tabanlı MGNİ mimarisine uygulanıp daha düşük değerde güç üretilmesidir. Bundan dolayı sistem MGN’de çalışsa bile üretilen güç miktarı modül tabanlı MGN’ye göre az olabilmektedir.

Farklı ışınlamaların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimarisindeki çalışma ile modül tabanlı MGNİ mimari kıyaslandığında modül tabanlı MGNİ mimarisine ait üretilen güç miktarlarının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Farklı ışınlamaların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimarisindeki çalışma ile %64.13 ile %78.4 arasında güç üretilmiştir.

Farklı ışınlamaların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimarisindeki çalışma ile alt-modül tabanlı MGNİ mimarisi karşılaştırıldığında alt-modül tabanlı MGNİ mimarisi çalışmasında daha yüksek güç değerleri üretildiği Tablo 26’da sunulmuştur. Alt-modül tabanlı MGNİ mimari yerine farklı ışınlamaların uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimarisindeki çalışması tercih edildiğinde üretilen gücün yüzdelik değişimi %65.35 - %83.42 arasındadır.

6. SONUÇ

FV modüller, güneş enerjisinde elektrik üretimi amacıyla kullanılır. Elektrik enerjisi üretilirken FV modüller sıcaklık, ışıınım, hava şartları ve gölgelenmeden etkilenir. Bu çalışmada DA-DA yükseltici dönüştürücü kullanılarak merkezi MGNİ, modül tabanlı MGNİ, alt-modül tabanlı MGNİ mimarileri için normal şartlarda (düzenli ışıınım), hafif ve şiddetli parçalı gölgelenmenin olduğu durumlarda incelemeler gerçekleştirilmiş ve FV sistem veriminin artırılması hedeflenmiştir.

MGNİ mimarilerinin performansını incelemek amacıyla üç adet ışıınım senaryosu oluşturulmuştur. Simülasyonda kullanılan FV modül veya alt-modüle uygulanan ışıınımlara göre P-V eğrisi ile elde edilen global MGN ve yerel MGN'deki güç değerleri tespit edilmiştir. Senaryo-1'de FV modüller eşit olarak 1000W/m^2 ışıınıma maruz bırakılmış, Senaryo-2'de çatı yüzeyinin hafif parçalı gölgelenmeye ve Senaryo-3'te şiddetli parçalı gölgelenmeye maruz kaldığı durumlar farklı MGNİ mimarileri için incelenmiştir.

Tarama yöntemi kullanılarak merkezi MGNİ ve modül tabanlı MGNİ mimarilerinde Senaryo-1 için simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Tanımlanan doluluk oranı ile başlanıp, doluluk oranı artış miktarı kadar artışlar ile belirlenen en yüksek doluluk oranına ulaşıncaya kadar tarama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu esnada görev oranının ulaştığı değerlerdeki güç değerleri kaydedilmiştir. Tarama işlemi tamamlandıktan sonra en yüksek güç değerine karşılık gelen doluluk oranı değeri seçilmiştir. Doluluk oranı değeri belli olduktan sonra D&G algoritması çalışmaya başlamıştır. Çalışmalar sonucunda MGNİ verimi merkezi MGNİ mimarisinde %93.94 ve modül tabanlı MGNİ mimarisinde %94.32 olarak hesaplanmıştır. Burada hesaplanan verim değerlerinin diğer tarama işlemi kullanmadan gerçekleştirilen simülasyonlarda elde edilen MGNİ verim değerlerinden düşük olduğu görülmüştür. Bu durum tarama işlemi bittikten sonra D&G algoritmanın çalışması ve sistemin MGN'ye daha geç ulaşmasıyla alakalı bir durumdur.

Gerçekleştirilen simülasyon çalışmalarında belirtilen MGNİ mimarileri oluşturulup, üretilen güç miktarları ve MGNİ verim değerleri incelenmiştir. Senaryo-2 için gerçekleştirilen simülasyon çalışmasında verim değeri merkezi MGNİ mimaride %75.85, modül tabanlı MGNİ mimaride %97.1 ile %98.09 arasında, alt-modül tabanlı MGNİ mimaride %97.54 ile %99.08 arasında ve farklı ışıınımların uygulandığı alt-

modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimarisindeki çalışmada ise %89.54 ile %96.92 arasında olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan verim değerlerine göre Senaryo-2’de FV modüllerden üretilen en yüksek güç değerleri sırasıyla alt-modül tabanlı MGNİ, modül tabanlı MGNİ ve merkezi MGNİ mimarisi şeklindedir.

Senaryo-3 için yapılan simülasyon çalışmada MGNİ verimi, merkezi MGNİ mimarisinde %89.26 modül tabanlı MGNİ mimaride %96.03 ile %99.77 arası, alt-modül tabanlı MGNİ mimaride %84.66 ile %99.95 arası ve farklı ışınımın uygulandığı alt-modüllere sahip modül için modül tabanlı MGNİ mimarisindeki çalışmada ise %91.16 ile %98.77 arasında olarak hesaplanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda FV sistemde mimarilere göre üretilen en yüksek güç miktarı sırasıyla alt-modül tabanlı MGNİ, modül tabanlı MGNİ ve merkezi MGNİ mimarisidir.

Bu tez çalışması sayesinde binanın çatı cephesine FV modüller entegre edilmek istendiğinde seçilmesi gereken MGNİ mimari hakkında bilgi verilmiştir. Gerçekleştirilen simülasyon sonuçlarına göre bina çatısına entegre edilerek kullanılacak FV sistemde alt-modül MGNİ mimari seçimi uygun görülmüştür. FV modüllerden en yüksek değerde güç üretebilmek için sırasıyla alt-modül tabanlı MGNİ modül tabanlı MGNİ ve merkezi MGNİ mimari tercih edilebilir. İncelenen bu çalışma farklı sıcaklık şartları altında incelenerek binaya entegre FV sistemlerde enerji üretim performansının incelenmesi planlanmıştır. Çalışmanın devamında farklı MGNİ takip algoritmaları tercih edilip farklı DA-DA dönüştürücü seçimi ile FV modüllerde üretilen enerjiyi artırma yöntemlerinin incelenmesi öngörülmektedir.

KAYNAKÇA

- Abid, K.W. (2018). Development of renewable energy circuit component. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi. Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep.
- Allouhi, A., Rehman, S., Buker, M.S. ve Said, Z. (2022). Up-to-date literature review on solar pv system: Technogy progress, market status and R&D, Journal of Cleaner Production, 362.
- Al-Smadi, M.K., Mahmoud, Y. ve Xiao, W. (2021). A fast and accurate approach for power losses quantification of photovoltaic power system under partial-shading conditions. Renewable Power Generation, 15, 939-951.
- Al-Wadei, O.A.A.E. (2021). Sıcaklık ve Panel Açısının Fotovoltaik Panelin Elektrik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi. Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.
- Arhan, İ. (2022). Yenilenebilir Enerji Kaynakları İle Beslenen Konutlar İçin Enerji Yönetim Sistemi. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi. Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- Aydoğan, D. (2019). PSO Tabanlı Maksimum Güç Noktası Takip Algoritmasının Geliştirilmesi ve Uygulanması. Yayınlanmamış yüksek lisan tezi. Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Nevşehir.
- Barman, A. ve Mannan, M. (2022). Plannning analysis of building integrated photovoltaic (BIPV) system for Bangladesh. 2022 International Conference on Futuristic Technologies in Control Systems & Renewable Energy (ICFCR), Malappuram, Hindistan, 21-22 Temmuz 2022.
- Baçoğlu, M.E. (2013). Güneş Enerjisi Sistemlerinde Kullanılan Maksimum Güç Noktası İzleyicili Yükseltici DA-DA Dönüştürücü Analizi ve Gerçekleştirilmesi. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi. Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- Baçoğlu, M.E. (2017). Fotovoltaik Sistemler için Yeni Bir Maksimum Güç Noktası İzleme Yönteminin Geliştirilmesi ve Uygulanması. Yayınlanmamış doktora tezi. Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- Baçoğlu, M.E. (2016). Comparisons of MPPT performance of isolated and non-isalated DC-DC converters by using a new approach. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 60, 1100-1113.

- Başoğlu, M.E., (2022). Comprehensive Review On Distributed Maximum Power Point Tracking: Submodule Level And Module Level MPPT Strategies. *Solar Energy*, 241,85-108.
- BIPVBOOST (2019). Update On BIPV Market And Stakeholder Analysis Raporu 6.12.2022 tarihinde <https://bipvboost.eu/public-reports/> adresinden erişilmiştir.
- Chen, T., An, Y. ve Heng, K.C. (2022). A Review of Building-Integrated Photovoltaics in Singapore: Status, Barriers, and Prospects. *Sustainability*, 14 (16).
- Chen, T., Tai, K.F., Raharjo, G.P., Heng, C.K. ve Leow, S.W. (2023). A novel design approach to prefabricated BIPV wall for multi-storey buildings. *Journal of Building Engineering*, 63,105469-105469.
- Çalışkan, E. (2011). Fotovoltaik Sistemler İçin Dsp Temelli Güneş Çeviricisi Tasarım ve Uygulaması. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Dambhare, M.V., Butey, B. ve Moharil, S.V. (2021). Solar photovoltaik technology: A review of different types of solar cells and its future trends. *Journal of Physics:Conference Series*, 1913 (1).
- Dirks, E., Gole, A.M. ve Molinski, T.S. (2006). Performance Evaluation of a Building Integrated Photovoltaic Array using an Internet Based Monitoring System. 2006 IEEE Power Engineering Society General Meeting, Montreal, QC, Canada, 5.
- Doğan, E. ve Görel, G. (2022). DC-DC Dönüştürücünün Xilinx Zedboard Zynq-7000 FPGA Tabanlı Değiştir&Gözle Algoritması İle Co-Simülasyonu. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 14 (2), 872-883.
- Ekici, B.B. (2015). Farklı Yönler Bakan Cephelelerdeki Bina Entegre Fotovoltaik (BIPV) Sistem Performanslarının Değerlendirilmesi. 2. Ulusal Yapı Kongresi ve Sergisi, 3- 5 Haziran, Ankara, Bildiriler Kitabı, 425-435.
- Akata, E.A.A.A.M., Njomo, D. ve Agrawal, B. (2017). Assessment of Building Integrated Photovoltaic (BIPV) for sustainable energy performance in tropical regions of Cameroon. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80,1138-1152.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2022). 03.10.2022 tarihinde <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes> adresinden erişildi.
- EPDK (2023). Elektrik Piyasası Yıllık Sektör Raporu Listesi 20.06.2023 tarihinde <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-24/elektrikyillik-sektor-raporu> adresinden erişilmiştir.

- Eryılmaz, N. (2022). Fotovoltaik (FV) Panellerde Verim Arttırma Yöntemlerinin İncelenmesi. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi. Menzur Üniversitesi, Tunceli.
- Farh, H.M.H. ve Eltamaly, A.M. (2020). Maximum power extraction from the photovoltaic system under partial shading conditions. Modern Maximum power point tracking techniques for photovoltaic energy systems, *Green energy and technology*, 107-129.
- GEPA (2022). Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası 03.10.2022 tarihinde <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx> adresinden erişildi.
- Global Solar Atlas (2019). Photovoltaic power potential. 2.10.2022 tarihinde <https://globalsolaratlas.info/download/world> adresinden erişildi.
- Günday, G. (2010). Polifenilenvinilen (PFV) Bazlı Konjuge Polimerlerle Hazırlanan Organik Fotovoltaik Hücreler. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Güneş, O. (2019). Binaya ekleme fotovoltaik sistemlerin bir konut binası çatısında uygulaması. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Güngör, O. (2018). Fotovoltaik modüllerde maksimum güç takibi için dönüştürücü ve algoritmik yöntemlerin incelenmesi. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Hart, D.W. (2011). Power Electronics. Valparaiso University, Valparaiso, Indiana: McGraw-Hill press.
- Horoz, S. (2017). Kuantum Nokta Tabanlı Güneş Pilleri (QDSSCs) için Yarıiletken Kuantum Noktalarının İncelenmesi. Cumhuriyet Science Journal, 38-4, 121-129.
- Iqbal, M.A., Malik, M., Shahid, W., Din, S. Z. U. , Anwar, N., ve Idrees, F. (2022). Materials for Photovoltaics: Overview, Generations, Recent Advancements and Future Prospects. In B. Zaidi, & C. Shekhar (Der.), Thin Films Photovoltaics'in içinde (Bölüm 2).
- IRENA (2023). The International Renewable Energy Agency, Renewable Capacity Statistics 2023 Raporu <https://www.irena.org/Publications/2023/Mar/Renewable-capacity-statistics-2023> adresinden erişildi.
- İzmirli Ayan, S. M. (2018). Fotovoltaik Sistemin Yapay Zeka Algoritması İle Güç Tahmini. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi. Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli.

- Kant, N. ve Singh, P. (2022). Review of next generation photovoltaic solar cell technology and comparative materialistic development, *Materials Today: Proceedings*, 56, 3460-3470.
- Karakaya, H.B. (2021). Fotovoltaik Sistemlerde Maksimum Güç Noktasının Takibi İçin Kullanılan Optimizasyon Algoritmalarının Performansının Değerlendirilmesi. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş.
- Kaya, K. ve Koç, E. (2015). Enerji kaynakları-Yenilenebilir Enerji Durumu. *Mühendis ve Makine (Der.)*, cilt 56, sayı 68, sayfa 36-47.
- Keskin, Y.E. (2014). Fotovoltaik Sistemlerde Maksimum Güç Noktası İzleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi. Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- Khan, A., Bhuiya, D., Pal T. ve Ghosh, T. (2018). Performance analysis of solar cell materials for different generations, *Current Alternative Energy*, 2, 27-36.
- Kim, J.H. ve Han, S.H. (2020). Energy Generation Performance of Window-Type Dye-Sensitized Solar Cells by Color and Transmittance. *Sustainability*, 12.
- Koryürek, E. (2008). *Fotovoltaik Sistemlerin Binalarda Kullanımı*. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Liu, Z., Zhang, Y., Yuan, X., Yuanwei, L., Xu, J., ve He, B. (2021). A comprehensive study of feasibility and applicability of building integrated photovoltaic (BIPV) systems in regions with high solar irradiance. *Journal of Cleaner Production*, 307.
- Muhammad, J.Y., Waziri, A.B., Shitu, A.M., Ahmad, M.U., Muhammad, M.H., ve Bala, A.A. (2019). Recent Progressive Status of Materials for Solar Photovoltaic Cell: A Comprehensive Review. *Science Journal of Energy Engineering*, 7, 77-89.
- Our World in Data (2022). Energy use per person. 15.08.2022 tarihinde <https://ourworldindata.org/grapher/per-capita-energy-use?tab=chart&country=MDA~MLI~NCL~ALB> adresinden erişildi.
- Özdoğan, H.P. (2005). Ekolojik Binalarda Bina Kabuğunda Kullanılan Fotovoltaik Panellerin Tasarım Bağlamında İncelenmesi. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Pastuszak J. ve Wegierek P. (2022). Photovoltaic Cell Generations and Current Research Directions for Their Development. *Materials*, 15.

- Pavlik, M., Kolcun, M., Bucko, S. ve Kohan, V. (2023). Analysis and Evaluation of Photovoltaic Cell Defects and Their Impact on Electricity Generation. *Energies*, 16.
- Pilawa-Podgurski, R.C.N. ve Perreault, D.J. (2012). Submodule integrated distributed maximum power point tracking for solar photovoltaic applicaitons. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 28, 2957-2967.
- Pillai, D.S., Shabunko, V. ve Krishna, A. (2022). A comprehensive review on bulding integrated photovoltaic systems: Emphasis to technology advancements, outdoor testing, and predictive maintenance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 156.
- PVPS, (2021). Categorization of BIPV applications. https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/09/IEA-PVPS-T15-12_2021_BIPV-categorization_report.pdf adresinden erişilmiştir.
- Rathore, N., Panwar, N.L, Yettou, F. ve Gama, A. (2019). A Comprehensive review on different types of solar photovoltaic cells and their applications. *Internal Journal of Ambient Energy*, 42, 1200-1217.
- Reshma, V.G. ve Mohana, P.V. (2019). Quantum dots: Applications and safety consequences. *Journal of Luminescence*, 205, 287-298.
- Ritchie, H. ve Roser, M. (2020). (Makale). Fossil Fuels. Our World in Data Online Web site: 13 Ağustos 2022 tarihinde <https://ourworldindata.org/fossil-fuels#citation> adresinden erişildi.
- Ritchie, H. ve Roser, M. (2020). (Makale). Renewable Energy .Our World in Data Online Web site.: 13 Ağustos 2022 tarihinde <https://ourworldindata.org/renewable-energy#hydropower-generation> adresinden erişildi.
- Rosa, F. (2020). Building-Integrated Photovoltaics (BIPV) in Historical Buildings: Opportunities and Constraints. *Energies*, 13.
- Sarkar, D., Kumar, A., Sahoo, R. K. Ve Sadhu, P.K. (2021). Comprehensive performance analysis of different MPPT algortims for Buildng Integrated Photovoltaic System. 2021 IEEE Mysore Sub Section International Conference (MysuruCon), Hassan, Hindistan, Kasım 2021.
- Singh, B.P., Goyal, S.K. ve Kumar, P. (2021). Solar PV cell materials and technologies: Analyzing the recent developments. *Materials Today: Proceedings*, 43,2843-2849.

- SolarReviews (2022). Perovskite solar cells: why they're the future of solar power. 7.10.2022 tarihinde <https://www.solarreviews.com/blog/are-perovskite-solar-cells-the-future-of-solar-power> adresinden erişildi.
- Status Report (2017). Building Integrated Photovoltaics: Product overview for solar building skins. <https://www.solaxess.ch/wp-content/uploads/2018/04/Report-2017 SUPSI SEAC BIPV.pdf> adresinden erişilmiştir.
- Status Report (2020). Building Integrated Photovoltaics: A practical handbook for solar buildings' stakeholders https://www.researchgate.net/publication/351441632_BIPV_Status_Report_2020_Building_Integrated_Photovoltaics_A_practical_handbook_for_solar_buildings_%27_stakeholders adresinden erişilmiştir.
- TEİAŞ (2023). Kurulu Güç Raporu- 2022 Aralık Raporu 19.05.2023 tarihinde <https://www.teias.gov.tr/kurulu-guc-raporlari> adresinden erişilmiştir.
- United Nations (2022). Worl Population Prospects. 21.Mart. 2023 tarihinde <https://www.macrotrends.net/countries/WLD/world/population-growth-rate> adresinden erişilmiştir.
- Uzair, M., Rehman, N.U. ve Yousuf, M.U. (2022). Sensitivity analysis of capital and energy production cost for off-grid building integrated photovoltaic systems. Renewable Energy, Cilt 186, 195-206.
- URL-1, <https://www.muhandisbeyinler.net/gunes-panelleri-cesitleri/>. 01 Aralık 2021.
- URL-2, [Galyum Arsenit Güneş Pilleri | Güneş Danışmanı \(solarconsultant.ca\)](https://www.solarconsultant.ca/) . 14 Eylül 2022.
- URL-3, [Yeni poliimid film sayesinde esnek CdTe güneş pili için verimlilik kaydı \(phys.org\)](https://www.phys.org/) . 09 Haziran 2011.
- URL-4, [Esnek CIGS güneş pilleri için yeni verimlilik rekoru – CIGS İnce Film Fotovoltaik \(cigs-pv.net\)](https://www.cigs-pv.net/) . 10 Eylül 2021.
- URL-5, <https://www.webtekno.com/cinlilerin-gelistirdigi-organik-gunes-pilleri-enerji-rekoru-kirdi-h51325.html> . 09 Ağustos 2018
- URL-6, <https://www.altenergymag.com/article/2019/12/dye-sensitized-solar-cells-is-the-future-of-solar/32431> . 01 Haziran 2020.
- URL-7, <https://www.pv-magazine.com/2020/02/19/a-quantum-dot-solar-cell-with-16-6-efficiency/> . 19 Şubat 2020.
- URL-8, <https://temizenerji.org/2022/03/22/gunes-enerjisi-almanyada-2036-yilina-kadar-4-milyon-haneye-elektrik-saglayabilecek/> . 22 Mart 2022.

- URL-9, <https://www.solarpowerworldonline.com/2015/07/an-alternative-to-typical-solar-installations-building-integrated-photovoltaics/> . 27 Temmuz 2015.
- URL-10, <https://infostore.saiglobal.com/preview/is/en/2016/i.s.en50583-1-2016.pdf?sku=1851237> . 15 Ocak 2016.
- URL-11, <https://infostore.saiglobal.com/preview/is/en/2016/i.s.en50583-2-2016.pdf?sku=1851238> . 15 Ocak 2016.
- URL-12, <https://www.surcati.com/gunes-enerji-sistemleri-ve-solar-cati-nedir/>. 24 Mayıs 2019.
- URL-13, <https://www.greenmatch.co.uk/solar-energy/solar-panels/roof-tiles> . 9 Mayıs 2023.
- URL-14, <https://www.powerenerji.com/kiremit-gunes-paneli-solar-tiles-ozellikleri-ve-fiyati.html> . 4 Aralık 2019.
- URL-15, https://www.deegesolar.co.uk/solar_roof_tiles/ . 9 Mart 2022.
- URL-16, <https://www.aydinlatma.org/solar-kiremit-nedir.html> . 6 Ekim 2022.
- URL-17, <https://onyxsolar.com/bell-works> . 12 Aralık, 2022.
- URL-18, <https://www.archdaily.com/catalog/us/products/13222/curtain-wall-facade-systems-island-exterior-fabricators> . 15 Aralık 2022.
- URL-19, <https://igsmag.com/features/case-studies/cube-berlin-double-skin-facade-that-meets-complex-aesthetic-and-technical-performance-requirements/> . 13 Kasım 2019.
- URL-20, www.solarinnova.net/en/services/installations/photovoltaic/parapets. 4 Aralık 2022.
- URL-21, <https://www.sses.ch/de/solar-metallbau-bringt-stromerzeugung-ins-gelaender/>. 29. Haziran 2017.
- URL-22, <https://www.archify.com/au/archifynow/tanjong-pagar-centre-connects-neighbourhoods-with-extensive-green-open-space> . 16 Eylül 2020.
- URL-23, <https://mattgieseking.wordpress.com/2012/08/29/building-integrated-photovoltaics-bipv-new-light/> . 29 Ağustos 2012.
- URL-24, <https://www.coltgroupamerica.com/shadovoltaic-photovoltaic-systems.html> . 10 Ocak 2023.

ÖZGEÇMİŞ

Tuğba DURMUŞ, lise eğitimini Ondokuz Mayıs Lisesi (Anadolu)'nde tamamladı. 2015 yılında kazandığı Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden 2019 yılında mezun oldu. 2020 yılında Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Eğitimine başladı . Aynı yıl ekim ayı itibariyle Reeder firmasında işe başladı ve 2021 yılının temmuz ayında işten ayrıldı. Teknofest bünyesinde gerçekleştirilen 2021 Uluslararası İHA Yarışması Serbest Görev kategorisinde, 2022 Roket Yarışması Yüksek İrtifa Kategorisinde ve 2022 Uluslararası Efficiency Challenge Elektrikli Araç Yarışları Elektromobil Kategorisinde finalist olarak katıldı.