



**ORTA VE YÜKSEK DAĞLIK BÖLGE ŞARTLARINDA
ÇALIŞAN FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN ÖMRÜNÜ
BELİRLEYEN ETKENLERİN ARAŞTIRILMASI**

Cemal AKYÜZ



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ORTA VE YÜKSEK DAĞLIK BÖLGE ŞARTLARINDA ÇALIŞAN
FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN ÖMRÜNÜ BELİRLEYEN ETKENLERİN
ARAŞTIRILMASI**

Cemal AKYÜZ
0000-0002-6675-971X

Prof. Dr. Güneş YILMAZ
0000-0001-8972-1952

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2019

TEZ ONAYI

Cemal AKYÜZ tarafından hazırlanan “ORTA VE YÜKSEK DAĞLIK BÖLGE ŞARTLARINDA ÇALIŞAN FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN VERİMİNİ BELİRLEYEN ETKENLERİN ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Güneş YILMAZ
0000-0001-8972-1952

Başkan : Prof. Dr. Güneş YILMAZ
0000-0001-8972-1952
Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Esin Karpat
0000-0002-2740-8183
Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,
Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ömer Zor
0000-0001-6461-9812
Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve
Doğa Bilimleri Fakültesi,
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

İmza

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü

25.12/2019

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

07/08/2019

Cemal AKYÜZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ORTA VE YÜKSEK DAĞLIK BÖLGE ŞARTLARINDA ÇALIŞAN FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN ÖMRÜNÜ BELİRLEYEN ETKENLERİN ARAŞTIRILMASI

Cemal AKYÜZ

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Güneş YILMAZ

Dünyanın hızla artan nüfusu ve hızlı kalkınma isteği ile birlikte enerji ihtiyacının da astronomik bir artmasına neden olmuştur. Yeni kaynak arayışlarında enerji ihtiyacının yenilenebilir ve yönetilebilir hale getirmek için çaba sarf etmektedir. Fosil yakıtlardan enerji üretmek yerine doğada bulunan güneş enerjisine yönelerek geliştirilmiş fotovoltaik sistemler kullanılmaya başlanmıştır. Ancak her sistemde olduğu gibi bu sistemlerinde bir ömrü vardır. Bu ömür süresine fayda zarar analizinin pozitif yönünde kalması gerekmektedir. Fotovoltaik panellerin ve kabloların dış ortam şartlarında çalıştığından verimlerinde düşüş, ömürde ise azalma görülebilmektedir. Bundan dolayı fotovoltaik panellerin ve solar kabloların kullanılacağı coğrafi şartlarına göre araştırma yapılarak verimleri ve ömürleri belirlenmektedir.

Bu çalışmamda; fotovoltaik modüllerin ve solar kabloların ömrüne etki eden UV ışınların, nemin ve ısı çevrimlerin toplam etkisi göz önüne alınarak 835 m yükseklikte bulunan panellerin ömrünün 25 yıl, deniz seviyesinde kurulan panellerin ömrünün 24,5 yıl ve 2000 m yükseklikte kurulan panellerin ömrünün de 22,5 yıl olacağı sonucuna varılmıştır. Bu sonuca göre Bursa İli, Orhaneli İlçe'si, Sırlı Köy'ünde kurulacak olan güneş enerji santralının ömrünün 25 yıl olacağı ortaya çıkmıştır. Sistemde bulunan tek damarlı bakır iletkenli solar kabloların akım taşıma kapasitesini belirlemek amacıyla benzetim, deneysel ve simülasyon çalışmaları yapılarak uygulanan akım süresi arttığında sıcaklık artış oranında düşüş tespit edilmiştir. 1,5 mm², 2,5 mm², 4 mm² ve 6 mm² gibi farklı kesitlerde kabloların ömrünü etkileyen yüksek akımlar (35 A ile 1265 A) uygulanmıştır. Büyük kesitli kablolarla 1 – 5 sn süre ile uygulanan kısa devre akımlarında eklerdeki sıcaklık %13'e kadar daha yüksek iken, küçük kesitli kablolarda bu fark %9'a kadar düştüğü tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, güneş pili ömrü ve verimliliği, solar kablo ömrü, FV sistem, FV sistem ömrü.

2019, xi + 82 sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF THE LIFE OF THE PHOTOVOLTAIC SYSTEMS IN MEDIUM AND HIGH MOUNTAIN REGION CONDITIONS

Cemal AKYÜZ

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electronics Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Güneş YILMAZ

Energy demand increases dramatically with the rapidly increasing population of the world. It strives to make renewable and manageable energy needs in search of new resources. Instead of producing energy from fossil fuels, photovoltaic systems developed for solar energy in nature have started to be used. However, these systems have a life span like every system. This life-benefit analysis should be positive. Systems are exposed to all kind of weather conditions in outdoor and especially due to the outdoor conditions, efficiency and system life of panels and cables decrease in time. Therefore, their efficiency and lifetime should be determined according to the geographical conditions where photovoltaic panels and solar cables are used.

In this study, considering the total effect of UV rays, humidity and thermal cycles affecting the life of photovoltaic modules, it was concluded that the life of the modules which installed at 835 m above sea level is 25 years, the life of the modules which installed at sea level is 24.5 years and the life of the modules which installed at 2000 m above sea level is 22.5 years. According to this result, the life of the solar power plant will be installed in Siril Village of Orhaneli District of Bursa Province will be 25 years. It has been found that the current carrying capacity of single core copper cables in the system decreases inversely proportional to the temperature increase rate when applied current time increases. There are high currents (35 A and 1265 A) was applied to different diameter cables such as 1,5 mm², 2,5 mm², 4 mm² ve 6 mm² which effects life span of system. The temperature of the joint points of large cross-section cables is up to 13%, on the other side temperature difference of small cross-section cables is reduced to 9%, when 10-25 seconds short circuit currents carried out to system.

Key words : Solar energy, solar cell lifespan and efficiency, solar cable lifespan, PV system, PV lifespan.

2019, xi + 82 pages

TEŞEKKÜR

Akademik alıőmam boyunca ilminden ve tecrübelerinden faydalandığım değerli hocam Prof. Dr. Güneş YILMAZ'a teőekkürlerimi borç bilirim ve bu günlere gelmemde büyük pay sahibi olan aileme ve dostlarıma teőekkürlerimi sunarım.

Cemal AKYÜZ
07/08/2019



İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|--|-------|
| ÖZET..... | i |
| ABSTRACT..... | ii |
| TEŞEKKÜR..... | iii |
| SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ..... | v |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | ix |
| ÇİZELGELER DİZİNİ..... | xi |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI..... | 4 |
| 2.1. Güneş Işınlarnın Dağılımı..... | 4 |
| 2.2. Türkiye’ de Güneş Enerjisi Potansiyeli..... | 6 |
| 2.3. Güneş Pillerinin Özellikleri ve Çalışma Prensibi..... | 7 |
| 2.3.1. Güneş Pillerinin Fiziksel Yapıları ve Çeşitleri..... | 7 |
| 2.3.2. Güneş Pili Çeşitleri..... | 12 |
| 2.4. Güneş Piliin Eşdeğer Devresi..... | 16 |
| 2.5. Güneş Pillerinin Akım, Gerilim ve Güç Karakteristiği..... | 16 |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM..... | 18 |
| 3.1. Güneş Enerji Santralinin Verimliliğini ve Ömrünü Belirleyen Etkenler..... | 18 |
| 3.1.1. Güneş Enerji Santrallerinin Verimini Belirleyen Etkenler..... | 18 |
| 3.1.2. Fotovoltaik Panellerin Ömrünü Belirleyen Etkenlerin İncelenmesi..... | 20 |
| 3.2. Solar Kablolar..... | 29 |
| 3.2.1. Solar Kablo Nedir?..... | 29 |
| 3.2.2. Solar Kabloların Akım Taşıma Kapasiteleri..... | 29 |
| 3.2.3. Solar Kabloların Ömrü..... | 29 |
| 3.2.4. Solar Kabloların Ömrünü Belirleyen Etkenlerin İncelenmesi..... | 30 |
| 3.3. Sonlu Elemanlar Metodu..... | 36 |
| 4. BULGULAR VE TARTIŞMA..... | 37 |
| 4.1. Benzetim ile Yapılan Çalışma..... | 37 |
| 4.2. Sonlu Elemanlar Metodu ile FV Kablolarının Simulasyonu..... | 39 |
| 4.3. Deneysel Çalışma..... | 47 |
| 4.4. Bulgular..... | 53 |
| 5. SONUÇ..... | 60 |
| KAYNAKLAR..... | 63 |
| EKLER..... | 65 |
| EK 1..... | 66 |
| EK 2..... | 69 |
| EK 3..... | 73 |
| EK 4..... | 78 |
| EK 5..... | 80 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 82 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| Simgeler | Açıklama |
|---------------|---|
| V_{OC} | Açık Devre Gerilimi |
| k_v | Açık Devre Gerilimi Yönteminin Orantı Sabiti |
| w_i | Ağırlık Sabiti |
| w_{ij} | Ağırlık Sabiti |
| I | Akım |
| A,b | Arıza Modu Sabiti |
| L | Azınlık Taşıyıcı Difüzyon Uzunluğu |
| rh | Bağıl Nem |
| E_g | Bant Aralığı |
| β_a | Beta Yönteminin Aralık Değeri |
| β | Beta Yönteminin Beta Parametresi |
| β_{mak} | Beta Yönteminin Çalışma Koşulları En yüksek Aralığı |
| β_{min} | Beta Yönteminin Çalışma Koşulları En az Aralığı |
| β_g | Beta Yönteminin Ortalama Aralık Değeri |
| k | Boltzmann Sabiti |
| R_D | Bozulma Oranı |
| P_{act} | Çalışma Koşullarında Elde Edilen Güç |
| $V_{Çıkış}$ | Çıkış Gerilimi |
| P_m | Çıkış Gücüne Sıcaklık Etkisi |
| I_d | Diyot Akımı |
| C | Diyot Sabiti |
| FF | Doldurma Faktörü |
| Q | Elektrik Yükü |
| Φ | Enlem |
| C_p | Entegrasyon Sabiti |
| X_{old} | Eski Adım Boyutu |
| I_{pv} | Fotovoltaik Akım |
| N_D | Fotovoltaik Doping |
| V_{pv} | Fotovoltaik Gerilim |
| P_{pv} | Fotovoltaik Güç |
| A | Fotovoltaik Yüzey Alanı |
| V | Gerilim |
| ϵ | Gerilim Düşümü |
| Ge | Germanyum |
| $V_{Giriş}$ | Giriş Gerilimi |
| P | Güç |
| X | Güneş Işığı Yoğunluğu |
| E(k) | Hata İşlevi |
| e | Hata İşareti |
| l | Hat Uzunluğu |
| I_L | Işınımına Bağlı Akım Kaynağı Akımı |
| P_{in} | Işınımına Bağlı Pil Gücü |

| | |
|-----------|---|
| g | Işınlama Seviyesi |
| N | İçsel Taşıyıcı Yoğunluğu |
| q | İletken Kesiti |
| I_{SC} | Kısa Devre Akımı |
| k_i | Kısa Devre Akımı Yönteminin Orantı Sabiti |
| I_{MPP} | En yüksek Çekilen Akım |
| V_{MPP} | En yüksek Çekilen Gerilim |
| P_{max} | En yüksek Çekilen Güç |
| E_v | En yüksek İletim Bandı Enerjisi |
| E_c | En az İletim Bandı Enerjisi |
| k_b | Ölçek Faktörü |
| χ | Öz İletkenlik |
| I_{ref} | Referans Akımı |
| V_{ref} | Referans Gerilimi |
| δ | Sapma |
| R_{Sh} | Seri Bağlı Direnç |
| N_S | Seri Bağlı Fotovoltaik Hücre Sayısı |
| T | Sıcaklık |
| Si | Silisyum |
| D | Silikon İçin Azınlık Taşıyıcısının Yaygınlığı |
| n_i | Silikon İçin İçsel Taşıyıcı Yoğunluğu |
| Γ | Verim |
| X_{new} | Yeni Adım Boyutu |
| α | Yükseklik |
| $I(t)$ | Zaman Bağlı Akım |
| $V(t)$ | Zaman Bağlı Gerilim |
| $P(t)$ | Zamana Bağlı Güç |
| $f(t)$ | Zamana Bağlı Fonksiyon |
| \dot{Q} | Isı akısı |
| μ_0 | Manyetik geçirgenlik |
| A | Isı transferi alanı |
| B | Manyetik akı yoğunluğu |
| C | Termal ısı kapasitesi |
| D | Geometrik çap |
| E | Elektrik alan |
| f | Frekans |
| G | Termal iletkenlik |
| h | Isı iletim katsayısı |
| H | Manyetik alan |
| I | Akım |
| k | Isı iletim katsayısı |
| Nu | Nusselt sayısı |
| P | Güç |
| r | Geometrik yarıçap |
| R | Ohmik direnç |
| S | Kesit alanı |
| T | Salt sıcaklık |
| V | Gerilim |

| | |
|------------|---------------------------------|
| Z | empedans |
| α | Lineer sıcaklık katsayısı |
| ΔT | Sıcaklık farkı |
| ϵ | Dielektrik sabiti |
| λ | Dalgaboyu |
| λ | Lineer termal iletkenlik |
| ρ | Özdirenç |
| σ | Stefan-Boltzmann katsayısı |
| Q | Transfer edilen ısı |
| τ | Zaman sabiti |
| A_{FV} | Panel alanı |
| G | Işınım |
| $P(G)$ | G ışınım değerindeki güç çıkışı |

Kısaltmalar

Açıklama

| | |
|----------------|--|
| a-Si | Amorphous Silica (Amorf Silisyum) |
| ADC | Analog Digital Converter (Analog Sayısal Dönüştürücü) |
| IC | Incremental Conductance Method (Artımlı İletkenlik Yöntemi) |
| CIS | Copper Indium Diselenid (Bakır İndiyum Diselenid) |
| FLC | Fuzzy Logic Controller (Bulanık Mantık Denetleyicisi) |
| UVA | Ultraviyole A (Dalga Boyu Aralığı: 320 nm-400 nm) |
| UVB | Ultraviyole B (Dalga Boyu Aralığı: 280 nm-320 nm) |
| UVC | Ultraviyole C (Dalga Boyu Aralığı: 200 nm-280 nm) |
| PWM | Pulse Width Modulation (Darbe Genişlik Panelasyonu) |
| P&O | Perturb and Observe Method (Değiştir ve Gözle Yöntemi) |
| DC-DC | Direct Current - Direct Current (Doğru Akım- Doğru Akım) |
| İEİ | Elektrik İşleri Etüt İdaresi |
| EVA | Ethylene Vinyl Acetate (Etilen Vinil Asetat) |
| $R_{D,Eyring}$ | Eyring Bozulma Modeli |
| FV | Photovoltaic (Fotovoltaik) |
| FVGIS | Photovoltaic Geographic Information System (Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi) |
| GES | Güneş Enerji Santrali |
| AM | Air Mass (Hava Kütle Katsayısı) |
| CdTe | Cadmium Telluride (Kadmiyum Tellür) |
| OCV | Open Circuit Voltage (Açık Devre Gerilimi) |
| SCC | Short-Circuit Current (Kısa Devre Akımı) |
| MPP | Maximum Power Point (En yüksek Güç Noktası) |
| MPPT | Maximum Power Point Tracking (En yüksek Güç Noktası Takibi) |
| NB | Negative Big (Negatif Büyük) |
| NS | Negative Small (Negatif Küçük) |
| PI | Proportional Integral Controller (Oransal Integral Denetleyici) |
| $R_{D,Peck}$ | Peck Bozulma Modeli |
| PB | Positive Big (Pozitif Büyük) |
| PS | Positive Small (Pozitif Küçük) |
| HRA | Hour Angle (Saat Açısı) |

| | |
|------------|---|
| STC | Standard Test Conditions (Standart Test Koşulları) |
| TCO | Transparent Conducting Oxide (Saydam oksit iletken) |
| ZE | Zero (Sıfır) |
| UV | Ultraviolet (Ultraviyole) |
| ANN | Artificial Neural Network (Yapay Sinir Ağı) |
| ABS | Kilitlemesiz fren sistemi |
| AC | Alternatif akım |
| AM | Genlik panelasyonu |
| CAN | Kontrolör alan ağı |
| CE | İletimle yayılım |
| CI | İletime bağışıklık |
| CISPR | Uluslararası özel radyo girişimi komitesi |
| DC | Doğru akım |
| ECU | Motor kontrol birimi |
| EMC | Elektromanyetik uyumluluk |
| EMI | Elektromanyetik girişim |
| FM | Frekans panelasyonu |
| IEC | Uluslararası elektroteknik komisyonu |
| INPE | Ulusal uzay araştırma enstitüsü |
| IRPA/INIRC | Uluslararası iyonize olmayan radyasyon komitesi |
| ISO | Uluslararası standartlar organizasyonu |
| LISN | Hat empedansı dengeleme şebekesi |
| MRI | Manyetik rezonans görüntüleme |
| OEM | Orjinal ürün üreticisi |
| PVC | Polivinil klörür |
| RE | Işınım ile yayılım |
| RF | Radyo frekansı |
| RI | Işınımına bağışıklık |
| PO | Performans oranı |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | Sayfa |
|--|--------------|
| Şekil 2.1. Güneş ışınlarının dağılımı..... | 4 |
| Şekil 2.2. Meteoroloji durumuna bağlı olarak güneş ışınımı şiddeti | 5 |
| Şekil 2.3. Türkiye' nin güneyine doğru güneş enerjisinin artışı | 5 |
| Şekil 2.4. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası..... | 5 |
| Şekil 2.5. Bir güneş panelinin genel fiziksel yapısı | 7 |
| Şekil 2.6. Güneş panelinin katmanları | 7 |
| Şekil 2.7. (a) p-tipi yarı iletken, (b) n-tipi yarı iletken..... | 11 |
| Şekil 2.8. Güneş pili eşdeğer devresi | 16 |
| Şekil 2.9. Güneş pili I-V karakteristiği | 17 |
| Şekil 2.10. Güneş pili I-V karakteristiğinin ışık şiddetine bağlı değişimi | 17 |
| Şekil 2.11. Güneş pili P-V karakteristiğinin ışık şiddetine bağlı değişimi | 17 |
| Şekil 3.1. FV sistem blok şeması | 18 |
| Şekil 3.2. Aylık ortalama UV ışın seviyeleri | 21 |
| Şekil 3.3. UV ışınlarının farklı yüksekliklerde bulunan modüllerin ömrüne etkisi | 21 |
| Şekil 3.4. Nemin FV panel çıkış gücüne etkisi | 23 |
| Şekil 3.5. Aylık ortalama nem konsantrasyonu | 24 |
| Şekil 3.6. Havada bulunan nemin farklı rakımlarda kurulan FV panellerin ömrüne etkisi | 24 |
| Şekil 3.7. Sıcaklığın modül verimine etkisi | 25 |
| Şekil 3.8. Aylık ortalama hava sıcaklığı bilgileri..... | 26 |
| Şekil 3.9. Sıcaklığın farklı yüksekliklerde bulunan modüllerin ömrüne etkisi..... | 27 |
| Şekil 3.10. Tüm olumsuz etkilerden sonra toplam verimlilik..... | 27 |
| Şekil 3.11. Tüm olumsuz etkilerden sonra toplam modül ömürleri..... | 28 |
| Şekil 3.12. PV1-F DC solar kablo..... | 29 |
| Şekil 3.13. Tek iletkenli yapıdaki ısıl dirençler | 32 |
| Şekil 3.14. Dış çap iletimi tarafından oluşan termal direnç | 33 |
| Şekil 3.15. T(t)'nin analitik ve nümerik metodlarla karşılaştırılması | 34 |
| Şekil 3.16. T(t)'nin bazı nümerik yöntemlerle kıyaslanması..... | 35 |
| Şekil 4.1. Geometrinin hacimlere bölünmesi | 40 |
| Şekil 4.2. Düğüm yapısı | 40 |
| Şekil 4.3. Ağ yapısına bölünen kablo kesiti..... | 41 |
| Şekil 4.4. Kablo geometrisi üzerine uygulanan ağ yapısı | 41 |
| Şekil 4.5. 1.5mm ² kesiti analiz sonucu sıcaklık dağılımı..... | 45 |
| Şekil 4.6. Analiz sonucu kablonun 3 boyutlu görünümü | 45 |
| Şekil 4.7. 1.5mm ² kesitli kablo için zaman-sıcaklık dağılımı..... | 46 |
| Şekil 4.8. Deney düzeneği blok şeması..... | 48 |
| Şekil 4.9. Deney düzeneği..... | 48 |
| Şekil 4.10. Deney başlangıcı..... | 48 |
| Şekil 4.11. Deney 1. aşama | 49 |
| Şekil 4.12. Deney 2. aşama | 49 |
| Şekil 4.13. Deney 3. aşama | 50 |
| Şekil 4.14. Aşırı akım sonrası deforme olan kablo | 50 |
| Şekil 4.15. Ek yerine sahip bakır kablolar | 51 |
| Şekil 4.16. Deney sonrası varyak üzerinde oluşan sıcaklık dağılımı..... | 53 |
| Şekil 4.17. 6mm ² kablonun 80 saniyede sağ uçta meydana gelen sıcaklık dağılımı | 54 |
| Şekil 4.18. 6mm ² kablonun 80 saniyede sol uçta meydana gelen sıcaklık dağılımı | 54 |

| | |
|--|----|
| Şekil 4.19. 6mm ² kablonun 130 saniyede sağ ucunda meydana gelen sıcaklık dağılımı | 55 |
| Şekil 4.20. 6mm ² kablonun 150 saniyede merkezde meydana gelen sıcaklık dağılımı.. | 55 |
| Şekil 4.21. 6mm ² kablonun 180 saniyede sağ uçta meydana gelen sıcaklık dağılımı | 56 |
| Şekil 4.22. 1.5mm ² kablonun 1000 saniyede sol uçta meydana gelen sıcaklık dağılımı | 56 |
| Şekil 4.23. 1.5mm ² kablonun 1000 saniyede merkezde meydana gelen sıcaklık dağılımı | 57 |
| Şekil 4.24. 1.5mm ² kablonun 1000 saniyede sağ uçta meydana gelen sıcaklık dağılımı | 57 |
| Şekil 4.25. 2.5mm ² kesitli ek noktalarına sahip bakır numune | 58 |
| Şekil 4.26. 2.5mm ² ek yerine sahip kablonun merkez sıcaklık dağılımı..... | 58 |
| Şekil 4.27. 2.5mm ² ek yerine sahip kablonun sağ uçtaki sıcaklık dağılımı | 59 |



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

| | |
|--|----|
| Çizelge 2.1. Türkiye' nin toplam güneş enerjisi potansiyeli..... | 6 |
| Çizelge 2.2. Katalog bilgisi olacak şekilde teknik özellikleri..... | 9 |
| Çizelge 2.3. Yüksek geçirgenliğe sahip, her iki tarafı da desenli cam | 9 |
| Çizelge 2.4. Yüksek geçirgenliğe sahip, her iki tarafı da desenli cam | 10 |
| Çizelge 3.1. Solar kablo kesitlerine göre teknik parametreler | 30 |
| Çizelge 4.1. 1.5 mm ² kablo için 20 °C -100 °C arası akım taşıma kapasitesi | 38 |
| Çizelge 4.2. 1.5 mm ² kablo için 40 °C -100 °C arası akım taşıma kapasitesi | 38 |
| Çizelge 4.3. 1.5 mm ² kablo için 60 °C -100 °C arası akım taşıma kapasitesi | 39 |
| Çizelge 4.4. Kullanılan malzemelerin termofiziksel özellikleri..... | 42 |
| Çizelge 4.5. 1.5 mm ² kablo için 20 °C -100 °C arası akım taşıma kapasitesi | 43 |
| Çizelge 4.6. 1.5 mm ² kablo için 40 °C -100 °C arası akım taşıma kapasitesi | 44 |
| Çizelge 4.7. 1.5 mm ² kablo için 60 °C -100 °C arası akım taşıma kapasitesi | 44 |
| Çizelge 4.8. Akım değerlerine göre 1.5 mm ² kesitli kablo üzerinde oluşan sıcaklıklar . | 53 |
| Çizelge 4.9. 2.5 mm ² ek yerine sahip kablonun sıcaklık-akım ilişkisi | 59 |

1. GİRİŞ

İnsanoğlu ilk insandan günümüze kadar sürekli artan bir enerji ihtiyacı içinde olmuştur. Yediğimiz yemeği ısıtmadan aydınlık ihtiyacına, gıdalar bozulmasın diye soğutmadan bindiğimiz arabanın hareket etmesi için yakılan yakıta kadar hayatımızın her noktasında enerjiye her zaman ihtiyaç olmuş ve olmaya da devam edecektir. Bu ihtiyaç refah düzeyinin ve dünya nüfusunun artması ile doğru orantılı olarak büyümektedir.

Günümüzde refah düzeyinin ve dünya nüfusunun bu denli artması ile beraber enerji gerekliliği de hızla arttığından mevcut enerji kaynaklarına alternatifler aranmaktadır. Bu da insanoğlunu yenilenebilir enerjiye doğru sürüklemektedir. Bunun yanında ihtiyaç olan enerji elde edilirken dünyamızın çevre dengesine zarar vermemek, korumak ve gelecek nesillere iyi bir dünya bırakabilme isteği de yenilenebilir enerji kaynaklarını diğer enerji kaynaklarının önüne geçirmektedir. Özellikle ülkemiz için enerji ihtiyacının fosil yakıtlardan dönüşümler yapılarak karşılandığını da göz önünde bulundurursak kısıtlı ve maliyetli olan bu enerji üretim yöntemlerinin yanında yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmaya başlamamız kaçınılmaz olmuştur.

Yapılan araştırmalara göre dünyadaki enerji tüketiminin yılda yaklaşık %1,5 artış gösterdiği ve 2030 yılında enerji tüketiminin günümüze göre %19,5 artacağı öngörülmektedir. Günümüzde ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin çoğunluğu fosil kaynaklardan karşılanmaktadır. Bu nedenle dünya yeni kaynakların arayışına girmiştir. Bunun başlıca sebeplerinden birincisi artan enerji ihtiyacı ile enerjinin çoğunluğunun sağlandığı fosil enerji kaynaklarının azalması ile birlikte fiyatlarının artmasıdır. Diğer sebepte ise bu kaynakların çevre dengeyi bozması ve çevre kirliliğine neden olmasıdır. (Başay 2019).

Enerji üretimi açısından ülkemiz yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden ihtiyaç duyulan enerjinin bir kısmı ithal edilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının sağlanması enerji üretimine yardımcı olmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının sınırsız olması ve çevreye zarar vermemesi önemli olmakla birlikte ekonomik gelişim için dışa bağımlılığın azalmasını da sağlamaktadır (Saner 2015).

Güneşin çekirdeğinde bulunan hidrojen gazı helyuma dönüşerek radyoaktif ışınım meydana gelmesiyle açığa çıkan enerji güneş enerjisi olarak adlandırılır. Atmosferin dışında güneş enerjisinin şiddeti, yaklaşık olarak 1370 W/m^2 civarında olup atmosferin etkisinden dolayı yeryüzüne $0-1100 \text{ W/m}^2$ değerlerde ulaşmaktadır. Günümüzde insanların mevcut enerji tüketiminden daha fazlasını bile dünyaya gelen güneş enerjisinin küçük bir kısmı karşılayabilmektedir. Çünkü gelen enerji, ihtiyacın 20.000 katıdır. (Çalışkan 2011).

Dünyanın kendi eksenini etrafındaki hareketinden ve atmosferik olaylardan güneş enerjisinin sürdürülebilirliği kesintiye uğramasına rağmen, enerji üretiminde güneş enerjisinin payı her geçen gün artış göstermektedir. Güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren aygıtlar fotovoltaik (FV) panel (güneş pili) olarak adlandırılır. Bu fotovoltaik panelleri kullanarak kurulan sistemlerin avantajları ve dezavantajları aşağıda sıralanmıştır (Baş 2016).

Avantajları

- Enerji ihtiyacını güneşten sağladıkları için yakıt maliyeti yoktur.
- Kaynağı sınırsızdır ve sistem uzun ömürlüdür.
- Sadece genel bakım ve kontrole ihtiyaç olduğu için işletme maliyeti düşüktür.
- Çevre dostu olduğundan çevreyi kirlilemez.
- Elektrik şebekesinin olmadığı yerlerde elektrikten yararlanabilmeyi sağlamaktadır.
- Enerji üretildiği yerlerde kullanılacağından dağıtım maliyeti olmayacaktır.

Dezavantajları

- Kurulum için yatırım maliyetleri yüksektir.
- Yaz aylarına göre kış aylarındaki enerji üretimi oldukça düşüktür.
- Hava karardığında enerji üretilmemektedir.

Dünyada hızla kullanımı artan FV sistemlerin maliyetlerini geri kazanabilmek için FV sistemden en yüksek ömür ve verim sağlanması gerekmektedir. Fotovoltaik sistemlerin

mr ve verimi sadece sistemin kurulumuyla ilgili değildir. Fotovoltaik sistemin ömrünü belirlemek için ortam koğullarını hesaba katmak gereklidir. Bir fotovoltaik sistemin ömründen ve veriminden bahsetmek için deniz seviyesindeki bölgelerde veya dağlık bölgelerdeki farklılıkları göz önünde bulundurmak gerekmektedir.



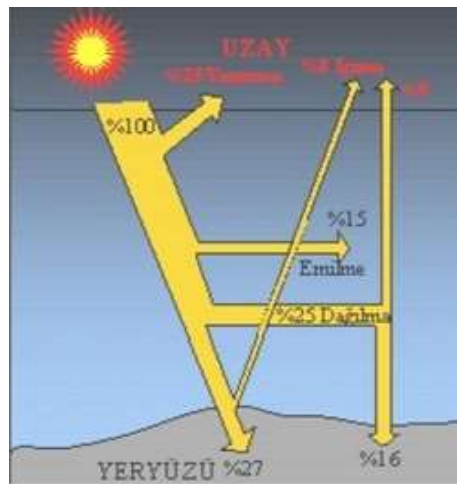
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Dünyaya ulaşan güneş enerjisi insanların enerji ihtiyacından 20.000 kat daha fazladır. Bu enerjinin yıllık ortalama değeri 1367 W/m^2 ($= 1175 \text{ kcal/h.m}^2$) dir.

2.1.Güneş Işınlarnın Dağılımı

Güneş ışınlarının dağılımı Şekil 2.1.'de gösterilmiş ve maddeler halinde açıklanmıştır. W/m^2 cinsinden güneş ışınma şiddeti Şekil 2.2.' de verilmiştir. Şekil 2.3.'de Türkiye' nin güney' ine doğru güneş enerjisi artışı verilerek Şekil 2.4.'de GEPA verileri ile desteklenmiştir.

1. Güneş ışınlarının % 25'i atmosferden etkilenerek ve bulutlara çarparak uzaya geri yansır.
2. Güneş ışınlarını %25'i atmosfere dağılarak difüzyon olur. Bunun sonucunda atmosferin su buharından dolayı mavi görünmesine ve gölge yerlerin aydınlanmasına neden olur. Atmosfere çarpan bu ışınların %9' u uzaya geri yansır ve %16' sı da yer kabuğunu dolaylı olarak ısıtır.
3. Güneş ışınlarının %15'i atmosfer ve bulutlar tarafından emilir(absorbsiyon).
4. Güneş ışınlarının %8'i yer kabuğuna çarparak uzaya yansır.
5. Güneş ışınlarının sadece %27'si doğrudan yer kabuğuna ulaşarak yeri ısıtır.



Şekil 2.1. Güneş ışınlarının dağılımı (Kıncay 2015)



Şekil 2.2. Meteoroloji durumuna bağlı olarak güneş ışınımı şiddeti (Kıncay 2015)

Güneş enerjisi (iklim koşullarını aynı düşünerek) yer yüzünde ;

- 36. ve 42. paraleller arasında aynı rakımda güneye doğru, bir sonraki paralelde bir öncekine göre yıl içerisinde %1,7 ile %1,9 oranında fazladır.
- Her 1.000 metre yükseklikte ise %9 ile %11 arasında artar.



Şekil 2.3. Türkiye'nin güneyine doğru güneş enerjisinin artışı (Kıncay 2015)



Şekil 2.4. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası (Kıncay 2015)

- 1/100.000 yükseklik modeli
- 200 m x 200 m skysize
- 1985-2006 yılları 156 DMİ saatlik ölçüm verisi
- 500 m x 500 m grid formatında kWh/m² aylık gün ortalaması verileri

2.2. Türkiye' de Güneş Enerjisi Potansiyeli

DMİ'de bilgilerine göre 1966-1982 yılları arasında ölçülen güneşlenme süresi ve foton şiddeti verilerine göre Türkiye'nin yıllık toplam güneşlenme ortalama süresi 2640 saattir (günlük alınan saat 7,2). Güneşlenme süresi ve toplam ışınım şiddeti ortalaması da 1311 kWh/m² (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu saptanmıştır.

awTürkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri Çizelge 2.1. de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Türkiye' nin toplam güneş enerjisi potansiyeli (Kıncay 2015)

| Aylar | Aylık Toplam Güneş Enerjisi (kcal/cm ² -ay) | Aylık Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² -ay) | Güneşlenme Süresi (saat/ay) |
|-----------------|---|---|--------------------------------|
| Ocak | 4,45 | 51,75 | 103,0 |
| Şubat | 5,44 | 63,27 | 115,0 |
| Mart | 8,31 | 96,65 | 165,0 |
| Nisan | 10,51 | 122,23 | 197,0 |
| Mayıs | 13,23 | 153,86 | 273,0 |
| Haziran | 14,51 | 168,75 | 325,0 |
| Temmuz | 15,08 | 175,38 | 365,0 |
| Ağustos | 13,62 | 158,40 | 343,0 |
| Eylül | 10,60 | 123,28 | 280,0 |
| Ekim | 7,73 | 89,90 | 214,0 |
| Kasım | 5,23 | 60,82 | 157,0 |
| Aralık | 4,03 | 46,87 | 103,0 |
| Toplam | 112,74 | 1311,00 | 2640 |
| Ortalama | 308,0 cal/cm²-gün | 3,6 kWh/m²-gün | 7,2 saat/gün |

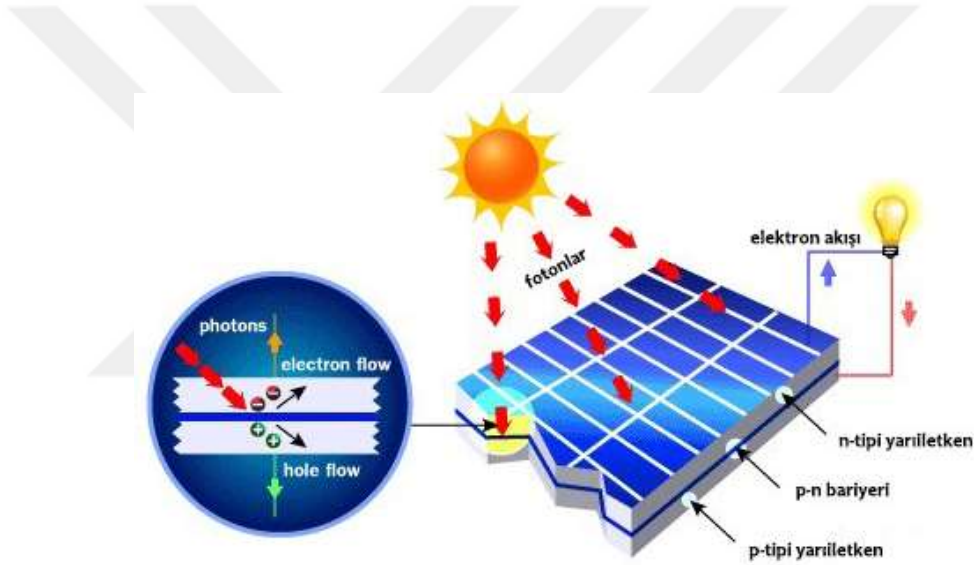
2.3.Güneş Pillerinin Fiziksel Yapıları ve Çeşitleri

2.3.1. Güneş Pillerinin Fiziksel Yapıları

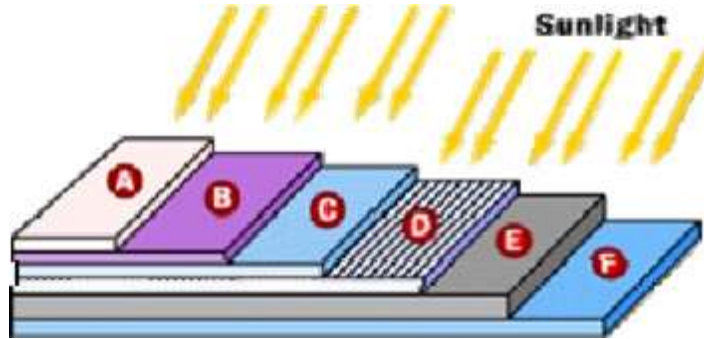
Güneş pillerinin fiziksel yapısı Şekil 2.5.'te görülmektedir.

Şekil 2.6.'nın katmanları aşağıda verilmiştir.

- | | |
|---------------------------|--------------------|
| A) Koruma camı | D) n tipi silisyum |
| B) Anti-reflektif kaplama | E) p tipi silisyum |
| C) Üst kontakt grid | F) Alt kontakt |



Şekil 2.5. Bir güneş pillerinin genel fiziksel yapısı (Arce 2018)



Şekil 2.6. Güneş pillerinin katmanları (Kıncay, Bekiroğlu, Yumurtacı 2016)

A) Koruma Camı

Güneş panelleri için üretilen düşük demirli ve basınca dayanıklı buzlu camlardır.

Bu camlar, güneş pillerini çevre şartlarının olumsuz etkilerine karşı muhafaza eden ve yüksek foton geçirgenlik özelliği ile FV panellerin ömrünü ve verimliliğini doğrudan etkileyen, FV panel üretimi için önemli elemanlardan biridir. Bunun nedeni demir oksit oranının daha az olmasıdır. Normal demirli camlara göre güneş paneli camlarının ışık geçirgenliği daha yüksektir.

Koruma camlarına Sandy ve Prizma desen uygulanması cam yüzeyinde oluşabilecek yansımaları azaltıp, ışık geçirgenliğini yükselttiği için panellerinin performansında en yüksek verimliliği sağlar. Bu camların yüzeylerine uygulanan Anti Reflektif (AR) kaplama ile ışık yansıma değerleri en az seviyeye çekilir ve ışık geçirgenliği yaklaşık %2 artar. Bunun sonucu olarak yüksek verim sağlanır.

Yapılarına göre panel ebatları:



- Kalınlıkları 3,2 mm ve 4mm
- Ham Cam: 1000x2200 mm, 2400x3300 mm
- Temperli: 750x1500 mm, 1500x3000 mm
- Rodajlı: 750x1500 mm, 1500x2500 mm

Güneş Paneli Camlarının Teknik Özellikleri:

Güneş paneli camlarının teknik özellikleri Çizelge 2.2. , Çizelge 2.3. ve Çizelge 2.4. de verilmiştir.

Çizelge 2. 2. Katalog bilgisi olacak şekilde teknik özellikleri (Sar 2018)

| Özellikler | Açıklama |
|--------------------|------------------------|
| Demir Oranı | ≤ 0.02 %Fe203 |
| Kalınlık Toleransı | $\pm 0,2$ mm |
| Kalınlık | 3,2 mm & 4 mm |
| Temper Bilgisi | Temperli / Tempersiz |
| Yüzey İşleme | Desenli |
| Yoğunluk | 2,5 gr/cm ³ |
| Isı Dayanımı | 250°C |
| Kenar İşleme | Rodaj/Kapak |

Çizelge 2.3. Yüksek ışık geçirgenliğe sahip, her iki tarafı da desenli cam (Sar 2018)

| Ürün | Işık Geçirgenliği (D65) | PV Geçirgenliği F, PV | Güneş Geçirgenliği 1,5)T | Işığ (AM | SPF Sınıfı |
|--------------|-------------------------|-----------------------|--------------------------|----------|------------|
| Sandy 3,2 mm | %91,8 | %95,1 | %91,2 | | P1 |
| Sandy 4 mm | %91,9 | %95 | %91 | | P1 |

Çizelge 2. 4. Yüksek geçirgenliğe sahip, her iki tarafı da desenli cam (Sar 2018)

| Ürün | Işık Geçirgenliği (D65) | PV Geçirgenliği F, PV | Güneş Geçirgenliği 1,5)T | Işığı (AM | SPF Sınıfı |
|---------------|-------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------|------------|
| Prizma 3,2 mm | %91,8 | %95,2 | %91,2 | | P1 |
| Prizma 4 mm | %91,8 | %95 | %91,1 | | P1 |

B) Anti-Reflektif Kaplama

Güneş pili camları, güneş pillerini çevre şartlarının olumsuz etkilerinden koruyan ve yüksek ışık geçirgenlik performansı ile FV panellerin ömrünü ve verimliliğini doğrudan etkileyen, panel üretimlerindeki en önemli elemanlardan biridir. Güneş paneli camlarının ışık geçirgenliği normal demirli cama göre daha yüksek olması için demir oksit oranı daha yüksektir. Ancak panel verimliliğini arttırmakla birlikte güneş ışınlarının hücrelere daha iyi nüfuz etmesini sağlaması sebebi ile panel ömrünü kısaltacak yönde etkisi vardır.

C) Üst Kontakt Grid (EVA)

FV güneş enerji panellerinin ömrünü pozitif yönde etkileyen şeffaf polyamid (PA) görünümlü bu kimyasal ürün, güneş pillerinde kullanılan camın hücrenin ve panelin arkasındaki örtünün (backsheet) sıcaklık altında laminasyon yöntemi ile yapışmasını sağlar.

Laminasyon yöntemi bir üretim yöntemi olup ısı ve yüksek basınç yardımıyla farklı yüzeyler ile birleştirilmekte ve tek bir katman halinde kullanılmaktadır.

FV panellerinin üretimi sürecinde, katmanları Şekil 2.6.'daki gibi yerleştirilip, laminasyon makinesine girerek 180 °C sıcaklıkta ve vakum altında, tüm katmanlar EVA

(Etilen Vinyl Asetat) aracılığıyla birbirine yapıştırır. Bu işlemden sonra güneş pillerinin hiçbir katmanını ayırmak mümkün değildir. Bu yüzden kötü hava koşullarına karşı dayanıklı bir yapıya sahip olur. Yani güneş pillerini uzun ömürlü kılar. Tüm bunlar ile birlikte; cam-hücre-backsheet arasında tam homojen yapışma, laminasyon sürecinde mükemmel sızdırmazlık ve kaplama, mükemmel optik iletim ve şeffaflık, laminasyon süreci sırasında fiziksel strese karşı mükemmel esneklik, dielektrik karakter gibi pozitif katkılar sağlanır.

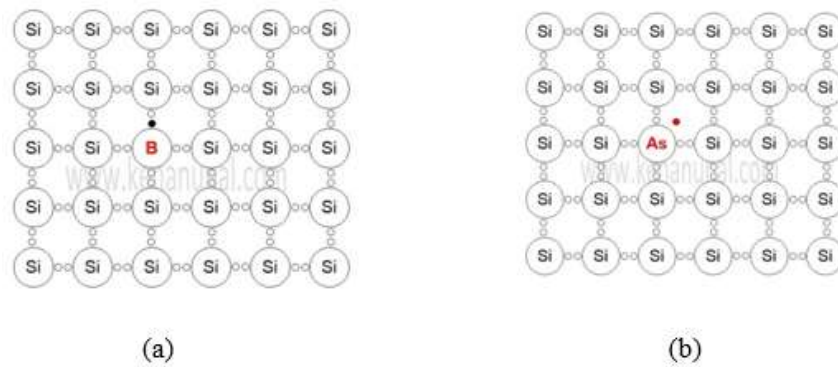
EVA film yapışkan (enkapsülant) özelliği sayesinde FV panellerin içerisine su ve toz sızmasının önlenmesinde önemli rol oynadığı gibi fiziksel şokları da yumuşatarak solar hücreleri korur ve uzun ömürlü yapar.

D) n Tipi Silisyum

Silisyum kristal atomlarının içerisine çok az miktarda Arsenik (As) atomu katılmasıyla elde edilen yarı iletken malzemedir. Şekil 2.7.'deki gibi n-tipi yarı iletken meydana gelmiş hali görülmektedir.

E) p tipi silisyum

p tipi silisyum kristal atomlarının içerisine çok az miktarda Bor (B) atomu katılmasıyla elde edilen yarı iletken malzemedir. Şekil 2.7.'deki gibi p-tipi yarı iletken meydana gelmiş hali görülmektedir.



Şekil 2.7. (a) p-tipi yarı iletken, (b) n-tipi yarı iletken (slide) (Ünal 2018)

2.3.2. Güneş Pili Çeşitleri

Teknolojik gelişmeler ile güneş pili üretimi için farklı yapılarda malzemeler ve farklı üretim teknikleri geliştirilmiştir. Buna göre en çok kullanılanları aşağıda verilmiştir.

Güneş pili çeşitleri 4 ana teknolojidен oluşur . Bunlar;

- Kristal yapı teknolojisi,
- İnce film teknolojisi,
- Birleşik teknoloji,
- Nanoteknoloji.

Güneş pili çeşitlerinin başlıcaları şunlardır;

- Monokristal güneş pili.
- Polikristal güneş pili.
- İnce film güneş pili.
- Esnek güneş pili.

Monokristal Güneş Pili

Monokristal silisyum güneş pilleri Chrozalski kristal çekme tekniği ilk ticari güneş pillerinin üretim tekniği ile üretilir. Bu teknikte tek kristal yapılı silisyum kullanılmaktadır. Fotovoltaik üretiminde en çok kullanılan yöntemlerden bir tanesidir. Chrozalski kristal çekme tekniğinde saf silisyumu elde etmek için silisyum oksit çeşitli kimyasal ve termal reaksiyonlardan geçirilerek ark fırınlarında üretilir. Üretilen tek kristal yapılı bir silisyum parçası sıvı haldeki silisyumun içine batırılır. Daha sonra soğutularak parçalara bölünür ve işlenerek istenilen güneş pili elde edilir. Monokristal silisyum güneş pilleri genellikle 100x100 mm, 125x125 mm veya 156x156 mm boyutlarında ve 36, 54, 60 ya da 72 seri hücre birleştirilerek üretilirler. Laboratuvar ortamında %20'lik bir verime sahiptirler fakat doğal koşullar altında verimleri genellikle %15-18 arasındadır. Diğer güneş panellerine göre verimleri %1 ile %3 arasında daha fazladır ve ömürleri de daha uzundur. Saf kristalden üretildikleri için pahalıdırlar.

Sistem maliyetini geri ödeme süresi 4 ile 6 yıl arasındır. Monokristal güneş panellerinin renkleri diğer güneş panellerine oranla daha koyu ve lacivert tonlardadır (Karamanav 2007).

Polikristal Güneş Pili

Çok kristalli malzemelerin yapısal, elektriksel ve optiksel özellikleri özdeştir. Yapıları damarlı olup damarların büyüklükleri kristalin kalitesi ile doğru orantılıdır. Önce büyütülüp daha sonra 200 mikron kalınlıkta ince tabakalar halinde dilimlenen tek kristal silisyum bloklardan üretilen güneş pillerdir. Çok kristalli silisyum malzemelerin üretim teknolojileri tek kristalli malzemelere göre daha az enerji gerektirir ve üretimi daha basittir. Çok kristalli silisyumun güneş pillerinin maliyeti oldukça düşüktür. Bunun başlıca sebebi polikristal üretiminde saf kristallerin kullanılmamasıdır (Demir 2002).

Çok kristalli silisyum malzemenin üretiminde genellikle “dökme” yöntemi kullanılır. Çok kristalli silisyum malzemenin hazırlanış biçimi tek kristalli malzemedeki gibi yapılır. Eriyik haldeki yarıiletken silisyum kalıba dökülür ve soğutulmaya bırakılır. Kalıplardan çıkan bloklar genellikle kare şeklinde dilimlenir. Bu teknoloji ile üretilen malzemelerin maliyeti oldukça düşüktür ama verimlilikleri de daha azdır.

Verimleri %12 ile %15 arasında değişmektedir ancak günümüz teknolojisinde laboratuvar ortamında verimi %16,2 seviyesine ulaşmıştır. Yatırım maliyetini geri ödeme süresi 2 ile 4,5 yıl arasında değişir. Polikristal güneş pillerinde 20 yıllık bir sürede yaklaşık %14 verim kaybı meydana gelir.

İnce Film Güneş Pili

İnce filmin güneş pilleri çok ince imal edildiklerinden dolayı hem ışığı geçiren kaplama malzemesi olarak hem de enerji üreten ürün olarak kullanılmaktadır. İnce film hücrelerin üretim şekli ihtiyaca göre yapılır ve daha sonra yarıiletken malzemeyle kaplanır. Toplu üretime uygundur. İstenildiğinde farklı dalga boylarındaki ışıktan elektrik üretebilecek biçimde katmanlar şeklinde üretilebilir. İnce film güneş pilleri

kristal silisyum güneş pillerinden %10 ile %15 daha fazla enerji üretmektedir. Ayrıca yeni teknolojide 0,5µm kalınlığında üretilmektedirler. İnce film güneş pilleri aşağıdaki üç yöntem ile üretilir;

- Püskürtmeli yöntem
- Buharlı çöküntü yöntemi
- Katot tonlanması yöntemi

Üretim yöntemlerinden en sık kullanılan püskürtmeli yöntemdir. Bu yöntemde ilk olarak önde bulunan alt malzemenin üzerine saydam oksit iletken (TCO) püskürtülür. Bu malzemenin şeritler halinde lazer ile kesimi yapılır. Daha sonra üzerine güneş hücresi püskürtülmesi yapılır. Tortu haline gelen güneş hücresi katmanları altta bulunan iletken okside paralel olacak biçimde tekrar kesilir. Son yapılan işlem ise en alttaki bölüme metal iletken püskürtülmesidir. Bu şekilde birbirine seri bağlı hücre grupları imal edilir.

İnce film güneş pillerinin üretiminde kullanılan malzemeler:

- Amorf Silisyum (a-Si)
- Bakır İndiyum Galyum Selenit (CIS)
- Kadmiyum Tellür (CdTe)
- Elektroliz Banyosu

Teorik olarak hesaplandığında 1 µm kalınlığındaki ince film, ışığın enerjiye dönüşmesi için yeterli olduğu kabul edilirken pratik olarak 5µm kalınlığında üretilir ve satılır. Monokristal ve polikristal hücrelerin yüzeyleri kirliliğe karşı hassas olmasına karşın ince film hücrelerin kirlilik toleransı çok daha yüksektir (Ardağ 2012).

İnce film hücrelerin verimlilikleri kristal silisyum hücrelere göre düşüktür. Ancak ışınımın az olduğu veya yüksek sıcaklığın olduğu koşullardaki performansı kristal silisyum hücrelerinkinden daha iyidir. Ayrıca bulutlu havalarda da enerji üretimine devam edebilirler. Hücre şekillerinden dolayı gölgelenmeden daha az etkilenirler.

Kristal silisyum güneş pilleriyle kıyaslandığında, daha az enerji ve hammaddeyle üretilmektedir (Gemicioğlu 2011).

İnce film güneş pillerinden yapılan elektronik hesap makineleri flüoresan lâmba ışığında bile enerji üretebilmektedirler. İnce film silisyum güneş pilleri ışığın mor renklerine daha hassastır. Tabanında cam veya şeffaf plastik kullanıldığında mor ışıkları süzer, kırmızı ışıkları iletir (Ardağ 2012).

Esnek Güneş Pili

Esnek güneş pili; esnek, verimli ve uzun ömürlüdür. Kullanım alanları geniş olan bir güneş pildir. Bu tip güneş pilleri oldukça esnektir. Esnek güneş pilleri oldukça dayanıklıdır. Yapı olarak monokristal veya polikristal olmaktadır. Bu durum, bu enerji pillerinin verimliliklerini de çeşitlendirmektedir. Esnek güneş pillerinin camları ve çerçeveleri olmadığından çok hafiftir. Esnek yapılarından dolayı kubbemsi çatılar için oldukça idealdir. Kurulum için düz zemin aranmamaktadır. Kullanım alanları çok fazladır. Anonim 2019).

Esnek Güneş Pillerinin Avantajları:

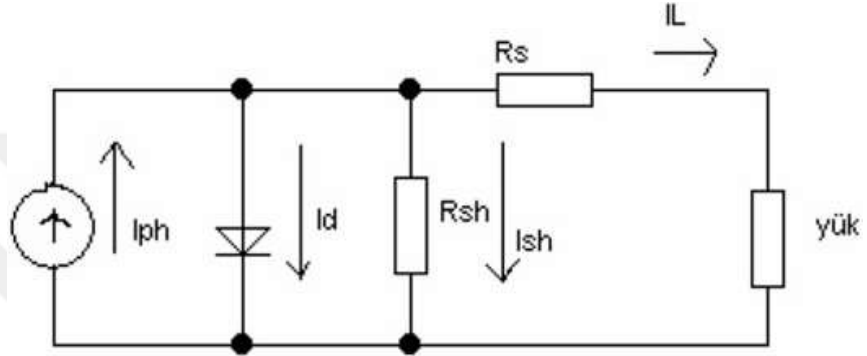
Esnek güneş pilleri kolayca taşınabilir olmasından dolayı ayrı bir özelliğe sahiptir. Rulo haline getirilebilen bu piller askeri alanlarda ve bilhassa yatlarda tercih sebebidir. Diğer güneş pillerine göre çok hafiftir.

Kullanım alanı farketmeksizin kurulup ve kullanıma başlanması oldukça kolaydır. Ruloyu açarak güneşi iyi bir şekilde görmesini sağlamak yeterlidir. Sonuç olarak esnek güneş enerji pillerinin önümüzdeki yıllarda yaşamı daha çok kolaylaştıracağı kesindir. Ancak verimlilik konusunda zayıf olması, verimliliği artırıcı çalışmaların devam edeceğini göstermektedir. Ayrıca rulo yaparken ve taşıma gerçekleştirirken fiziksel şartları zorlamak ömrünü azaltacağı gibi mevcut veriminin kısa zamanda düşmesine hatta bozulması sebep olacaktır.

Bir çok ülkede özellikle teknelerde (marin) tercih edilen esnek güneş pilleri, çok uluslu markaların hali hazırda ar-ge çalışmaları yaptığı ve pilot uygulamaları kullandığı sistemler haline gelmiştir. (Anonim 2019).

2.4. Güneş Piliin Eşdeğer Devresi

Güneş pilinin eşdeğer devresine yük bağlanarak Şekil 2.8.'de gösterilmiştir.



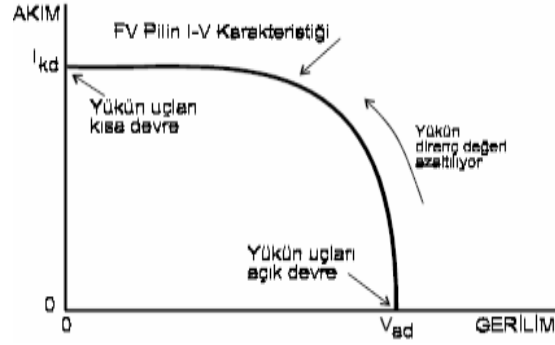
Şekil 2.8. Güneş pili eşdeğer devresi

Şekil 2.8. de;

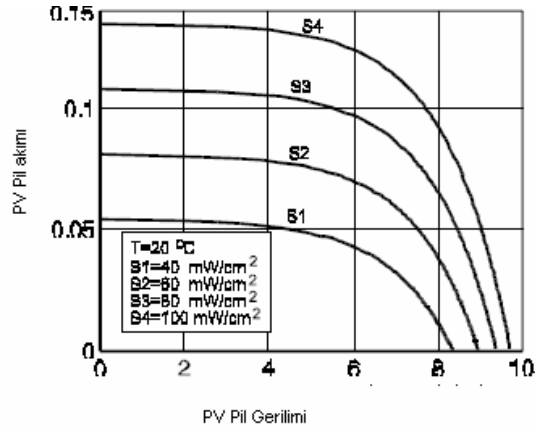
- Güneş pilinin elektrik üretimini sembolize eden akım kaynağıdır.
- Güneş hücresi diyotla modellenmiştir.
- Hücre üzerine düşen ışınım elektrik akımını doğru orantılı olarak etkilemektedir.
- Eklemde üretilen enerjinin kutuplara iletilmesi sırasında oluşan kayıplar, seri direnç ile gösterilir.
- Seri direnç hücre verimini doğrudan etkiler.

2.5. Güneş Pillerinin Akım, Gerilim ve Güç Karakteristiği

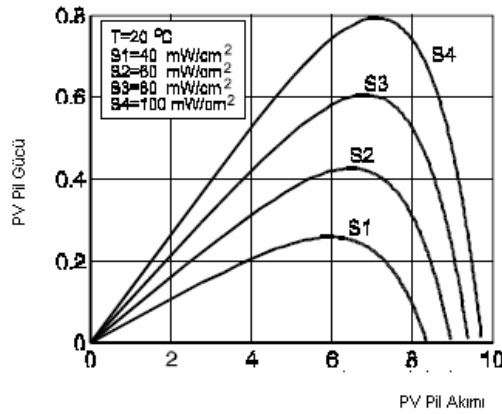
Şekil 2.9., Şekil 2.10. ve Şekil 2.11.'de görüldüğü gibi ışık şiddetindeki artış FV piliin akım ve gerilimi arttırmaktadır. Akım ve gerilime bağlı olarak güç de artmıştır.



Şekil 2.9. Güneş pili I-V karakteristiği (Kıncay, Bekiroğlu, Yumurtacı 2016)



Şekil 2.10. Güneş pili I-V karakteristiğinin ışık şiddetine bağlı değişimi (Kıncay, Bekiroğlu, Yumurtacı 2016)

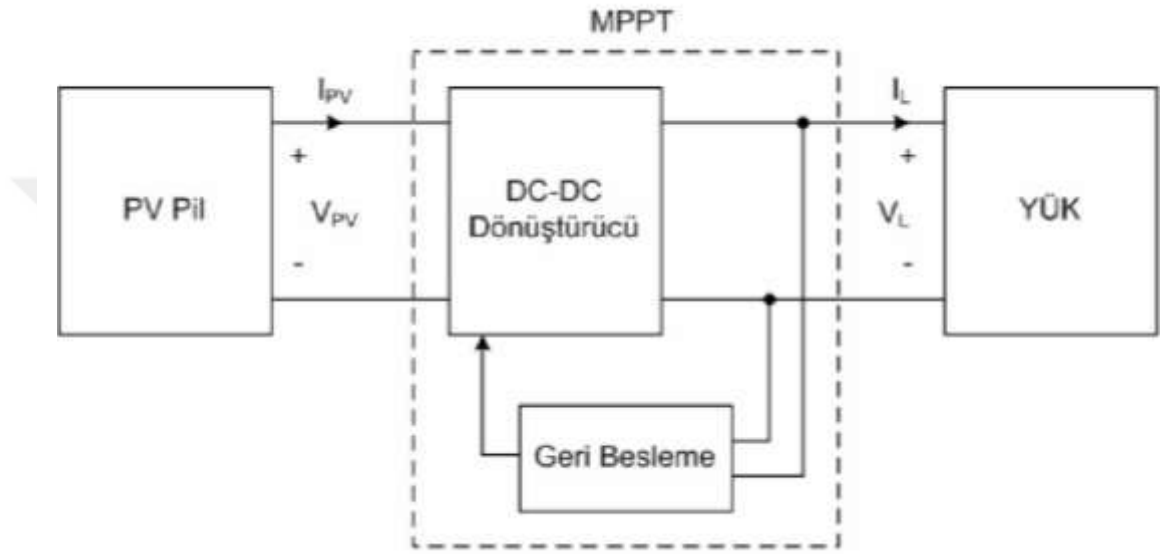


Şekil 2.11. Güneş pili P-V karakteristiğinin ışık şiddetine bağlı değişimi (Kıncay, Bekiroğlu, Yumurtacı 2016)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Güneş Enerji Santralının Verimliliğini ve Ömrünü Belirleyen Etkenler

Şekil 3.1.'de ki blok şemada tüm hatlarıyla görüldüğü gibi temelde bir fotovoltaik santral; FV pil (fotovoltaik hücrelerden oluşan güneş paneli), MPPT (dönüştürücü ve geri besleme), yük (sistemin besleyeceği cihaz) ve solar kablolardan oluşmaktadır. Bu santrale istenirse depolama alt bileşeni yada hibrit sistemler eklenebilir.



Şekil 3.1. FV sistem blok şeması

3.1.1. Güneş Enerji Santrallerinin Verimini Belirleyen Etkenler

Bir fotovoltaik güneş hücresine ulaşan güneş ışığının tamamı elektriğe dönüştürülmez. Aslında çoğu kaybolur. Güneş pili tasarımındaki birçok faktör, bir hücrenin aldığı güneş ışığını dönüştürme yeteneğini sınırlandırmada rol oynar. Bu faktörleri göz önünde bulundurarak bir güneş enerji santralini tasarlamak, verimliliklerini doğrudan etkileyecektir. Yani panel verimine uygun sistem tasarımı da verimi doğrudan etkilemektedir.

Bir fotovoltaik hücrenin dönüşüm verimliliği, kullanılabilir elektriğe dönüştürülen bir fotovoltaik sistemden yansıyan güneş enerjisi yüzdesidir. Bu dönüşüm verimliliğini

arttırmak araştırmanın temel amacıdır. Verimlilik artışları bu teknolojilerin diğer (konvansiyonel) enerji kaynakları ile maliyet açısından rekabetçi olmasını sağlar.

Güneş Işıma Şiddeti

Işık, geniş bir dalga boyu ve enerjiye sahip fotonlardan veya enerji paketlerinden oluşur. Dünyanın yüzeyine ulaşan güneş ışığının, görünür ve görünmez dalga boyları vardır. Bu ışıklar bir güneş hücresinin yüzeyine çarptığında, bazı fotonlar yansır, diğerleri ise doğrudan geçer. FV hücrelere ulaşan fotonların bazıları enerjilerini ısıya dönüştürür. Kalan kısım ise jonksiyonda elektrik akımına dönüşür.

Sıcaklık Etkisi

Güneş pilleri genellikle düşük sıcaklıklarda en iyi şekilde çalışır. Daha yüksek sıcaklıklar yarı iletken özelliklerinin kaymasına neden olarak akımda hafif bir artışa neden olur, ancak voltajda çok daha büyük bir düşüşe neden olur. Sıcaklıktaki aşırı artışlar hücreye ve diğer panel malzemelerine zarar verebilir ve bu da daha kısa çalışma ömrü sağlar. Hücrelerde parlayan güneş ışığının çoğu ısıya dönüştüğü için uygun termal yönetim hem verimliliği hem de yaşam süresini iyileştirir.

Yansımaya Etkisi

Bir hücrenin verimliliği, hücrenin yüzeyinden yansıyan ışık miktarını en aza indirilerek artırılabilir. Örneğin, işlenmemiş silikon, gelen ışığın %30' undan fazlasını yansıtır. Yansımaya önleyici kaplamalar ve dokulu yüzeyler yansımaya azaltmaya yardımcı olur. Yüksek verimli bir hücre koyu mavi veya siyah görünecektir.

Rüzgar, Nem, Tozlanma ve Yağış Etkisi

Rüzgar, nem, tozlanma ve yağışta etkisiyle zaman içerisinde panel yüzeylerinde tabaka oluşacağından güneş ışınları panel hücrelerine ulaşamaz. Bu da panel ve sistem verimini negatif yönde etkiler.

3.1.2. Fotovoltaik Panellerin Ömrünü Belirleyen Etkenlerin İncelenmesi

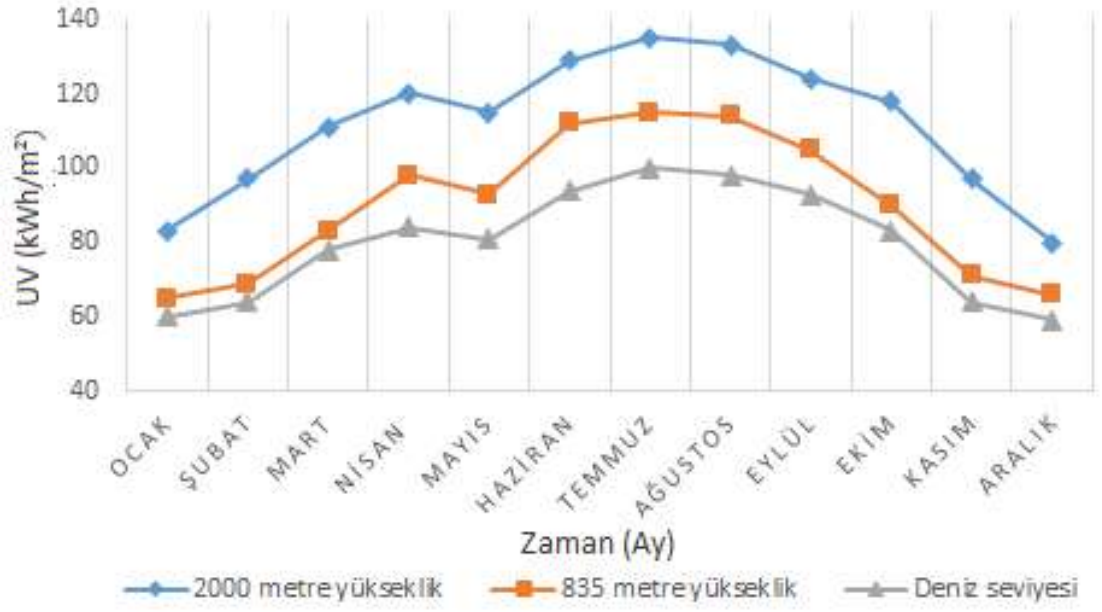
UV Işıkların Etkisi

Deniz seviyesinden yukarıya çıkıldıkça her m²'ye ulaşan güneş enerjisinin miktarı da artmaktadır.

Güneş spektrumunda bulunan farklı dalga boyları vardır. Bu dalga boyları; UV (ultraviyole) ışık (200 nm - 400 nm), görünür ışık (400 nm - 750 nm) ve kızılötesi ışık (750 nm - 1 µm) güneşin spectral ışınlarının büyük bir kısmını ifade etmektedir. UV aralığı spektrumunun yalnızca bir kısmıdır. UV aralığı da kendi içinde 3 dalga boyu aralığından oluşmaktadır. Bunlar; 320 nm - 400 nm aralığında olan (UVA), 280 nm - 320 nm aralığında olan (UVB) ve 200 nm - 280 nm aralığında olan (UVC)'dir. Her bir aralıktaki UV dalga boyunun malzeme üzerindeki etkisi farklıdır. Güneş ışınımındaki UV ışık (200 nm – 400nm) yoğunluğu yüksekliğin ve iklimin etkisiyle yaklaşık olarak %3 ile %5 oranında değişkenlik gösterebilmektedir. FV paneller UV şartlandırma deneyine tabi tutularak imal edilirler. Bu deneyde panelin sıcaklığı, UV (285 nm – 390 nm) ışığına maruz bırakıldığında 60 °C ± 5 °C sıcaklıkta dayanıklılık testi yapılmıştır. Bu deney sonucunda, panellerin ömrü yaklaşık 25 yıl olarak belirlenmiştir (TSE 2017). Güneş ışınım enerjisinin %9 ile %11 arasında artışı her 1000 metre yükseklikte bir görülmektedir.

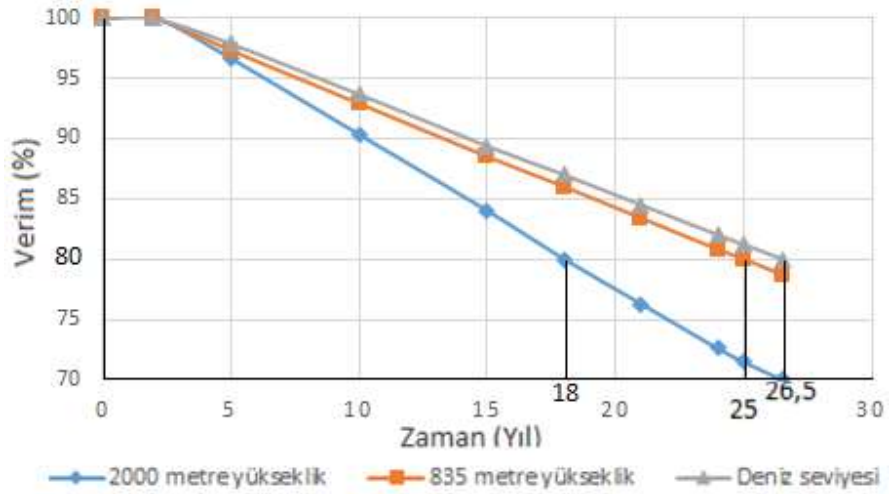
Bursa İli, Orhaneli İlçesi Sırlı Köy'ünün bulunduğu yarı dağlık bölgede güneş enerji santralının kurulacağı rakım 835 metre olup GEPA'nın güncel radyasyon bilgilerine göre yaklaşık 1570 - 1625 kWh/m²-yıl olacaktır (<http://www.yegm.gov.tr/>).

Deniz seviyesindeki UV ışın seviyesi yaklaşık olarak yıllık 100 kWh/m² olup deniz seviyesinden 3000 metre rakımda 150 kWh/m²'ye ulaşabilmektedir. Yarı dağlık bölgede (835 metre) yıllık UV ışın seviyesi yaklaşık 115 kWh/m²'dir. Uludağ'ın yüksek rakımlı bölgelerinde (2000 metre) ise bu UV ışınlanma seviyesi yaklaşık 135 kWh/m²'dir. Şekil 3.2.'de aynı konumda fakat farklı rakımlara yerleştirilen panellere ulaşan aylık ortalama UV ışın seviyeleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.2. Aylık ortalama UV ışın seviyeleri (Başay 2019)

FV paneller güneş ışınlama koşullarında çalıştıkları için güneş ışığında bulunan UV ışını, panellerde bulunan polimer türevi malzemelerin bozulmasına neden olabilir. Şekil 3.2.'de görünen grafiği baktığımızda 835 metre yükseklikteki bölge deniz seviyesine oranla UV ışınımından daha fazla etkileneceği anlaşılmaktadır. Şekil 3.2.'deki çıkarımlara göre Şekil 3.3.'te UV yoğunluğunun FV panel ömrüne etkisi incelenmiş ve FV panellerin ömürlerinde deniz seviyesine oranla yaklaşık %5,6'lık bir azalma meydana geleceği öngörülmüştür.



Şekil 3.3. UV ışınlarının farklı yüksekliklerde bulunan panellerin ömrüne etkisi

Nemin Etkisi

FV panellerde nem, hava geçiren arka örtü (backsheet) olan EVA (etilen vinil asetat) ve diğer tabakalar aracılığıyla FV panellerin içlerine nüfuz edebilir. Nüfuz eden nem, korozyona neden olabilecek elektrokimyasal reaksiyona neden olabilir. Nemin etkisiyle FV panellerin ömrü kısaltmaya başlar. Nem nüfuz etmeye devam ettikçe katmanlar asarındaki yapıştırma yüzeylerini bozarak hücrelere kadar ilerler ve FV panel yapısının bozulmasına neden olur. Oluşabilecek bozuklukların araştırmaları yapılmaktadır. Bunlar, yapısında korozyona uğrayan FV panellerinin deformasyonunu incelemek için IEC (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu) 61215 standardının belirlediği damp-heat test-DH (yaşta sıcaklık testi) ile doğrulanmaktadır. Nem panel yapısını bozduğu gibi mevcut bozulmaları da hızlandırmaktadır. Bu bozulma temel nedeni de korozyondur. FV panellerdeki nem yoğunluğu her zaman aynı olmayacağı için neme bağlı bozulmayı tahmin etmek zordur.

Escobar ve Meeker (L. A. Escobar and W. Q. Meeker 2006), iki bozulma modelini önermiştir. Bunlar Eyring ve Peck modellerinin çeşitleridir. Eyring modeline dayanan bozulma modeli $R_{D,Eyring}$ denklem (3.8) ile ifade edilir:

$$R_{D,Eyring} = A \exp\left(\frac{-Ea}{kT} - \frac{b}{rh}\right) \quad (3.8)$$

Ea : Termal aktivasyon

k : Boltzman sabiti

T : Sıcaklık (° K)

rh : Nispi nem

A : Arıza monduna bağlı değişken

b : Arıza monduna bağlı değişken

FV panellerdeki rh , ortam iklimine, panelin arka tabakasının malzeme yapısına ve çalışma şartlarına bağlıdır. Bu nem yoğunluğu difüzyon modeli ile denklem (3.8) 'de hesaplanabilir.

Peck modeline dayanan diğer bozulma modeli ($R_{D,Peck}$) denklem (3.9) ile ifade edilir:

$$R_{D,Eyring} = B \exp\left(-\frac{Ea}{kT}\right) (rh)^n \quad (3.9)$$

B: Başarısızlığa bağlı değişken

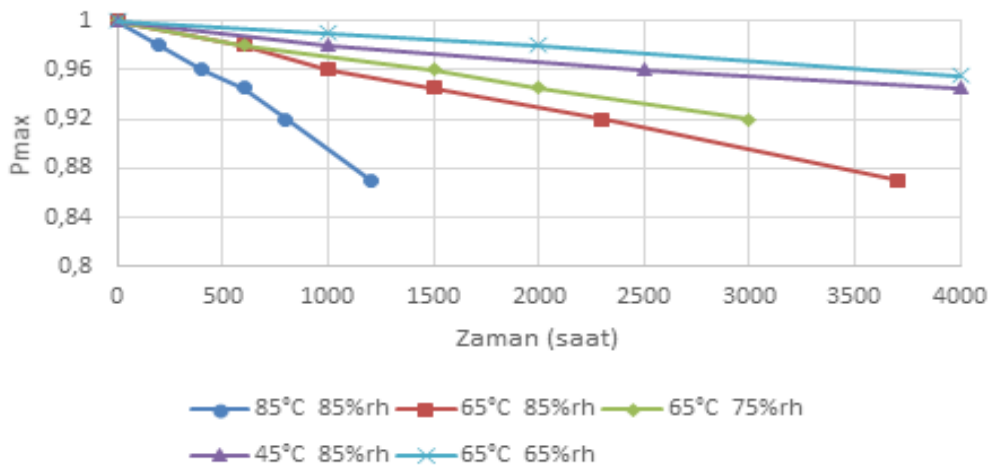
n: başarısızlığa bağlı değişken

Denklem (3.8)'deki Ea değeri ile denklem (3.9)'deki n değerini elde etmek için, denklem (3.10) ve denklem (3.11) kullanılmaktadır:

$$\ln(R_{D,Eyring}) = \ln(A) - \left(\frac{Ea}{kT}\right) - \left(\frac{b}{rh}\right) \quad (3.10)$$

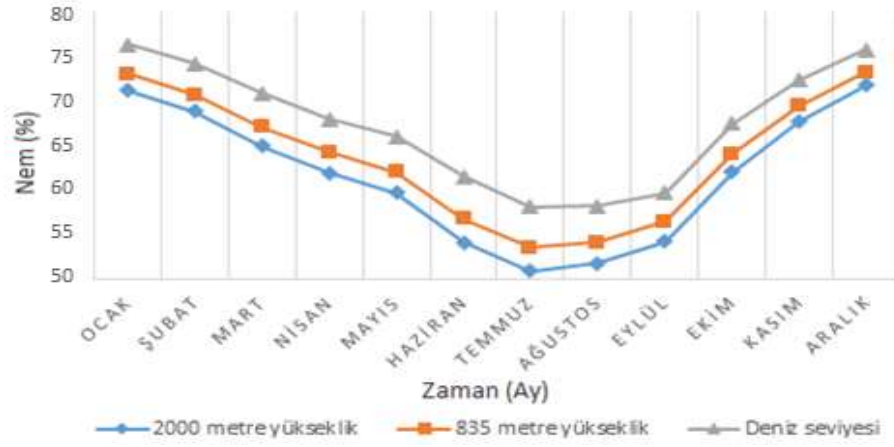
$$\ln(R_{D,Peck}) = \ln(B) - \left(\frac{Ea}{kT}\right) - n \ln(rh) \quad (3.11)$$

Nem oranı ve ortam sıcaklığı FV panellerin yapısında bozulmalara neden olmaktadır. GES'e ait FV paneller DH testine tabi tutulmuştur. Yaş sıcaklık testinde paneller 1000 saat boyunca 85°C'de ve %85 rh bağlı neme tabi tutularak yaşlandırılmıştır. Nemin FV panel üzerindeki etkisini belirlemek için panellere uygulanan hızlandırılmış yaşlanma testleri neticesinde Pmax'ın zamanın bir fonksiyonu olarak doğrusal azaldığı belirlenmiştir. Peck modeli ve Eyring modeli ile bulunan 10 yıllık bozulma oranlarının birbirine yakın olduğu saptanmıştır. Şekil 3.4'te nem ile sıcaklığın FV panelin ömrüne etkisi incelenmiştir.



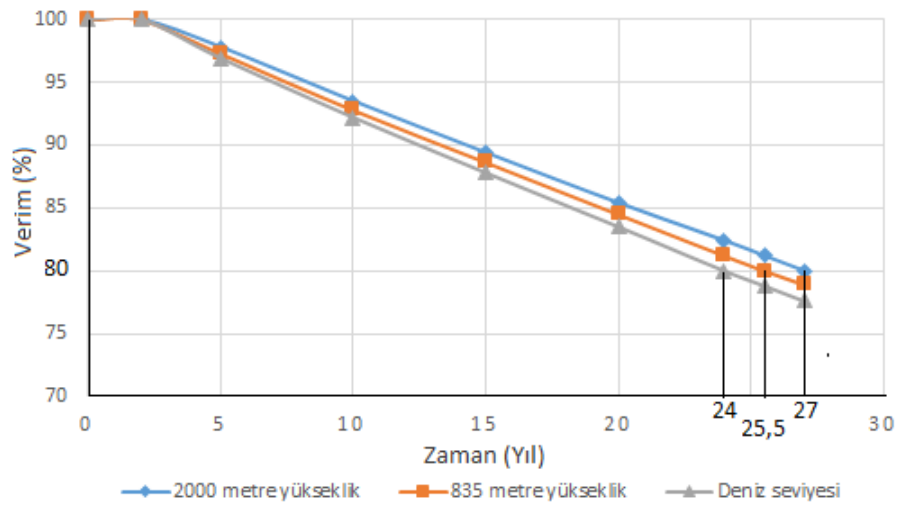
Şekil 3.4. Nemin FV panel çıkış gücüne etkisi (P.Huelsmann, K. A.Weiss and M. Köhl 2012)

GES bölgesinin 1 yıllık aylık ortalama nem yoğunluğunu Şekil 3.5.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Aylık ortalama nem yoğunluğu (Başay 2019)

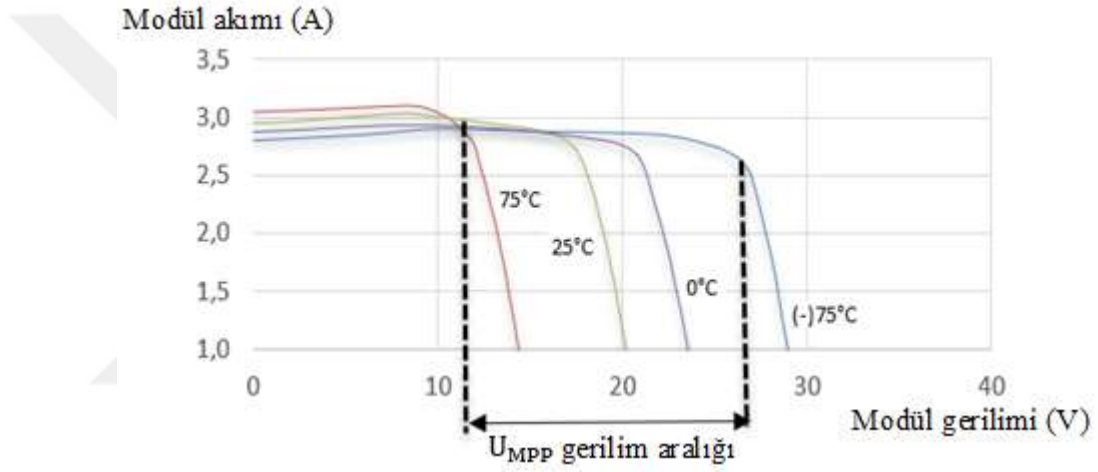
GES'in kurulacağı 835 metre rakımdaki (yarı dağlık bölge) nem oranı %62,8 – %66,6 aralığındadır. Aynı bölge için deniz seviyesi koşullarında nem oranı daha yüksek, 2000 metre rakımda ise nem oranı daha düşüktür (Başay 2019). Şekil 3.5.'te elde edilen grafiğe bakıldığında, nem oranı deniz seviyesi ile kıyaslandığında 835 metrelik rakımda %5,6, 2000 metre rakımda da %7,8 kadar daha azdır (Başay 2019). Bu bulguları dikkate alarak nem oranının FV panel ömrüne etkisi incelenmiş ve Şekil 3.6.'da gösterilmiştir. Sadece nem oranı dikkate alındığında, deniz seviyesindeki panellerin ömrü 24 yıl iken 835 metre rakımda 25,5 yıl, 2000 metre rakımdaki ise 27 yıl olacağı belirlenmiştir.



Şekil 3.6. Havada bulunan nemin farklı rakımlarda kurulan FV panellerin ömrüne etkisi

Sıcaklık Etkisi

FV paneller sıcaklığın belli seviyelerin üstünde yada altında olmasından dolayı olumsuz etkilenmektedir. FV paneller 25°C sıcaklık, 1,5 AM hava kütle katsayısı ve 1000 W/m² güneş radyasyonu bulunan ortamda test edilir. FV paneller üzerinde sıcaklığın oluşmasının nedeni panellerin veriminin %100 olmamasıdır. Elektrik enerjisine dönüştürülemeyen enerji ısıya dönüşmektedir. Sıcaklık arttıkça panellerde oluşan gerilim azalacağından çıkış gücünde de azalma olur. Bunun sonucunda Şekil 3.7.'de görüldüğü gibi verim kaybı yaşanmaktadır..



Şekil 3.7. Sıcaklığın panel verimine etkisi

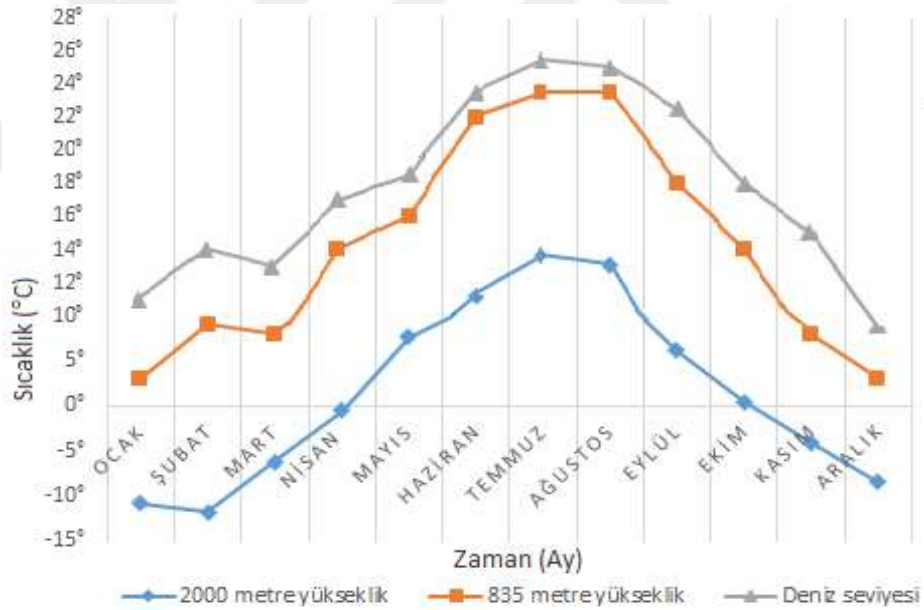
FV paneller yüksek sıcaklığa maruz kaldıklarında yapılarında bozulmalar meydana gelmektedir. Bundan dolayı GES'in kurulacağı bölgenin seçiminde ortam sıcaklığı daha düşüktür. Söz konusu yarı dağlık bölge için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne bağlı, Meteorolojik Veri İşlem Dairesi Başkanlığı Veri Kontrol ve İstatistik Şube Müdürlüğü İstatistik Biriminin verilerine göre ortalama rüzgâr hızının 1,8–2,3 m/sn olduğu belirlenmiştir. Bölgede rüzgârın hızı ile rakımdan kaynaklanan düşük hava sıcaklığı bir arada düşünüldüğünde FV panellerin yapısına olumsuz yönde etki eden sıcaklık sorunu yoktur ve panelleri soğutmak için ekstra önlem almaya gerek kalmamaktadır (Başay 2019).

GES’de 4400 adet 265W gücünde panel kullanılmıştır. Panellerin çalışma sıcaklık aralığı -40 °C ile +85 °C’dir. Panel sıcaklığı 25°C, ışıma 1000 W/m², hava kütle katsayısı 1,5 AM’dir.

Panel sıcaklığının verime etkisi şöyle açıklanabilir:

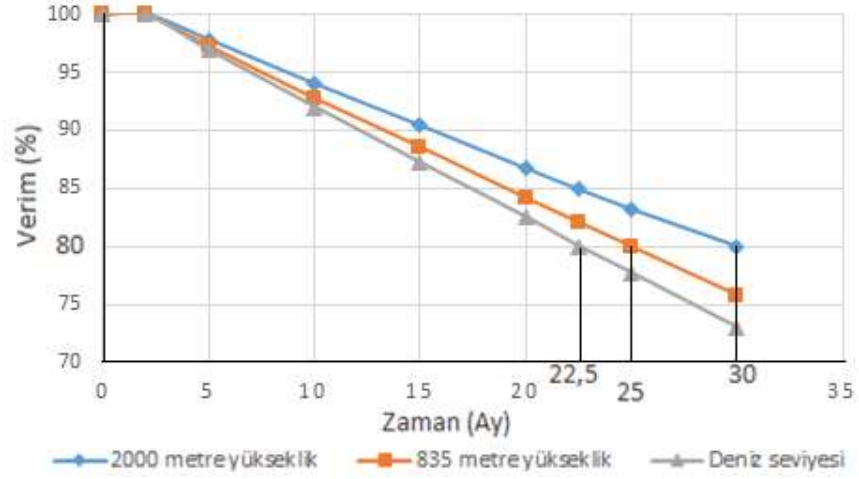
265W gücünde polikristal hücrelere sahip bir panelin verimi %16,2’dir. Çıkış gücüne sıcaklık etkisi yaklaşık olarak (Pm): -0,00398 1/°C kabul edilmektedir. 25°C’lik ortamda paneller 45 °C’ye kadar ısınmaktadır, bu sebepten panel verimi hesabı; Panelin çıkış gücü x (1- Pm x (panel sıcaklığı- 25))=265 x (1- 0,00398 x (45-25))=243,9 W olacak yani panel verimi de %14,9 seviyesine düşecektir.

Panel sıcaklığı düştüğünde ise verim artacaktır. Deniz seviyesinde, 835 metre rakımda (GES’in bulunduğu bölge) ve 2000 metre rakımda aylara göre ortalama sıcaklık hava sıcaklığı bilgileri Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



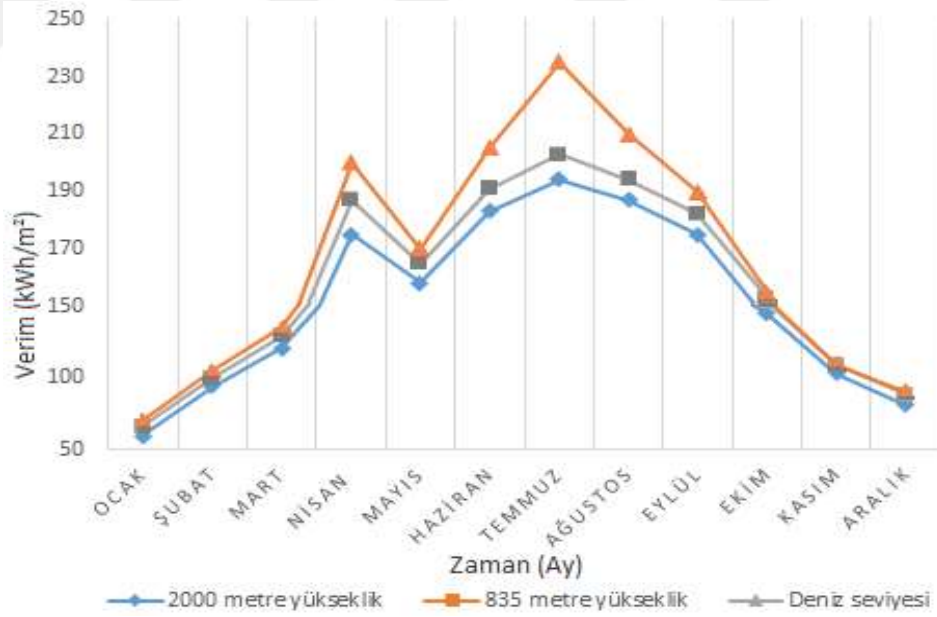
Şekil 3.8. Aylık ortalama hava sıcaklığı bilgileri (Başay 2019)

Şekil 3.8.’e bakıldığında GES’in bulunduğu bölgedeki sıcaklık deniz seviyesine oranla daha azdır. Yalnızca sıcaklık dikkate alındığında, Şekil 3.9.’da görüldüğü gibi deniz seviyesindeki panellerin ömrü 22,5 yıl iken 835 metre rakımda 25 yıl, 2000 metre rakımda ise 30 yıl olacağı hesaplanmıştır.



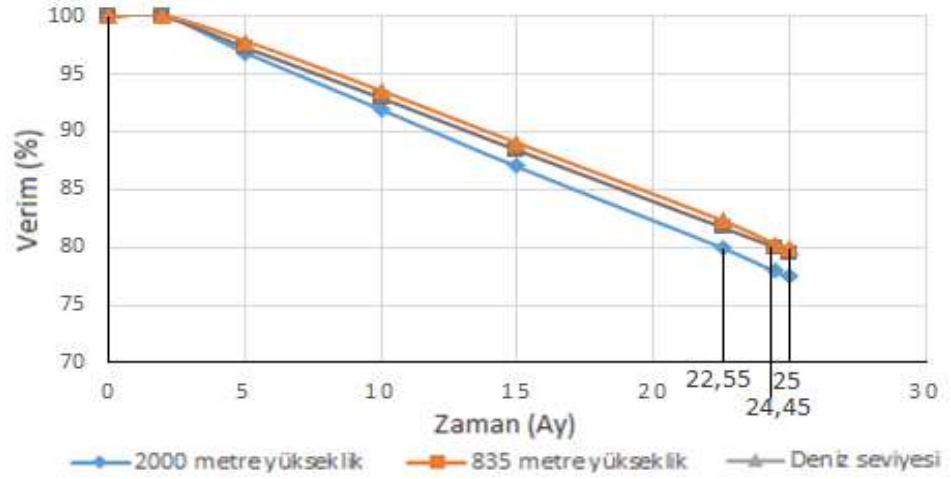
Şekil 3.9. Sıcaklığın farklı yüksekliklerde bulunan panellerin ömrüne etkisi

FV panellerin verimini ve ömrünü belirleyen UV ışınların şiddeti, nem oranı ve sıcaklık değerlerinin toplam etkisi göz önüne alınarak aynı enlem ve boylamda yer alan ve 3 farklı rakımda kurulan FV panellerin verimlilikleri Şekil 3.10.'da ömür süreleri de Şekil 3.11.'de verilmiştir.



Şekil 3.10. Tüm olumsuz etkilerden sonra toplam verimlilik

Nisan-Mayıs aylarında görülen yağış ve bulutlanmadan kaynaklanan güneş ışınımının azalması verimi negatif yönde etkilerken UV ışınlarının seviyeleri ve sıcaklığın düşmesi FV panel ömrünü yaklaşık %14 uzatacaktır.



Şekil 3.11. Tüm olumsuz etkilerden sonra toplam panel ömürleri

Ulaşılan sonuçlara bakıldığında yaklaşık olarak 835 metre rakımdaki FV panellerin ömrünün 25 yıl, deniz seviyesindeki FV panellerin 24,45 yıl ve 2000 metre rakımdaki FV panellerin ömrünün de 22,55 yıl olacağı tespit edilmiştir.

3.2.SOLAR KABLolar

3.2.1. Solar Kablo Nedir?

EN 60364-7-712 nolu standardına uygun olarak güneş paneli uygulamaları için özel olarak imal edilen, açık veya kapalı ortam şartlarında aşırı soğuk ve aşırı sıcak havalara karşı dayanıklı olan 25 yıl ömürlü FV sistem iletkenidir. Şekil 3.12.' de bir solar kablo örneği görülmektedir.



Şekil 3.12. FV1-F DC solar kablo (ERSE 2018)

3.2.2. Solar Kabloların Akım Taşıma Kapasiteleri

Solar kabloların akım taşıma kapasiteleri iletken özelliklerine göre Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

3.2.3. Solar Kabloların Ömrü

Solar kabloların ömrü belirlenen standartlar çerçevesinde 25 yıl olarak belirlenmiş ve bu standart doğrultusunda hareket edilmektedir. Ancak standart dışı olan yoğun UV ışınlarına maruz kalma, aşırı sıcak(yanıcılık sağlayacak düzeyde) altında kalma, aşırı gerilme ve sürekli stres altında kalma, yanlış montaj ve iletken bağlantısı gibi durumlarda kablo ömürleri öngörülememektedir.

Çizelge 3.1. Solar kablo kesitlerine göre teknik parametreler (PRYSMIAN 2017)

| Nominal kesit (mm ²) | İletken çapı (mm) | Kablo çapı (min mm) | Kablo çapı (max. mm) | Yaklaşık net ağırlık (kg/km) | Min. bükme yarıçapı (mm) | İzin verilen max. gerilme yükü (N) | 60°C ortam sıcaklığında, akım taşıma kapasitesi (Serbest havada) (A) | İzin verilen kısa devre akımı (1 sn.) (kA) |
|----------------------------------|-------------------|---------------------|----------------------|------------------------------|--------------------------|------------------------------------|--|--|
| 1,5 | 1,6 | 4,4 | 4,8 | 29 | 14,4 | 23 | 29 | 0,19 |
| 2,5 | 1,9 | 4,7 | 5,1 | 43 | 15,3 | 38 | 41 | 0,32 |
| 4 | 2,4 | 5,2 | 5,6 | 58 | 16,8 | 60 | 55 | 0,5 |
| 6 | 2,9 | 5,7 | 6,1 | 76 | 18,3 | 90 | 70 | 0,76 |
| 10 | 4 | 6,8 | 7,2 | 120 | 21,6 | 150 | 98 | 1,26 |
| 16 | 5,5 | 8,3 | 9 | 178 | 36 | 240 | 132 | 2,01 |
| 25 | 6,4 | 10 | 10,7 | 273 | 43 | 375 | 176 | 3,15 |
| 35 | 7,5 | 11,1 | 11,8 | 364 | 47 | 525 | 218 | 4,41 |
| 50 | 9 | 12,6 | 13,3 | 500 | 53 | 750 | 276 | 6,3 |
| 70 | 10,8 | 14,4 | 15,2 | 686 | 61 | 1050 | 347 | 8,82 |
| 95 | 12,6 | 16,2 | 17 | 899 | 68 | 1425 | 416 | 12 |
| 120 | 14,3 | 17,7 | 18,7 | 1131 | 75 | 1800 | 488 | 15,1 |
| 150 | 15,9 | 19,7 | 20,7 | 1382 | 83 | 2250 | 566 | 18,9 |
| 185 | 17,5 | 21,3 | 22,3 | 1669 | 89 | 2775 | 644 | 23,3 |
| 240 | 20,5 | 24,2 | 25,5 | 2208 | 102 | 3600 | 775 | 30,4 |

3.2.4. Solar Kabloların Ömrünü Belirleyen Etkenlerin İncelenmesi

Kablolar Üzerindeki Termal Etki

Günümüzde güneş enerjisinden faydalanma eğiliminin artmasıyla buna bağlı olarak kurulan santral sayısı da artmıştır. Bu artış, kablo kullanımındaki artışı da beraberinde getirmektedir. Artan kablo miktarının uzunluğu ve kesiti sistem tasarımcıları tarafından kabloların termal davranışına göre belirlemektedir. Kablo kesitinin seçiminde birtakım kısıtlamalar vardır. Bunlar; ortam sıcaklığı ve dielektik malzemesinin kalınlığı gibi faktörlerdir. Termal oluşuma göre kablo seçiminin avantajları da vardır. Örneğin; FV sistemlerdeki oluşabilecek muhtemel yangınların önüne geçmek için elektrik sistemindeki aşırı ısınma dikkate alınır. Birdiğeri ise tasarım süresince kabloların ağırlığı ve elektrik kablolarının maliyetlerinin azaltılmasıdır.

Solar kablolarda matematik modellemelerin amacı, kabloya akım verildiği zaman iletken üzerindeki sıcaklık ve geçici termal etkiyi tahmini kolaylaştırmaktır. Geliştirilen metodolojik yapının geometrik alt dallarına dayalı olacak şekilde sonlu ve farklı yöntemlerden esinlenerek ağ yapıları oluşturulur. Ağ metodunun uygulanmasıyla sonlu elemanlar metodu solar kablo üzerinde uygulanabilir. Ağ yapıları arasındaki ısı transferi yaklaşık olarak tanımlanır.

Matematiksel eşitlik her düğüm noktası için ayrı ayrı yazılır, her düğüm noktası kablonun tüm termal devresinin göstergesi olur. Ardından düğüm noktaları matris sistemine transfer edilir. Elde edilen sistem lineer olmadığı için Crank Nicolson nümerik metodu istenilen sonuca ulaşmak için en uygun yöntemdir. Her düğüm noktasında geçici termal durum ve sistem içi güç üretimi için ısı verilen denge denklem 3.12’de görüldüğü gibi elde edilir.

$$E_{giriş} + E_{üretilen} = E_{çıkış} + E_{depolanan} \quad (3.12)$$

N düğüm noktası için, N’nin analitik sistem eşitliği kolayca elde edilir ve N^2 iki boyutlu matris yapısına çevrilerek sistem çözüme ulaşır.

$$[G_{ij}] \cdot [T_i] + [\dot{Q}_i] = [C_{ij}] \cdot \left[\frac{dT_i}{dt} \right] \quad (3.13)$$

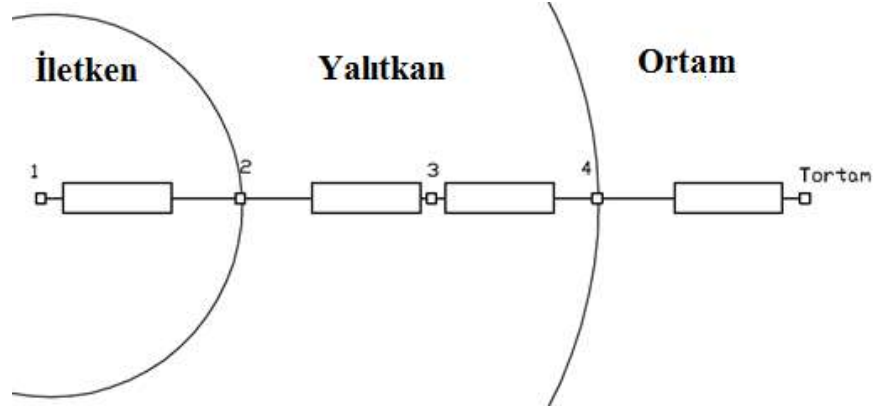
$[G_{ij}]$: Termal iletkenlik matrisi.

$[T_i]$: İletim ve yayılımdan dolayı radyasyonik sıcaklık vektörü.

\dot{I} : Yapının izotermal hacmi.

$[\dot{Q}_i]$: Vektörü iç güç üretimini.

Denklem 3.13.’ü Şekil 3.13. 2B kabloyu temsil eder. Bu özelliğe göre elde edilen termal devre ile birlikte seçilen düğümleri ile yapının alt kısımlarını temsil eder. Devre elemanları aktif ve pasif olarak ikiye ayrılır. Bundan esinlenerek kablo içerisinde oluşan termal devre pasif devre elemanları ile temsil edilmektedir. Termal rezistans için elektrik direnci, termal yoğunluk ise kapasitans olarak kullanılır.



Şekil 3.13. Tek iletkenli yapıdaki ısı dirençler

Şekil 3.13.'de 1 numaralı düğümdeki izotermal bölgede üretilen gücü göstermektedir. 1. düğüm ve 2. düğüm arasında olan rezistans iletim yolu ısı transferini temsil eder. 2. düğüm, bakır ve elektriksel yalıtkan arasındaki arabirimi ifade eder. 4. düğüm kablo etrafında olan hava ile ısı transferini yapmasını sağlar. Bu yapıda atmosfer sıcaklığı ortam sıcaklığına eşit kabul edilerek iletim tarafından olan akı ihmal edilmiştir. Sistem 2 adet sınır koşuluna sahiptir. Dış düğümde dT/dt sifıra eşit olduğunda homojen Neumann tipi ve dışsal sıcaklığın verisi T_{ortam} ve $T_{atmosfer}$ sabit olduğunda Dirichlet tipidir.

Termal davranış incelediğinde, malzemenin ısı sığası C_{th} , malzemin $\rho_{materyal}$ yoğunluğu, $S_{malzeme}$ kesit alanı, özgül ısı $C_{materyal}$ ve düşünülen alanın kesiti ile bir metrelik numune ile örnek için hesaplanabilir. İç enerjinin ve ısı kapasitesinin değişimin ifadesi sırasıyla denklem 3.14 ve 3.15'de gösterilmektedir.

$$\dot{Q}_{th} = S_{malzeme} \cdot \rho_{malzeme} \cdot c_{malzeme} \cdot \frac{dT}{dt} \quad (3.14)$$

$$C_{th} = S_{malzeme} \cdot \rho_{malzeme} \cdot c_{malzeme} \quad (3.15)$$

Sonuç olarak; sadece bir iletim yapısını düşündüğümüzde, kablonun dış yüzeyi ve iç hava arasındaki iletimi ifade eder. Bunun yanı sıra kablolar yaklaşık bu iletimi hapseder. Bu durum Şekil 3.13.'de görülen dış çap R_0 tarafından yapılır.

İç iletim yapısının modelini çıkarmak için Churchill ve Usagi denklemi denklem 3.16'da verilmiştir.

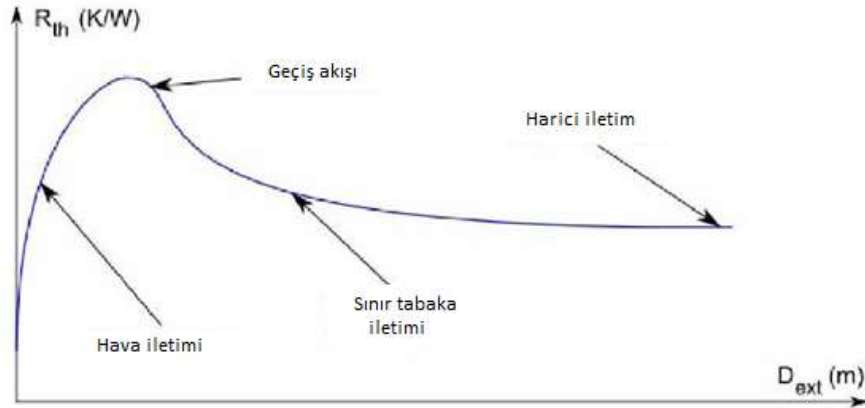
$$Nu_{conv} = S_{pi} + [Nu^{-n}Tr + Nu^{-n}bl]^{-\frac{1}{n}} \quad (3.16)$$

Formüle baktığımızda dış yarıçapta üç farklı evre için ısı transferi düşünülmüştür.

İletim yapısının faktörü S_{pi}^* Fourier yasası tarafından hava iletimini temsil eder ve önemli hapsediş esnasında etkilidir.

$$S_{pi}^* = \frac{2}{\ln\left(\frac{R_o}{R_i}\right)} \quad (3.17)$$

Evrenin ikinci safhasında Nu_{bl} sınır tabaka iletimini temsil eder, ısı tutma önemsiz olduğunda, asimptot serbest iletime meyillendir.



Şekil 3.14. Dış çap iletimi tarafından oluşan termal direnç (Grandvullemin ve ark. 2007)

Şekil 3.14.'de dış yarıçapa baktığımızda bu evrelerin farklarını gösterir. Dış yarıçap arttıkça çember yapılı iletim sabit olur. Serbest iletim için iç termal iletim tanımlanmış Nusselt sayısı ile denklem 3.18 ve 3.19'da görüldüğü gibi hesaplanabilir.

$$G_{conv} = h*S = h*\pi*D_i = \frac{\lambda*Nu_{conv}}{D_i} * \pi * D_i \quad (3.18)$$

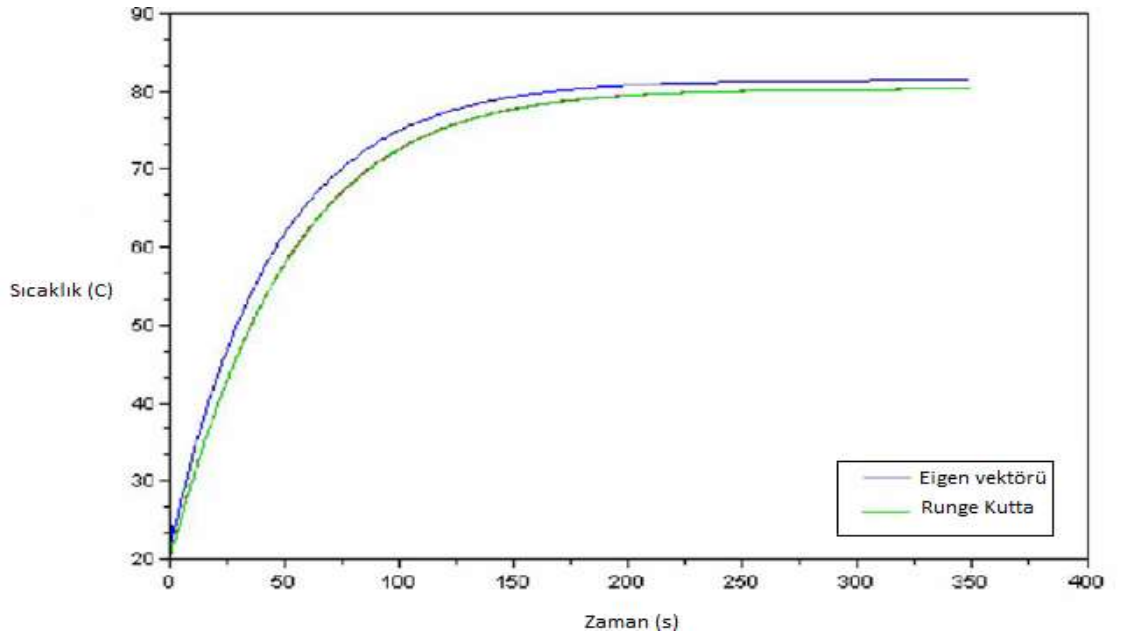
$$G_{conv} = \lambda * Nu_{conv} * \pi \quad (3.19)$$

Her düğüm için ısı ifadesi cebirsel olarak yazıldıktan sonra çözümlenebilmesi için matris yapısına çevrilir.

Şekil 3.13.'deki düğüm 1'deki iletim ve ışıınım yapısı için referans olan akı ya da sıcaklık sebebiyle joule kayıplarından (\dot{Q}_1) dolayı sistemin son vektöründe ısı üretimi olduğu görülür. Bu sıcaklıklar sabit olup ısının güç kaynağı vektörüne transferi kolaylaşmaktadır. İletim, ışıınım ve omik kayıp değişkenleri sıcaklığa bağlı olarak aşağıdaki iki yolu takip eder;

- Bu sistem katsayılarının sabit olduğu durumda çözülür ve sonrasında özvektör yöntemi kullanılır,
- Değişkenleri ele alıp ve Euler, Runge-Kutta gibi temel yöntemleri de kullanarak sistem çözüme ulaşır.

Şekil 3.15.'de Eigen vektörü ve iki sayısal yöntem olan Euler ve Runge-Kutta ile 30A ile beslenen 1.5 mm²'lik kablo karşılaştırılmıştır. Farklı çözünürlük derecesine sahip yöntemlerde ise sayısal sonuçlar birbirine yakın olmaktadır.

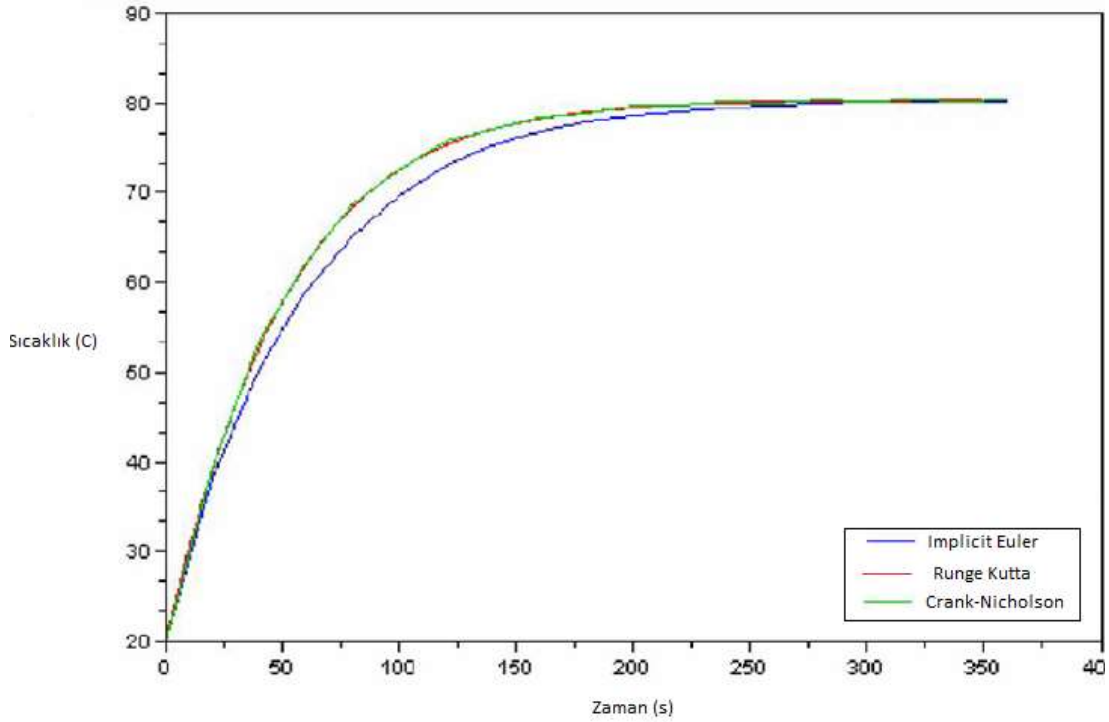


Şekil 3.15. T(t)'nin analitik ve nümerik yöntemler ile karşılaştırılması (Grandvullemin ve ark. 2007)

İncelenen yöntemlerden denklem 3.19’da gösterilen Crank-Nicolson doğru sonucu veren yöntemdir. Üstü kapalı bu yöntem sürekli kararlıdır. Hatta ikinci derecede Euler yöntemi ile kıyasladığımızda daha doğru sonuç verir.

$$[T_n^{i+1}] = \left[\left[\frac{[C_n]}{\Delta T} - \frac{[G_n]}{2} \right] \right]^{-1} * \left[[T_n^i] * \left[\frac{[G_n]}{2} + \frac{[C_n]}{\Delta T} \right] + [\dot{Q}_n] \right] \quad (3.19)$$

Şekil 3.16.’da birkaç sayısal metod karşılaştırılmıştır. Runge-Kutta çözünürlüğü 4. derecede olduğu yerde diğer üstü kapalı yöntemlerin zaman basamakları 20 saniyeye sabitken kesin referans basamak zamanı 1 saniye ile düşünülmektedir. Bu zaman basamağı farkına rağmen Crank-Nicolson yöntemi Runge – Kutta yöntemi ile çözünürlük süresinin az olduğu durumda en iyi hassaslığı yakalayarak yaklaşık benzer sonuçları verir. (Grandvullemin ve ark. 2007)



Şekil 3.16. T(t)’nin bazı nümerik yöntemler ile kıyaslanması (Grandvullemin ve ark. 2007)

3.3.Sonlu Elemanlar Yöntemi

Mühendislik problemlerinde çözüm için kullanılan kısmi diferansiyel denklem ya da fonksiyonları kısaltıp formüleştirelebilen ve çözümleri için yaklaşım yöntemi kullanılarak işlem yapılan sayısal yöntemle sonlu elemanlar yöntemi denir.

Bu yöntem; fizik ve matematiğin kullanıldığı, ısı transferi, akışkanlar mekaniği, gerilme analizi, darbe analizi, dalga yayılımı, elektrik ve manyetik alanların hesaplanması gibi konuların çözümünde kullanılır. Sonlu elemanlar yönteminin bir çok avantajı vardır. Karmaşık olan problemlerde karmaşıklığı alt sınıflara bölerek daha detaylı çözüme olanak sağlar, karmaşıklığın genelinde basite indirgemeye gerek kalmaz, matematiksel olarak genelleştirilip birden fazla problem için tek model kullanılabilir. Dezavantajları ise bazı problemlerde bulunan sınır koşullarının uygulanmasında ve ağ yapısının bölünmesinde bir takım zorluklar vardır. Problemlerin çözümünde doğru sonuçlara ulaşmak için uygulanacak ağ yapısında tecrübe gereklidir. Sonlu elemanlar yöntemini bilgisayar ortamında kullanmak üzere bir takım paket programlar geliştirilmiştir. Bu programların bir kaç tanesi Fortran, ABAQUS, ANSYS, Nastran, Patran, Marc'dır. Bu programlarda çözüm için problem geometrisi 3B olarak ya da istenen problem tipine göre 2B olarak CAD programlarınca ya da sonlu elemanlar yönteminin uygulandığı paket programların CAD araç kutusunda modellenir. Modellemenin ardından çözüm istenen karmaşık bölüm tüm karmaşık yapıya göre alt kısımlara ayrılarak ağ yapısına ayrılır. Karmaşık yapıyı alt birimlere ayırıp ağ yapısını olabildiğince az sayıda tutmak çözüm süresini kısaltır fakat beraberinde çözümlerde bulunan sonuçların hassasiyetinin düşebilmesi problemini de beraberinde getirir. Bu sebeple sonlu elemanlar yöntemi kullanılacak programın yüksek hızlı bilgisayarda yapılması çözüm süresi ve elde edilen sonucun doğruluğa ulaşması açısından önemlidir. Ağ yapısı uygulanan karmaşık yapıya sınır koşulları girilerek sonuca ulaşılır. Günümüzde bu programlar ile bulunan verileri, deneysel olarak ulaşılan sonuçları ve yapılan çalışmaları incelendiğimizde büyük doğruluk oranına sahip olduğu görülmektedir. (Moaveni 2015)

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Yapılan çalışmaların sonunda ortaya çıkan bulguların amacı, farklı ortam sıcaklıklarında kullanılacak solar kabloların en yüksek yüklenme koşulunda, kablo sıcaklık sınıfları dikkate alınıp akım taşıma kapasitesinin uygulama ve simülasyon ortamında belirlenmesidir.

4.1. Benzetim ile Yapılan Bulgular

Birtakım bulgular için matematiksel model üzerinde çalışılmıştır. Solar kablolardan geçebilecek en yüksek akım benzetim ile matematiksel olarak modellenmiştir. Modelleme için kablonun öz direnci üzerinden en yüksek direnci gibi hesaplanır. Akabinde iletken kesitine göre direncin hesaplama öncesi değeri denklem 4.1'deki gibi belirlenir. τ_{max} değeri denklem 4.2'de görüldüğü gibi öz dirence bağlı olarak hesaplanır. Sınır şartı olarak solar kablonun kullanılacağı ortamdaki sıcaklığı T_{Ortam} denklem 4.3'de yerine koyulur. Solar kablo üzerinden geçecek akım ve uygulanacak zaman da denklemde yerine koyulur.

Hesaplamalar sonucu denemeler yapılarak en az kablo sıcaklığı 100 °C'ye gelecek şekilde zaman sabitlenir ve akım değiştirilerek en yüksek akım taşıma kapasitesi elde edilir. Bu deneme yöntemini ortadan kaldırmak için denklem 4.3'deki parametreler excell'de yalnızca kablonun ulaşacağı en yüksek sıcaklık, ortam sıcaklığı ve akımın uygulanacağı zamanla bilgileri girilerek en yüksek akım kapasitesinin bulunması hedeflenmiştir. Benzetim ile modellemede kullanılan formüller şöyledir:

$$R_{kablo} = \frac{R_c^{1,275}}{354,8} \quad (4.1)$$

R_c Kesite göre kablo öz direnci, R_{kablo} en yüksek kesit direncidir.

$$\tau_{max Rc} = \frac{194,98}{R_c^{0,645}} \quad (4.2)$$

$\tau_{max Rc}$, zaman sabitidir.

$$Akım = \sqrt{\frac{(T_{Kablo} - T_{Ortam})}{R_{kablo} * \left(1 - e^{-\frac{zaman(sn)}{\tau_{max Rc}}}\right)}} \quad (4.3)$$

T_{Ortam} ortam başlangıç sıcaklığı, T_{Kablo} deney sonucu solar kablonun ulaşacağı sıcaklıktır.

Solar kablo kesitine ve zamana bağlı olarak benzetim ile çözümlenen en yüksek akım değerleri aşağıdaki çizelgelerde belirtilmiştir. Burada; 1.5 mm² için 20 °C - 100 °C, 40 °C - 100 °C ve 60 °C - 100 °C sıcaklık koşullarına göre zamana bağlı akım taşıma kapasitesi çizelge 4.1., 4.2. ve 4.3.'de gösterilmiştir. Diğer solar kablo kesitlerine ait hesaplanan değerler ek 4'de çizelgeler ile gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. 1.5 mm² kablo için 20 °C -100 °C arası akım taşıma kapasitesi

| 1.5 mm ² | 20 °C -100 °C |
|---------------------|---------------|
| Zaman (sn) | Akım (A) |
| 1 | 115 |
| 2 | 80 |
| 5 | 54 |
| 10 | 41 |
| 100 | 26 |
| 1000 | 24 |
| 3600 | 23 |

Çizelge 4.2. 1.5 mm² kablo için 40 °C -100 °C arası akım taşıma kapasitesi

| 1.5 mm ² | 40 °C -100 °C |
|---------------------|---------------|
| Zaman (sn) | Akım (A) |
| 1 | 98 |
| 2 | 69 |
| 5 | 46 |
| 10 | 36 |
| 100 | 22 |
| 1000 | 21 |
| 3600 | 20 |

Çizelge 4.3. 1.5 mm² kablo için 60 °C -100 °C arası akım taşıma kapasitesi

| 1.5 mm ² | 60 °C -100 °C |
|---------------------|---------------|
| Zaman (sn) | Akım (A) |
| 1 | 84 |
| 2 | 59 |
| 5 | 41 |
| 10 | 30 |
| 100 | 19 |
| 1000 | 17 |
| 3600 | 16 |

4.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile FV Kablolarının Simülasyonu

Yapılan çalışmada FV sistemlerde kullanılan farklı kesitlerdeki solar kabloların akım taşıma kapasiteleri zamana bağlı olarak deneysel ve benzetim ile belirlenmiştir. FV sistemlerin kullanıldığı ortamların sıcaklıkları kullanıldığı coğrafyaya göre değişiklikler göstermektedir. Bu da farklı sınır koşullarını oluşturmaktadır. Bundan dolayı B tipi -40 °C / +100 °C arasında çalışan solar kablolar üzerinde deneyler yapılmıştır. Bu solar kabloların en yüksek dayanabileceği sıcaklık 120 °C'dir. 120 °C'yi aşan solar kablolar deforme olup dış yalıtkanlarının erimesi de deneysel olarak gözlemlenmiştir. Benzetim ile yapılan çalışmada 3 farklı ortam sıcaklığına göre akım kapasiteleri belirlenmiştir. En yüksek sıcaklık 100 °C alınarak başlangıç sıcaklığı 20 °C, 40 °C ve 60 °C için üç farklı başlangıç koşulunda analiz yapılmıştır. Yapılan analizlerde 1 metrelik kablo örnekleri kullanılmıştır. Farklı kablo tipleri için farklı sürelerde akım uygulandığı varsayılarak sonuçlara elde edilmiştir. Akım uygulama süreleri her kablo için 1, 2, 5, 10, 100, 1000 ve 3600 saniye olarak belirlenmiştir. Uygulanan akım süresi boyunca solar kabloların üzerindeki termal değişimi ve bu termal durumun davranışı gözlenmiştir. Ek 4'deki tablolarda benzetim ile yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar görülmektedir.

Yapılan çalışmada bilgisayar yardımı ile solar kabloların ısıl analizi de yapılmıştır. Isıl analiz için ANSYS programının Mechanical APDL modülü kullanılmıştır. Yapılan deneylerde tek damarlı bakır iletkenli solar kablo örnekleri kullanılmıştır. Simülasyon

aşamasında izlenen adımlarda öncelikle ANSYS içerisinde Şekil 4.1.'de görüldüğü gibi geometrik model hem iletken hem de yalıtkanı kapsayacak şekilde oluşturulmuştur. Oluşturulan geometri alt geometrilere bölünerek sınır şartlarını da bu bölünmüş geometrilere uygulayarak analiz kolaylaştırılır. Yapılan çizimdeki tüm kablolar için kablo boyu 0.02 m, kablo iletken ve yalıtkan çapları ise malzemelerin ısı iletim katsayılarına bakılmaksızın standardın belirlediği ölçüler kullanılarak çizilmiştir.

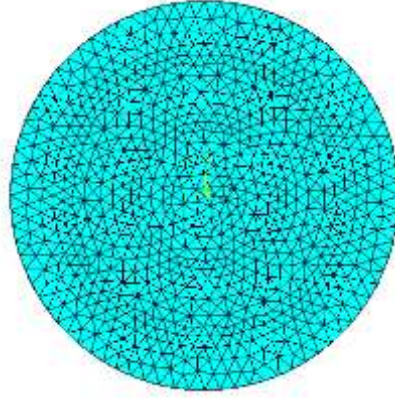


Şekil 4.1. Geometrinin hacimlere bölünmesi

Sonlu elemanlar metodu ile çözüm için geometrinin oluşmasından sonra bu geometri ağ yapısına bölünmelidir. Ağ yapısı içerisinde bulunan Şekil 4.2.'de gösterilen düğüm noktalarının sık olması ile çözümde elde edilen sonuçların hassasiyetinin artması doğru orantılıdır. Fakat dezavantaj olarak ağ yapısındaki düğümlerin fazla oluşu çözüm süresini uzatmaktadır. Bu sebeple geometrideki çözüm açısından öncelikli kısımlar daha sık ağ yapısına bölünürken diğer kısımlarda daha boşluklu yapı uygulanabilir. Şekil 4.3.'de kesitini aldığımız bakır iletkenli solar kablunun ağ yapısı uygulanmış şekli görülmektedir.

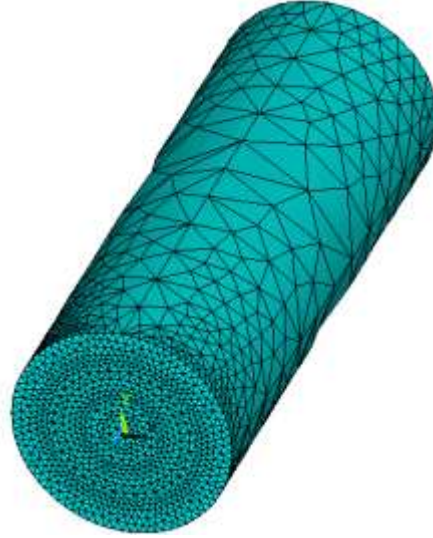


Şekil 4.2. Düğüm yapısı



Şekil 4.3. Ağ yapısına bölünen kablo kesiti

Şekil 4.4.'de ki yapıya baktığımızda geometrisi çizilerek ağ yapısı homojen bir biçimde oluşturulmayan bir yapı görülmektedir. Geometrinin kesiti çözüm açısından önemli olduğu için çözüm süresi kısaltılması adına kablo kesitine daha sık ağ yapısı uygulanarak homojen olmayan bir oluşum belirlenmiştir.



Şekil 4.4. Kablo geometrisi üzerine uygulanan ağ yapısı

Simülasyon için oluşturulan geometride bakır ve PVC malzemeler incelenmiştir. Bunun yanında analizin yapıldığı ortam da havadır. Bu sebeple analizde bu malzemelerin

termofiziksel özellikleri belirlenmelidir. Kullanılan malzemelerin termofiziksel özellikleri çizelge 4.4.' de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Kullanılan malzemelerin termofiziksel özellikleri

| Malzeme Adı | Yoğunluğu (kg/m ³) | Termal iletkenlik (W/mC) | Özgül ısı (J/kgC) | Özdirenç (Ω*m) |
|-------------|--------------------------------|--------------------------|-------------------|----------------------|
| Bakır | 8933 | 400 | 385 | 1.72 e ⁻⁸ |
| PVC | 1350 | 0.14 | 900 | - |
| Hava | 1.1614 | 0.026 | 1007 | - |

Simülasyonda yapılan hesaplamalarda ortaya çıkan ısı denklem 4.5.'deki gibi hesaplanabilir. Isının hesaplanmasında iki önemli parametre vardır. Bunlar, iletken direnci ve iletken üzerinden akan akımdır. Denklem 4.7.'de, iletken kabloda özdirenç ile birlikte kablonun boyu ve çapına göre direnci hesaplanabilmektedir. Direnç; çizilen geometri ölçüleri program tarafından otomatik olarak algılanarak tanımlanan özdirenç ile hesaplanabilir. Denklem 4.9'da ısı transferi için ortaya çıkan sıcaklık farkı hesaplanabilir. Sıcaklık farkı hedeflenen sıcaklık olan 100 °C'dir, başlangıç sıcaklığı ise 20 °C, 40 °C ve 60 °C olarak her bir analizde farklı olmak üzere üç farklı şekildedir.

$$Q_c = \alpha T_c I - 1/2 I^2 R - K \Delta T \quad (4.4)$$

$$\alpha = |\alpha_1| + |\alpha_2| \quad (4.5)$$

$$R = (\rho_1 + \rho_2) * L / A \quad (4.6)$$

$$K = (\lambda_1 + \lambda_2) * A / L \quad (4.7)$$

$$\Delta T = T_2 - T_1 \quad (4.8)$$

Q_c transfer edilen ısı miktarı,

α birleştirilmiş seedback katsayısı,

R elektriksel iç direnç,

K iç termal iletkenlik,

ΔT uygulanan sıcaklık farkıdır.

Kabloya uygulanan akımın iç direnç etkisiyle açığa çıkan ısının bakır kablo ve PVC arasında olan iletimle ısı transferi ve PVC ile ortam arasındaki taşınım ile olan ısı transferinin toplamı denklem 4.9'da hesaplanmaktadır.

Güç girişi P,

$$P = \alpha * I * (\Delta T) + I^2 * R \quad (4.9)$$

Analizin performans katsayısı ortaya çıkan ısı ve gücün birbirine oranı şeklinde denklem 4.10'deki gibi hesaplanır.

Performans katsayısı β ise,

$$\beta = Q_c / P \quad (4.10)$$

Daha önce benzetim ile yapılan çalışmada kablolar için akım taşıma kapasitelerini hesaplanmıştır. Bu çalışmanın doğruluğu için simülasyon ortamında yapılan denemelerde daha önce belirlenen akımların belirli düzeltme faktörleri ile çarpılmasıyla sonuca ulaşıp akımlar belirlenmiştir.

Simülasyon çalışması esnasında öngörülen sıcaklık değeri girilip analize bir kısıtlama yapılmadığı için akımlar denenerek sınır şartları ve başlangıç koşulları sabit tutularak sadece akım değeri değiştirilip elde edilmiştir. Sonuçların benzetim ile elde edilmiş sonuçlarla oranlanmasıyla düzeltme faktörleri Çizelge 4.5, 4.6 ve 4.7'de görüldüğü gibi elde edilmiştir. Burada;

D: Deneysel,

B: Benzetim,

D.F: Düzeltme faktörüdür.

Çizelge 4.5. 1.5 mm² kablo için 20 °C -100 °C arası akım taşıma kapasitesi

| 1.5 mm ² | Sıcaklık 20-100 | | |
|---------------------|-----------------|------|------|
| Zaman(sn) | D(A) | B(A) | D.F. |
| 1 | 178 | 109 | 1,63 |
| 2 | 121 | 73 | 1,57 |
| 5 | 78 | 49 | 1,51 |
| 10 | 54 | 37 | 1,46 |
| 100 | 30 | 22 | 1,33 |
| 1000 | 25 | 20 | 1,17 |
| 3600 | 21 | 19 | 1,01 |

Çizelge 4.6. 1.5 mm² kablo için 40 °C -100 °C arası akım taşıma kapasitesi

| 1.5 mm ² | Sıcaklık 40-100 | | |
|---------------------|-----------------|------|------|
| Zaman(sn) | D(A) | B(A) | D.F. |
| 1 | 151 | 89 | 1,63 |
| 2 | 107 | 67 | 1,57 |
| 5 | 67 | 44 | 1,51 |
| 10 | 48 | 32 | 1,46 |
| 100 | 26 | 19 | 1,33 |
| 1000 | 22 | 18 | 1,17 |
| 3600 | 19 | 18 | 1,01 |

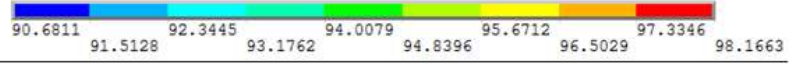
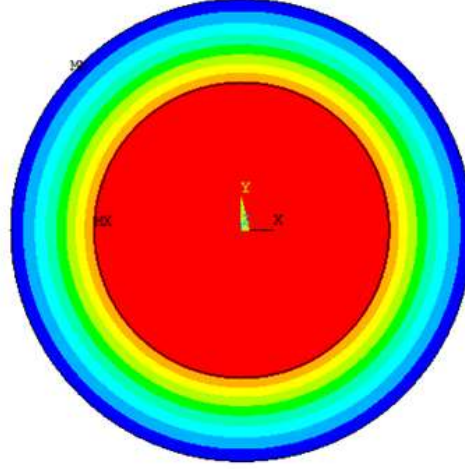
Çizelge 4.7. 1.5 mm² kablo için 60 °C -100 °C arası akım taşıma kapasitesi

| 1.5 mm ² | Sıcaklık 60-100 | | |
|---------------------|-----------------|------|------|
| Zaman(sn) | D(A) | B(A) | D.F. |
| 1 | 127 | 77 | 1,63 |
| 2 | 88 | 55 | 1,57 |
| 5 | 56 | 36 | 1,51 |
| 10 | 41 | 27 | 1,46 |
| 100 | 22 | 16 | 1,33 |
| 1000 | 18 | 15 | 1,17 |
| 3600 | 17 | 15 | 1,01 |

Sınır koşulları girilen 1.5mm² kesit alanına sahip bakır iletkenli solar kabloya 1000 saniye süresince 20 °C başlangıç ortamında, 12 V gerilim ve çizelge 4.1’de gösterilen 24 A akım değeri girilmiştir. 1000 saniye işlem süresini kısaltmak amacıyla alt zaman dilimleri 50 eşit parçaya bölünerek 20 saniyede bir yakınsama yapılmıştır. Ağ yapısının sık olması nedeniyle yakınsama 2 ile 5 deneme arasında her çözüm basamağı için elde edilmiştir. İşlem sonunda elde edilen solar kablo kesitinin sıcaklık dağılım görüntüsü Şekil 4.5.’deki gibi elde edilmiştir.

```
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =10
TIME=3600
TEMP (AVG)
RSYS=0
SMN =90.6811
SMX =98.1663
```

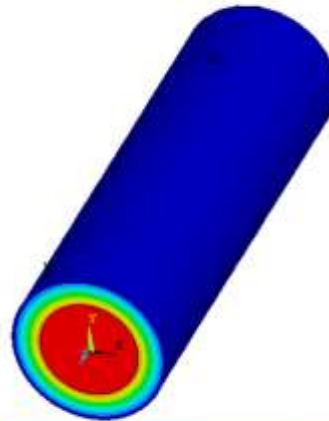
ANSYS
R15.C



Şekil 4.5. 1.5 mm² Kesiti analiz sonucu sıcaklık dağılımı

Solar kablunun kesit görüntüsü analiz için önemlidir. Fakat ağ yapısının kablo boyunca sık olmadığı göz önüne alındığında kablo boyunca meydana gelen sıcaklık dağılımının incelenmesi açısından 3B kablo görüntüsü de alınmıştır. Şekil 4.6.'da görüldüğü gibi kablo boyunca sıcaklık değişimi sabit olduğu, yalnızca kablo kesiti boyunca değişimin olduğu görülmektedir.

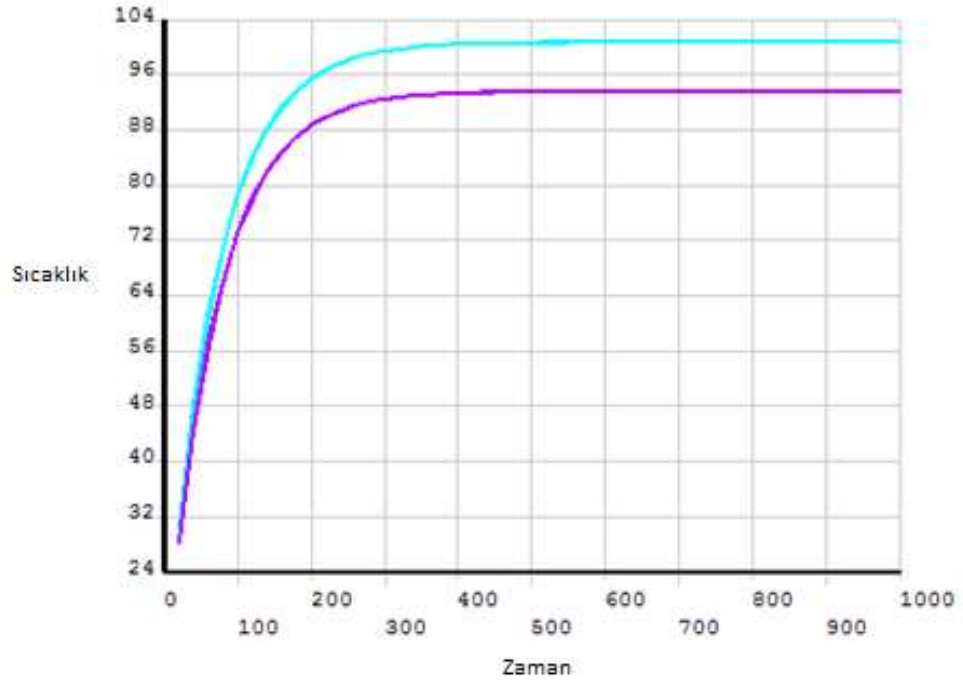
```
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =50
TIME=1000
TEMP (AVG)
RSYS=0
SMN =93.6361
SMX =101.422
```



Şekil 4.6. Analiz sonucu kablunun 3 boyutlu görünümü

Simülasyon sonucunda solar kablo kesiti incelenmiş ve ardından daha ayrıntılı sıcaklık dağılımı görmek amacıyla sıcaklığın zamana göre değişimini incelemek için solar kablunun iletkeni olan bakırın merkez noktasında bir tane düğüm noktası ve yalıtkan malzemesi olan PVC'nin çapının en dış noktasından bir tane düğüm noktası seçilmiştir. Analizin başladığı andan itibaren ortam sıcaklığı, kabloya uygulanan akım ve gerilim değerleri sabit tutulup sadece zaman değişmektedir. Zamana bağlı olarak iletken ve yalıtkan kesit üzerindeki sıcaklık değişimi Şekil 4.7.'de gösterilmiştir. Şekil 4.7.'yi incelendiğimizde 200. saniyeye kadar akımın etkisiyle kablunun iletken ve yalıtkan kısımlarında meydana gelen sıcaklık değişimi yüksek iken, yaklaşık 300. saniyeden itibaren kablo sürekli durum haline geçerek sıcaklık değişimi en az seviyede değiştiği görülebilmektedir.

Bakır-merkez
İzolasyon-pvcdis

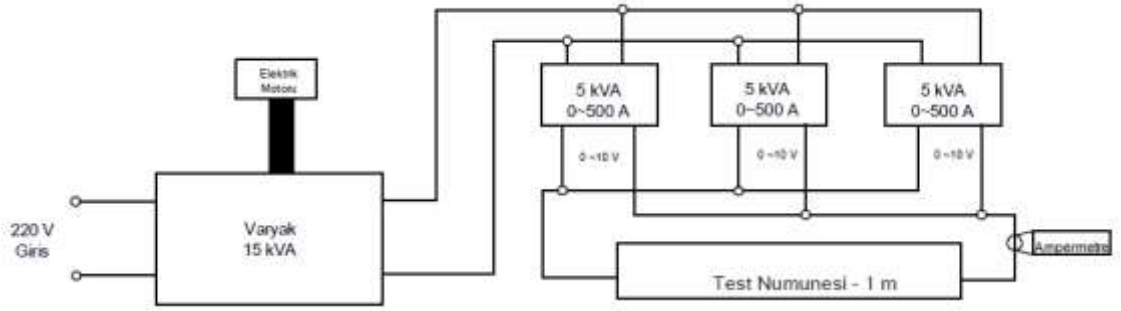


Şekil 4.7. 1.5 mm² kesitli kablo için zaman-sıcaklık dağılımı

4.3. Deneysel Çalışma

Çalışmanın deneysel düzeneği Şekil 4.8.'deki gibi tasarlanıp uygulanmıştır. Deney düzeneği üç adet paralel transformatörün bağlanmasından oluşmaktadır. Bu şekilde yapılmasının sebebi çok büyük tek bir transformatörün taşınması ve yerleşimi zor olacağından, daha düşük güce sahip transformatörleri paralel bağlayıp güç ve akım seviyesini arttırmak içindir. Kullanılan her transformatör 5 kVA 'lık kompleks güce sahiptir. Her bir transformatörün çıkış akımı 0 ile 500 amper arasında, gerilimi ise 0 ile 10 V arasında değişmektedir. Bu sayede test numunesi üzerine 1500 ampere kadar uzun süreli akım uygulanabilmektedir. Ancak kısa süreli 1 ~ 2 saniye için geçici akımlarda bu akım düzeyi 5000 ~ 6000 amper seviyelerine çıkabilmektedir. Deney için gerekli gerilim tek faz şehir şebekesinden alınmıştır. Bu sebeple gelen gerilimi trafolarla göndermeden önce ayarlamak üzere 15 kVA'lık güce sahip varyak kullanılmıştır. Varyağın kullanılmasının sebebi numune üzerinde test yapılırken, numuneye uygulanacak akım değişken olacağından bu değişimi varyak ile sağlamaktır.

Varyak girişi 220 V olacak şekilde sabitken, çıkışı 0 – 220 V arasında ayarlanabilmektedir. Numune üzerine düşen akımı ayarlamak için varyak üzerine elektrik motoru yerleştirilmiştir. Ancak istenildiği takdirde elektrik motoru yerine dümen takılarak yine akım değeri bu dümen vasıtasıyla el ile ayarlanabilmektedir. Deney süresince numunelere verilecek akım hassasiyeti 1 A olduğu için elektrik motoru yerine dümen tercih edilmiştir. Deney düzeneğinde numune üzerine giden iki kol üzerinde bulunan iki adet ampermetre bulunmaktadır. Bu ampermetrelerden iki tane olması okunan değerlerin doğruluğunu tespit etmek amacıyla konulmuştur. Deneyler başlamadan önce bir adet kablo üzerine uygulanan akım ile ampermetrelerde okunan değerlerin farklı olmadığı gözlemlenmiştir. Okuduğu değerlerin doğruluğu onaylanan ampermetrelerden bir tanesi deney boyunca kullanılmıştır.



Şekil 4.8. Deney düzeneği blok şeması



Şekil 4.9. Deney düzeneği

Kısa devre durumunda yapılacak olan deneye numunelerin yerleşimi için transformatörlerden gelen iki ana uca ayrı ayrı Şekil 4.10.'da görüldüğü gibi pirinçten imal edilmiş yüzey alanı büyük pabuçlarla kablo bağlantı noktaları sabitlenmiştir.



Şekil 4.10. Deney başlangıcı

Deneysel çalışmada akım kapasitesinin belirlenmesinin yanı sıra B tipi bakır kabloların akım taşıma kapasitesi sınırının üzerinde akım verildiğinde meydana gelecek deformasyonun gözlemlenmesi de amaçlanmıştır. Bu kapsamda Şekil 4.10.'da görüldüğü gibi yerleştirilen 6 mm^2 'lik kesite sahip bakır kablo üzerine yaklaşık 200 saniye boyunca 133 A akım uygulanmıştır. Bu kesit ve akım için uygulanması gereken süre 100 saniye olarak belirlenmiştir. Ancak deformasyonu gözlemlemek için sınır değerlerinin üzerine çıkılmıştır. Şekil 4.11.'de gösterilen deney 1. aşamada 100 saniyenin üzerinde aynı akım verilmeye devam edilmiştir. Solar kablo $115 \text{ }^\circ\text{C}$ ulaştığında kablo yalıtkan malzemesinde genleşmeler oluşmaya başlamıştır.



Şekil 4.11. Deney 1. aşama

Şekil 4.12.'de görülen deney 2. aşamasında akım verilmeye devam edilmektedir. Kablo sıcaklığı yaklaşık $125 \text{ }^\circ\text{C}$ 'e geldiğinde kablo boyunca yalıtkan malzemesi olan PVC'nin genleşme miktarı daha görünür hale gelmektedir ve kablo uçlarında test düzeneğinden gelen ana kablolarla bağlantı kısımlarında duman oluşumu görülmüştür.



Şekil 4.12. Deney 2. aşama

Şekil 4.13.'de görülen deney 3. aşamada akım sabit tutularak kablo üzerine verilmeye devam edilmektedir. Kablo sıcaklığı yaklaşık 140 °C'e geldiğinde kablonun hemen hemen her noktasından dumanların çıktığı gözlenmiştir. Kablo içerisinde bulunan iletken, etrafındaki yalıtkan PVC malzemenin bazı kısımlarda eriyerek bakırdan ayrılmaya başlamıştır.



Şekil 4.13. Deney 3. Aşama

Şekil 4.14.'de görüldüğü gibi kablo 145 °C'a geldiğinde PVC yalıtkan malzemesi tamamen erimekte ve aşırı deformasyondan dolayı bakırı iletkenliğinin devam etmesine rağmen kullanılamaz hale gelmiştir. Yukarıda bahsedilen adımlar ile ayrıca test düzeneğinin çalıştığı da test edilip kullanılabileceğine karar verilmiştir.



Şekil 4.14. Aşırı akım sonrası deforme olan kablo

Deney düzeneğinin de çalıştığı test edildikten sonra 1.5 mm², 2.5 mm², 4 mm² ve 6 mm² tek damarlı bakır iletkenli solar kablolarının akım taşıma kapasitesi deneyi yapılmıştır. Deney süresince başlangıç ortam sıcaklığı 20 °C kabul edilmiştir ve uygulanan süre sonunda kablonun yatay kesiti 100 °C sıcaklığa gelinceye kadar deneyler tekrarlanmıştır. Deneyler 1, 2, 5, 10, 100, 1000 ve 3600 saniye olmak üzere 7 farklı süre için uygulanmıştır. Benzetim ile belirlenen değerden yola çıkılarak bilgisayar ortamında simülasyonlar ile elde edilen sonuçlar arasına düzeltme faktörü ilave edilmiş olup bu değerlerin deneyleri yapılmıştır.

Deney çalışmalarında kullanılan diğer kablo tipi de ek noktasına sahip solar kablolardır. Bu kablolarda eşit uzunlukta ve kesite sahip üç adet bakır kablo toplam boyu 1 metre olacak şekilde iki adet ek noktasıyla birbirlerine bağlanmıştır. Aynı tip solar kablolar üzerinde yapılan bu çalışmadaki amaç; ek yapılan noktalarında oluşan dirençle birlikte kablo üzerinde meydana gelen sıcaklık artışı ve ek olmayan yerlere oranla bu sıcaklığın hangi oranda farklılıklar göstereceğini tespit etmektir.

Şekil 4.15.'de deney düzeneğine yerleştirilen örnekte 2.5 mm² kesitli eşit uzunluklu üç adet bakır kablonun eklenmesiyle oluşturulan numune deney düzeneğine yerleştirilmiştir. İzlenen yöntem yine diğer kablolarda olduğu gibi aynı şekildedir. 1, 2, 5, 10, 100, 1000 ve 3600 saniye boyunca 2.5 mm²'lik bakır kablo için tespit edilen akım değeri bu deney için uygulanmıştır.



Şekil 4.15. Ek yerine sahip bakır kablolar

Deneysel çalışmaların tümünde sıcaklık takibi 160 x 120 IR sensör çözünürlüğüne sahip, -20°C ile +350°C arasında ölçüm yapabilen, 9 Hz resim yenileme hızına sahip yalnızca fotoğraf çekip ses kayıt edebilme özelliği olan termal kamera ile izlenerek veriler kaydedilmiştir.



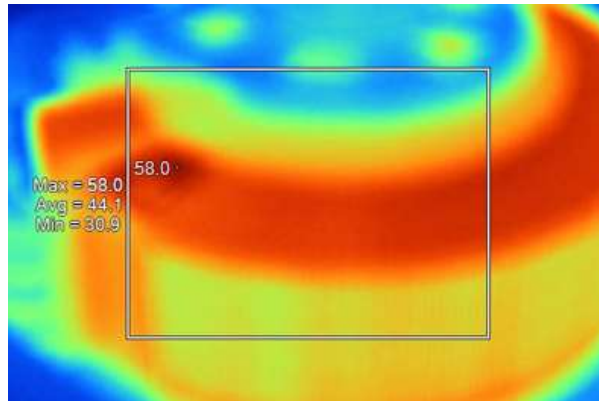
4.4. Bulgular

Deneysel olarak akım taşıma kapasitesini belirlenmek amacıyla tespit edilen 20 °C başlangıç koşullarında bulunan 1 metre uzunluğa sahip bakır kabloların 1.5mm² için sol bağlantı noktası, kablo merkezi ve sağ bağlantı noktalarındaki sıcaklık değişimi karşılaştırmak amacıyla zaman ve akımla ilişkisi çizelge 4.8'de gösterilmektedir. 1.5 mm², 2.5 mm², 4 mm² ve 6 mm² kablolarının zaman, akım taşıma kapasitesi ve sıcaklık ilişkileri ek 4'de çizelgeler şeklinde verilmiştir.

Çizelge 4.8. Akım değerlerine göre 1.5 mm² kesitli kablo üzerinde oluşan sıcaklıklar

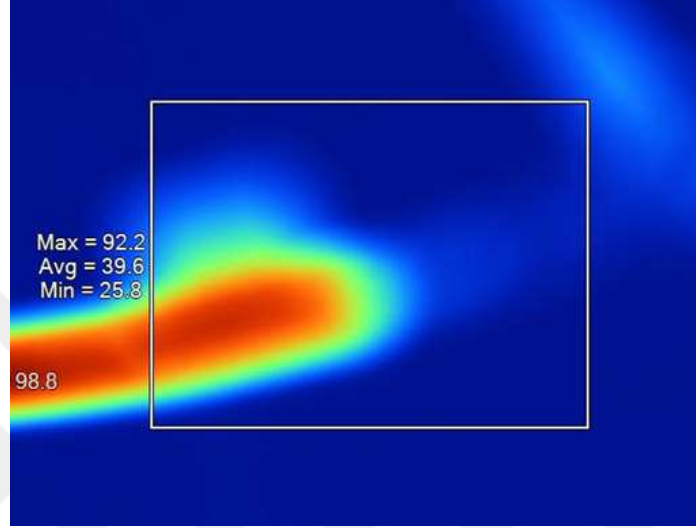
| 1.5 mm ² | | | | |
|---------------------|---------|---------------|------------|---------------|
| Zaman(sn) | Akım(A) | Sol Pabuç(°C) | Merkez(°C) | Sağ Pabuç(°C) |
| 1 | 180 | 103 | 95 | 101 |
| 2 | 125 | 100 | 95 | 99 |
| 5 | 79 | 102 | 96 | 100 |
| 10 | 57 | 100 | 97 | 100 |
| 100 | 31 | 102 | 97 | 100 |
| 1000 | 26 | 102 | 98 | 101 |
| 3600 | 23 | 101 | 98 | 102 |

Termal kamera ile yapılan Şekil 4.16.'deki ölçümde kablonun deformasyon gözlem deneyinin ardından varyakta meydana gelen ısı dağılımı incelenmiştir. En yüksek sıcaklık 58 °C olarak saptanmıştır ve diğer deneyler için deney düzeneğinin çalışabilir olduğuna karar verilmiştir.



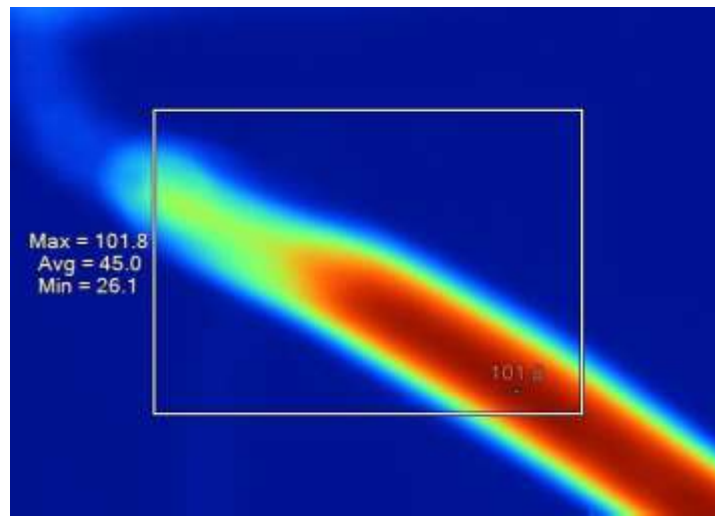
Şekil 4.16. Deney sonrası varyak üzerinde oluşan sıcaklık dağılımı

6 mm² kesite sahip kabloya uygulanan deformasyon inceleme deneyinde 133 A akım verilen kablo üzerinde farklı sürelerde çekilen termal görüntüler aşağıda verilmiştir. Normal şartlarda 100 saniye uygulanması gereken deney süresi 200 saniye seviyesinde tutulmuştur. Deneyin 80. saniyesinde Şekil 4.17.'de görülen sağ uçta 98.8 °C' lik sıcaklığa ulaşılmıştır.



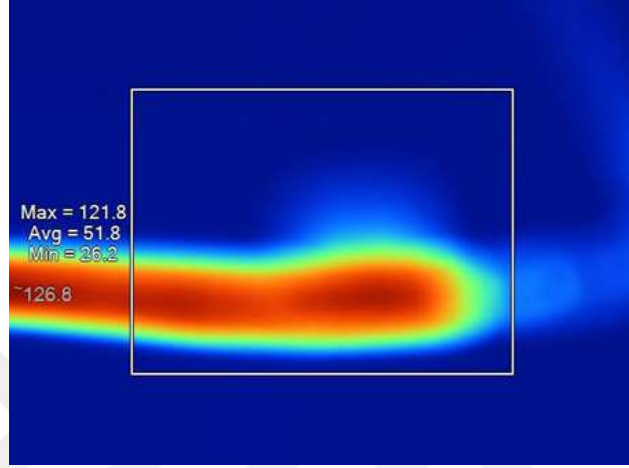
Şekil 4.17. 6 mm² kablonun 80 saniyede sağ uçta meydana gelen sıcaklık dağılımı

Aynı numunenin deneyinde 80 saniye sonunda sol uçtaki en yüksek sıcaklık Şekil 4.18.'de görüldüğü gibi 101.8 °C' a yükselmiştir.



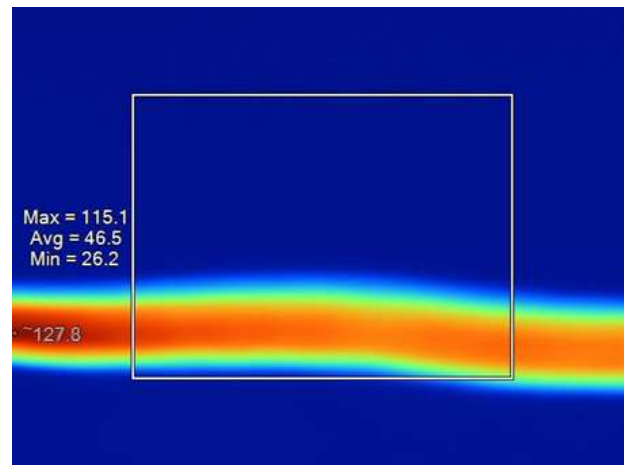
Şekil 4.18. 6 mm² kablonun 80 saniyede sol uçta meydana gelen sıcaklık dağılımı

6 mm² kesitli B tipi kablo için en yüksek sıcaklık 100 °C iken en yüksek ulaştığı sıcaklık 125 °C 'a çıkabilir. Ancak bu sıcaklık üzerine çıkılması durumunda kablo tekrar kullanılmamalıdır. Şekil 4.19.'da bu kabloya 133 A akım 150 saniye boyunca verildiğinde merkez kısmında 126.8 °C ulaşan en yüksek sıcaklık görülmektedir.



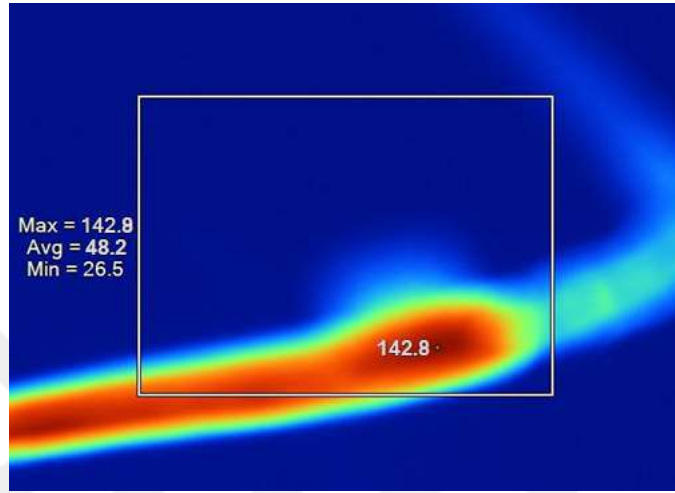
Şekil 4.19. 6 mm² kablonun 130 saniyede sağ ucunda meydana gelen sıcaklık dağılımı

Merkez noktanın da 125 °C seviyesine yaklaşması için 150. saniyeye kadar bu akım kabloya verilmeye devam edilmiştir. Elde edilen bulguda Şekil 4.20.'de kablo 127.8 °C'a kadar ısındığı gözlemlenmiştir.



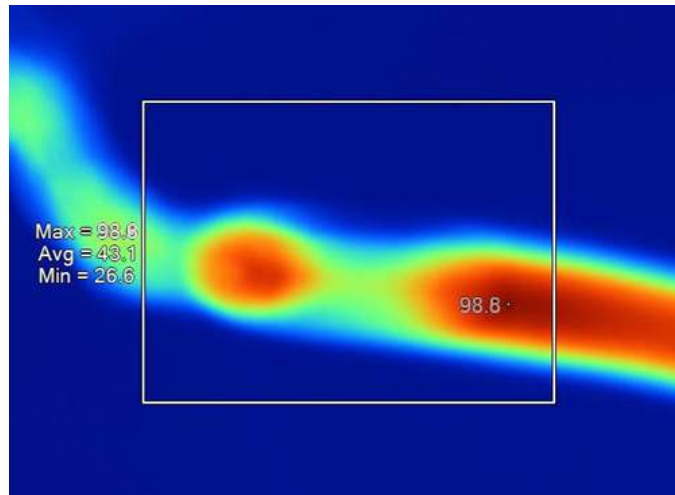
Şekil 4.20. 6 mm² kablonun 150 saniyede merkezde meydana gelen sıcaklık dağılımı

Deformasyonu incelemek için 180. saniyeye kadar sabit 133 A akım vermeye devam edilmiştir. Bu süre sonunda sağ uçta 142.8 °C sıcaklığa ulaşılmıştır. Bu sıcaklıkla birlikte kablo izolasyon malzemesi eriyerek deforme olmuştur ve deney sonlandırılmıştır.



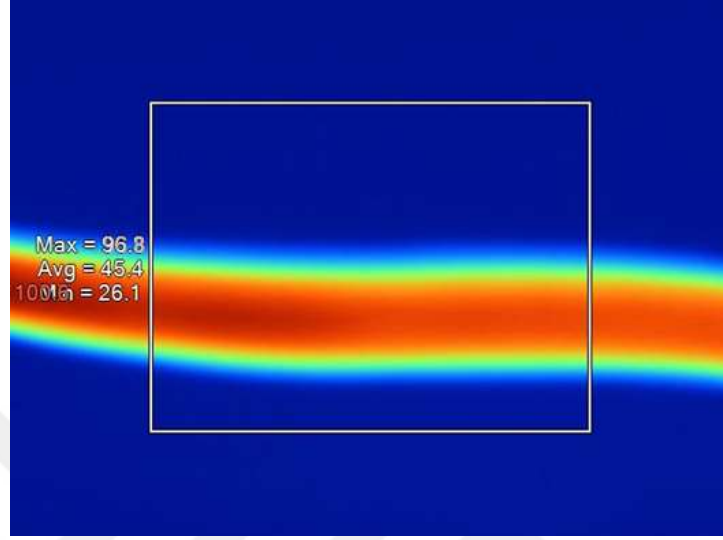
Şekil 4.21. 6 mm² kablonun 180 saniyede sağ uçta meydana gelen sıcaklık dağılımı

Bu kısımda daha önce simülasyonundan bahsedilmiş 1.5 mm² bakır kablo üzerinde yapılan deneyin termal görüntüleri bulunmaktadır. Kablo üzerine 1000 saniye boyunca 26 A verilerek yapılan deneyde sol bağlantı ucunun görüntüsü Şekil 4.22.'de gösterilmiştir. En yüksek sıcaklık 98.8 °C olarak kaydedilmiştir.



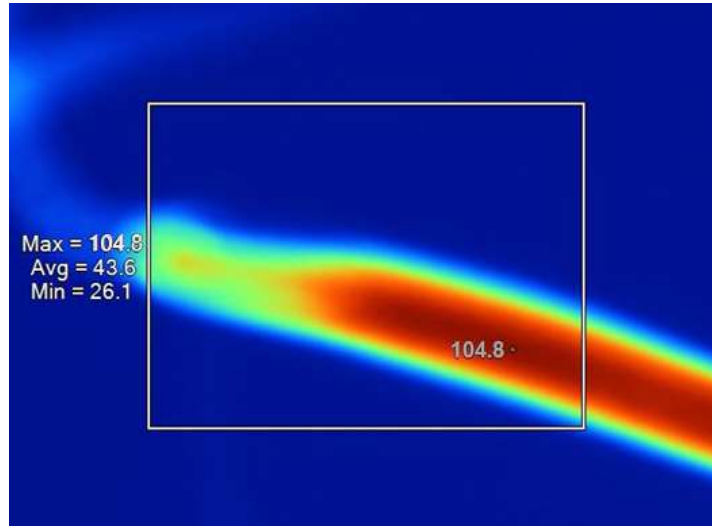
Şekil 4.22. 1.5 mm² kablonun 1000 saniyede sol uçta meydana gelen sıcaklık dağılımı

1.5 mm² 'lik kablonun merkezi 100.6 °C olarak ölçüldüğünde sol uçtaki sıcaklıkta nihai olarak Şekil 4.24.'de görüldüğü gibi 104.8 °C değerine ulaşmıştır.



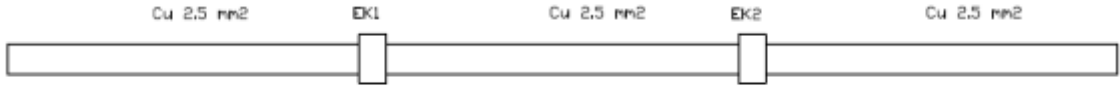
Şekil 4.23. 1.5 mm² kablonun 1000 saniyede merkezde meydana gelen sıcaklık dağılımı

Şekil 4.23.'de merkez sıcaklığı 96.8°C'e geldiğinde sağ uçta ölçülen en yüksek sıcaklık 104.8 °C olarak Şekil 4.24.'de görülmektedir.



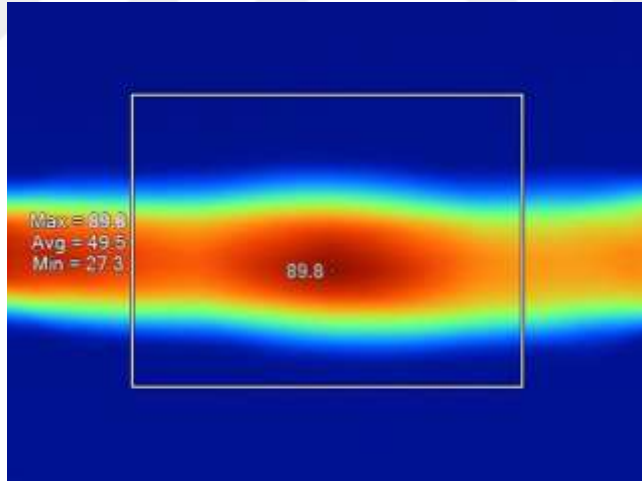
Şekil 4.24. 1.5 mm² kablonun 1000 saniyede sağ uçta meydana gelen sıcaklık dağılımı

Deneysel olarak incelenmiş bir diğer tipte ek noktalara sahip Şekil 4.25.'de görülen ek noktalara sahip kablodur. Ek noktası 1 ve ek noktası 2 ölçüleri ve tipleri aynı olup numunenin toplam uzunluğu 1 metreden oluşmaktadır.



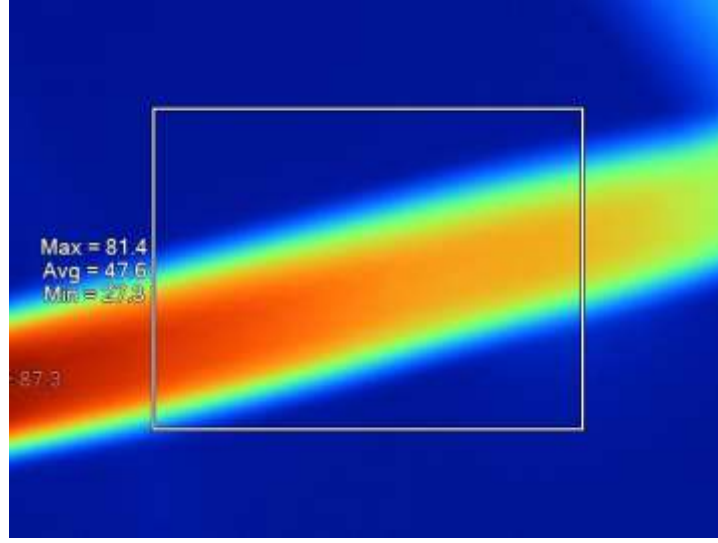
Şekil 4.25. 2.5 mm² kesitli ek noktalarına sahip bakır numune

Şekil 4.25.'de görülen termal resimde 2.5 mm²'lik kabloya 100 saniye boyunca 64 A akım uygulanmıştır. Ancak alınan görüntüler yaklaşık 80 saniye seviyesinde çekilmiştir. Bu sayede ek noktasındaki kablo ile diğer kısımdaki noktalar arasındaki sıcaklık farkları daha net şekilde görülebilmektedir. Uygulanan akım değerleri simülasyon aşamasında elde edilen 2.5 mm²'lik bakır kablo için elde edilen değerlerdir. Uygulama süreleride tüm deneydeki kabloları uygulanan standartlar çerçevesinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.26. 2.5 mm² ek yerine sahip kablonun merkez sıcaklık dağılımı

Merkez noktasında 89.8 °C sıcaklığa sahip olan kablo 80 saniyede sol ucunda 87.3 °C'lık sıcaklığa sahip olduğu Şekil 4.27.'de görülmektedir.



Şekil 4.27. 2.5 mm² ek yerine sahip kablonun sağ uctaki sıcaklık dağılımı

Deneysel olarak 2.5 mm²'lik kablo nun ek yeri ve diğer noktalarının sıcaklığının akım ve zamanla değişimi çizelge 4.9.'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. 2.5 mm² Ek yerine sahip kablonun sıcaklık-akım ilişkisi

| Zaman(sn) | Akım(A) | Cu (2.5mm ²) (°C) | Ek1(C) | Cu (2.5mm ²) (°C) | Ek2(°C) | Cu (2.5mm ²) (°C) |
|-----------|---------|-------------------------------------|--------|-------------------------------------|---------|-------------------------------------|
| 1 | 520 | 81 | 106 | 81 | 104 | 81 |
| 2 | 364 | 83 | 108 | 82 | 106 | 84 |
| 5 | 225 | 86 | 110 | 83 | 108 | 88 |
| 10 | 154 | 90 | 103 | 92 | 102 | 89 |
| 100 | 64 | 95 | 102 | 96 | 99 | 95 |
| 1000 | 54 | 98 | 100 | 96 | 100 | 97 |
| 3600 | 48 | 98 | 101 | 97 | 100 | 97 |

5. SONUÇ

Bu çalışmada, aynı kordinatlarda olmak suretiyle farklı rakımlarda kurulacak FV panellerin ömrünü UV ışınlar, nem yoğunluğunun ve sıcaklık değişimlerinin nasıl etki gösterdiği incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar şöyledir:

GES kurulmadan önce, santralin kurulumu için düşünülen bölgesinin GES için uygun koşulları taşıması gerekmektedir. Doğal koşullar ve sistem problemlerinden kaynaklı olumsuzluklar nedeni ile fotovoltaik panel ömründe azalma meydana gelmektedir. Fotovoltaik panel ömründe azalmaya neden olan UV ışınlarının etkisi araştırılıp tespitler incelenmiştir. Araştırma sonucunda Şekil 3.3.'teki sonuçlar elde edilmiştir. Burada; 835 metre yükseklikte bulunan panellerin ömürleri deniz seviyesinde bulunan panellerin ömürlerine oranla yaklaşık %5,6'lık bir azalma olacağı belirlenmiştir.

Nem; hava geçiren arka tabakalar veya etilen vinil asetat (EVA) tabakalar aracılığıyla FV panel içerisine nüfuz ederek korozyona neden olabilecek elektrokimyasal tepkimelere yol açabilmektedir. Bu yüzden GES'in kurulacağı bölgede nem yoğunluk oranları araştırılmıştır. Sonuç olarak 835 metre yükseklikteki nem yoğunluğunun deniz seviyesine oranla daha az olduğu tespit edilmiş ve Şekil 3.6.'da görüldüğü gibi 835 metre yükseklikteki FV panel ömründe deniz seviyesinde bulunan panel ömrüne oranla %5,8'lik bir artma olacağı belirlenmiştir.

FV paneller yüksek sıcaklıklara uzun süre maruz kaldığında o andaki verimlerinde düşüşler oluşabilmektedir. Ayrıca panel yapılarında da kalıcı bozulmalar (Hot Spot Etkisi) meydana gelebilmektedir. GES'in kurulacağı yerin 835 metre seçilmesinin nedeni Şekil 3.8.'de görüldüğü gibi o bölgenin sıcaklığının düşük oluşu bölgenin kendi doğal serinliğindedir. 3 farklı yükseklik için sıcaklığa maruz kalma sürelerinin FV panellerin ömrüne etkisi araştırılmış ve sonuç olarak 835 metre yükseklikteki FV panel ömürlerinin, deniz seviyesinde bulunan FV panellere oranla %10 daha uzun olacağı belirlenmiştir.

FV panellerin ömrüne etki eden UV ışınların, nemin ve ısı çevrimlerin toplam etkisi göz önüne alınarak aynı enlem ve boylamda bulunan 3 farklı rakımdaki FV panellerin

ömürleri kıyaslanmış olup 835 m yükseklikte bulunan panellerin ömrünün 25 yıl, deniz seviyesinde kurulan panellerin ömrünün 24,5 yıl ve 2000 m yükseklikte kurulan panellerin ömrünün de 22,5 yıl olacağı sonucuna varılmıştır.

Tek damarlı bakır iletkenli solar kablolardaki akım taşıma kapasitesini belirlemek amacıyla benzetim, deneysel ve bilgisayar yardımı ile simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Benzetim ile yapılan çalışmada solar kablo kesitlerine göre akım taşıma kapasiteleri matematiksel hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler benzetim ortamında denemeleri yapılarak bu değerlere düzeltme faktörü eklenmiştir. Bu sayede gerçek akım taşıma kapasitesi değerleri benzetim ortamında doğrulanmıştır. Simülasyonun tamamlanmasının ardından deneysel olarak elde edilen akım değerleri solar kablolar üzerine belirlenen zaman boyunca uygulanmış ve bulgular elde edilmiştir.

GES santralinde kullanılan bakır kablolardaki akım taşıma kapasitesi yapılan çalışma sonucu bazı değişkenlere bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. Akım taşıma kapasitesi için en önemli değişken ortamın sıcaklığıdır. FV sistemlerde kullanılan solar kabloların en az ve en fazla çalışma sıcaklıkları standartlara göre belirlenmiştir. Bundan dolayı B tipi kablo için başlangıç sıcaklığı ve kablonun ulaşacağı en fazla sıcaklık olan 100 °C için arasındaki fark ne kadar fazla ise kapasite o kadar artacaktır. 20 °C de yapılan deney için; 40 °C ve 60 °C için elde edilen bulgularla kıyaslandığımızda, akım taşıma kapasitesi daha fazla olduğu görülmektedir. Bu duruma bakarak ortam sıcaklığı ile akım taşıma kapasitesinin ters orantılı olduğu görülmüştür.

Solar kablolar üzerindeki termal davranışı incelendiğimizde; uygulanan akım süresi arttıkça (1000 saniye ve sonrası için) sıcaklık artış oranı azalmıştır. Kablonun üzerindeki ısı transferi süreklilik göstermiştir.

Farklı iletken kesitli solar kablolar ile elde edilen sıcaklık değerlerine bakıldığında, kesit arttıkça uygulanan akım süresince kablonun merkez ve uçları arasındaki sıcaklık farkı zamanla azalmaktadır. Tespitlerde görüldüğü üzere kesiti büyük olan kabloya kısa süre uygulanan akım ile merkez noktadan sağ-sol uçların arasındaki sıcaklık farkı %13'e kadar daha farklı iken, daha küçük kesitli kablolarda merkez ve uçlar arasındaki sıcaklık

farkı %9'a kadar farklı olduğu görülmüştür. Ayrıca uygulanan akım süresi arttıkça merkez ve uçlar arasındaki sıcaklık farkları tüm kablo tiplerinde azalmıştır. 1000 saniye ve 3600 saniye akım uygulanarak yapılan deneylerde merkez ve uçlar arasındaki sıcaklık farkı %4'e kadar düştüğü görülmüştür.

Ek içeren solar kablolarda kontak bölgesindeki direnç yaklaşık %1 artmaktadır. Bu yüzden ortaya çıkan ısı orantılı olarak artarak daha kısa sürede sıcaklığın artmasını beraberinde getirmiştir. Kısa süreli yapılan deneylerde ek bölgesi ve diğer bölgelerdeki sıcaklık farkları %20'ye ulaşırken, uzun zaman diliminde yapılan deneyde bu sıcaklık farkı en yüksek %3'e ulaştığı gözlemlenmiştir.



KAYNAKLAR

- Anonim, 2002.** Focus wiring diagrams. Ford Werke AG 2003. Germany.
- Anonim, 2010.** Electrical wiring diagrams section 5. Ford Motor Company Ltd, Unites States of America
- Anonim, 2011.** Thermal imaging guidebook for building and renewable energy applications. (Erişim tarihi: 24.06.2018)
- Anonim, 2013.** ANSYS Mechanical APDL Coupled- Field Analysis Guide. (Erişim tarihi: 09.03.2018)
- Anonim, 2015.** Electromagnetic compability specification for electrical / electronic components and subsystems. (Erişim tarihi: 11.06.2018)
- Anonim, 2016a.** BMW i3. (Erişim tarihi: 24.05.2018)
- Anonim, 2016b.** En yüksek ve en az sıcaklık dağılımları. (Erişim tarihi: 30.05.2016)
- Anonim, 2016c.** Termografi. (Erişim tarihi: 26.06.2016)
- Anonim, 2016d.** Sonlu elemanlar yöntemi. (Erişim tarihi: 28.06.2018)
- Anonim, 2016e.** Elektromanyetik spektrum. (Erişim tarihi: 26.07.2018)
- Anonim, 2019.** SMA Solar Technology AG, Shade management. (Erişim tarihi : 31.07.2019)
- Berger, H. 2009.** CarEcology: New Technological and Ecological Standards in Automotive Engineering Module 3.Alternative Drive Systems. Department of Electronics & Technology Management University of Applied Sciences, Austria.
- Bakcan, M.R., Yılmaz, G. 2016.** Taşıtlarda kablo akım taşıma kapasitelerinin benzetimlerle belirlenmesi ve farklı sıcaklıklar için deneysel olarak doğrulanması. *Yüksek lisans tezi*, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik Bölümü Anabilim Dalı, Bursa.
- Başay, V., Akyüz, C., Yılmaz, G. 2019.** Uludağ çevresinde ormanlık ve orta yükseklikte dağlık bölgelerde kurulan güneş enerjisi santralinin verimliliğini belirleyen etkenler. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 24 Sayı 1, Bursa.
- Başay, V., Eken, R., Yılmaz, G. 2019.** Orta yükseklikte dağlık bölgelerde kurulan güneş enerjisi santralinde fotovoltaik panellerin yaşlanmasının araştırılması. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 24 Sayı 2, Bursa.
- Biçen, Y. 2006.** Yeraltı g kablolarının bilgisayar destekli analizi. *Yüksek lisans tezi*, Kocaeli ni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- engel, Y.A., Ghajar, A.J. 2015.** Heat and mass transfer: Fundamentals & Applications. McGraw-Hill Education. New York, United States of America, 968 p.
- Denton, T. 2004.** Automobile electrical and electronics systems. Oxford, 463 pp.
- Duffy, J. E. 2009.** Modern automotive technology. The Goodheart-Willcox Company, United States of America, 1613 p.
- Glc, M. 2014.** Otomotiv mhendisliğine giriş ders notları. Pamukkale Üniversitesi. Denizli.
- Grandvillemin, J., Chamagne, D., Glises, R., Tiraby, C., Butel Degrange , F.2007.** Thermal Modelling of Enclosed Cables in Automotive Applications. IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, 9-12 September 2007, Arlington, USA.
- IEC TS 62153-4-1. 2014.** Metallic communication cable test methods – Part 4-1: Electromagnetic compatibility (EMC) – Introduction to electromagnetic screening measurements, Geneva, Switzerland.

- ISO 6722-1 International Standart. 2011.** Road vehicles- 60 V and 600V single core cables- Part 1: Dimensions, test methods and requirements for copper conductor cables, France.
- Karaca, G. 2006.** Kablolarda elektriksel ve ısıll zorlanmaların sonlu elemanlar yöntemiyle çoklu analizi. *Yüksek lisans tezi*, İstanbul Teknik Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Karahan, M. 2007.** Sonlu elemanlar metodu kullanılarak güç kablolarının ısıll analizi ve akım taşıma kapasitesinin değerlendirilmesi. *Doktora tezi*, Marmara Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı Elektrik Eğitimi Programı, İstanbul.
- Karataş, M. H. 2010.** Elektromanyetik uyumluluk araştırması ve kablolar üzerinde testleri. *Yüksek lisans tezi*, Gazi Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Larminie, J., Lowry, J. 2012.** Electrical vehicle technology explained. Wiley publication. West Sussex, United Kingdom, 314 p.
- Moaveni, S., Ayhan, A.O. 2015.** Sonlu elemanlar analizi teori ve ANSYS ile uygulamalar. Palme yayıncılık, Ankara, 906 s.
- Mollamahmutoğlu, H. H. 2009.** Kablo eklerinin elektriksel ve ısıll analizi. *Yüksek lisans tezi*, İstanbul Teknik Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Najamuz, Z. 2015.** Automotive electronics design fundamentals. Springer, Switzerland, 262 pp.
- O'Hara, M., Colebrooke, J. 2003.** Automotive EMC test harnesses: Standart lengths and their effect on conducted emissions. *Electromagnetic Compatibility, 2003. EMC '03. 2003 IEEE International Symposium*, 16 May 2003, İstanbul, Turkey.
- Oba, K. 2013.** Wiring harnesses for next generation automobiles. *Fujikura technical review*.
- Rybak, T., Steffka, M. 2004.** Automotive electromagnetic compatibility. Kluwer Academic Publishers. Unites States of America, 295p.
- Sevgi, L. 2015.** Tasarımdan piyasaya elektromanyetik uyumluluk. Okan Üniversitesi Yayınları. İstanbul, 313 s.
- Tröscher, M. 2015.** CST's Simulation Capabilities for Automotive Applications. Europe automotive workshop, 23 Nov 2015, Munich, Germany.
- Williams, T. 2007.** EMC for product designers. Elsevier Ltd, Great Britania, 498 p.
- Yıldız, B. 2015.** Ticari bir gemide kısa devre akımı hesapları. *Yüksek lisans tezi*, İstanbul Teknik Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

EKLER

EK 1 FV1-F Kablo Teknik Parametreleri

EK 2 Termal Görüntüler

EK 3 Simülasyon Analizi Çıktıları

EK 4 Benzetim ve Deneysel Olarak Elde Edilen Akım Taşıma Kapasiteleri

EK 5 Akım Zaman Sıcaklık İlişkisi



EK 1

FV1-F Kablo Teknik Parametreleri

Teknik Şartlar

Tip Tanımı: FV1-F

Sertifikalar ve Standartlar: DKE/VDE AK 411.2.3 VDE TÜV 2 PfG 1169/08.2007

Sertifika No. / Certification No. R 60013989

Döşeme Şartlar

Direkt toprak altına gömülmeye uygundur. VDE 0800 kısım 174 5.4.2 ve VDE 0891 kısım 6 4.2 standartları göz önüne alınarak döşenmelidir

Tasarım Özellikleri

İletken: IEC 60228 standardına göre, elektrolitik kalaylı bakır Class 5 ince çok telli

iletken İzolasyon: Çapraz bağlı HEPR 120°C

İzolasyon Rengi: Doğal renk – Beyaz

Kılıf: Çapraz bağlı EVA elastomer 120°C. İzolasyon ve kılıf sağlam bir şekilde bağlıdır (iki kat izolasyon).

Kılıf Renkleri: Siyah, mavi, kırmızı

Elektriksel Parametreler

Nominal Gerilim: (U_o/U) 600/1000 V AC

En yüksek FV (FV) Sistem Gerilimi: Azami 2000 V'a kadar DC

AC Sistemlerde İzin Verilen En yüksek İşletme Gerilimi: 700/1200 V

DC Sistemlerde İzin Verilen En yüksek İşletme Gerilimi: 900/1800 V

Test Gerilimi: 6500 V AC / 15000 V / 5 dk.

İzin Verilen Akım Şiddeti: TÜV 2 PfG 1169 / 08.2007 standardına göre gereksinimleri karşılar.

TÜV 2 PfG 1169 / 08.2007 Testleri: VDE 0282 Bölüm 2, HD 22.2 ve EN 50395 İletken Direnci, AC ve DC Gerilim Testleri, Elektrik Dayanımı, Yüzey Direnci, İzolasyonda Kıvılcım Testi, EN 50305 6. Kısım DC Stabilitesi (10 gün, 85 °C, tuzlu su, 1500 V DC). Su ortamında 20 °C ve 90 °C için İzolasyon Direnci.

Kimyasal Parametreler

Mineral Yağ Dayanımı: VDE 0473-811-2-1, DIN EN 60811-2-1 24 saat, 100 °C standardı karşılanır.

Asit ve Alkalin Dayanımı: TÜV 2 PfG 1169/08.2007 7 gün, 23 °C (N-Oksalik Asit, N-Sodyum Hidroksit) EN 60811-2-1 standardına göre karşılanır

Hava Koşullarına Dayanım: DIN EN 50396 B Tip Test ve HD 22.2 B Tip Test ile ozon dayanımı

- TÜV 2PfG 1169/08.2007: UL 1581 (Xeno Test), ISO 4892-2 (A Metodu) ve HD506/A1-2.4.20 ile UV dayanımı

Yangın Performansı: Alev yayılımı

- TÜV 2 PfG 1169/08.2007: IEC 60332-1-2, DIN EN 60332-1-2 standartlarına göre Tek Kablolulu Alev Testi, IEC 60754-1 standardına göre Halojenden Arındırılmışlık, IEC 60754-2 standardına göre Aşınmazlık.

Çevre Dostu: Avrupa Birliği 2002/95/EG, 2005/69/EG ve 2006/122/EG yönergelerine göre RoHS ile uyumludur.

Termal Parametreler

Ortam Sıcaklığı: Sabit ve esnek kurulum/tesisat için -40 °C'den +90 °C'ye kadar (-40 °F'den +194 °F'ye kadar)

İzin Verilen En yüksek İletken İşletme Sıcaklığı: IEC 60216 standardına göre +120°C (+248 °F) , 20.000 saat (=2.3 yıl) için daimi sıcaklık 120 °C, 30 yıl için sürekli sıcaklık 90 °C

Kısa Devre Sıcaklığı: TÜV 2 PfG 1169/08.2007' ye göre; En yüksek 5 sn. için iletken sıcaklığı +200 °C (392 °F)

Soğuşa Dayanıklık: DIN EN 60811-1-4 standardına göre -40 °C'de Soğuk Bükme Testi

Nemli Isı Testi: TÜV 2 PfG 1169 / 08.2007 standardını karşılar. EN 60068-2-78'e göre ve 90 °C'de ve %85 nem altında 1.000 saat.

Mekanik Parametreler

Gerilme Değeri: HD 516 DIN VDE 0298 3 - 7.1 ve kısım 300 - 5.4.1 standardına göre, işletmede 15 N/mm², yükleme sırasında 50 N/mm²

En az Bükme Yarıçapı: Min. 4 x D (D= Toplam kablo çapı)

Aşınma: DIN EN 53516 standardını karşılar:

- Zımpara kağıdına degecek şekilde,
- Kılıf kılıfa degecek şekilde,
- Kılıf metale degecek şekilde,
- Kılıf plastiğe degecek şekilde.

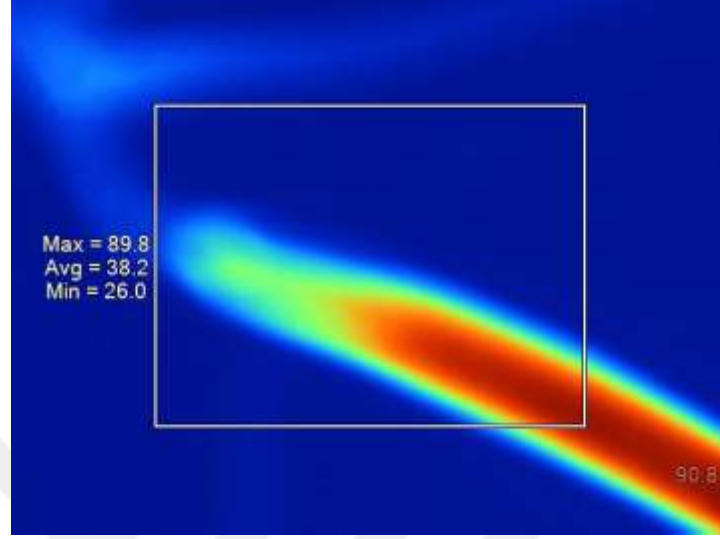
Çekme Testi: TÜV 2PfG 1169/08.2007 <%2 standardını, EN 60811-1-3'e göre karşılar.

Yüksek Sıcaklıkta Basınç Testi: TÜV 2PfG 1169/08.2007 <%50 standardını, EN 60811-3-1'e göre karşılar.

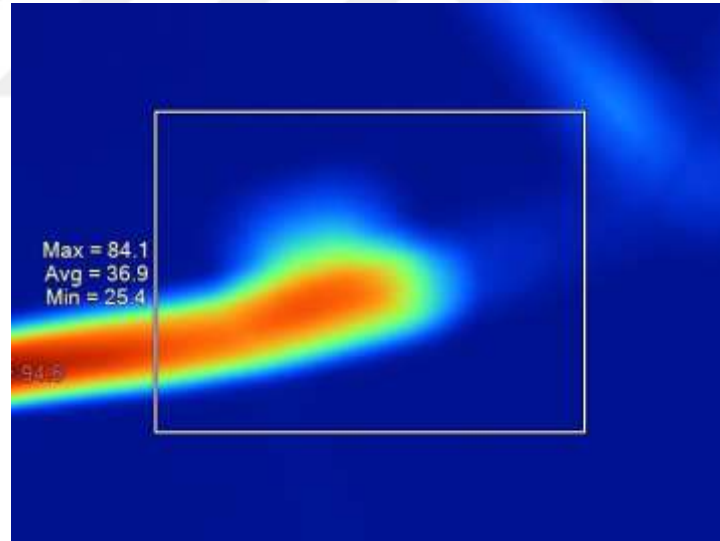
Dinamik Geçirgenlik Testi: TÜV 2 PfG 1169/08.2007 için FV (FV)-kablo gereksinimlerini karşılar. Kemirgen Direnci: Güvenlik, kablolar eğrilerek veya örgülü metalik kaplamalarla koruma sağlanarak optimize edilebilir.

EK 2

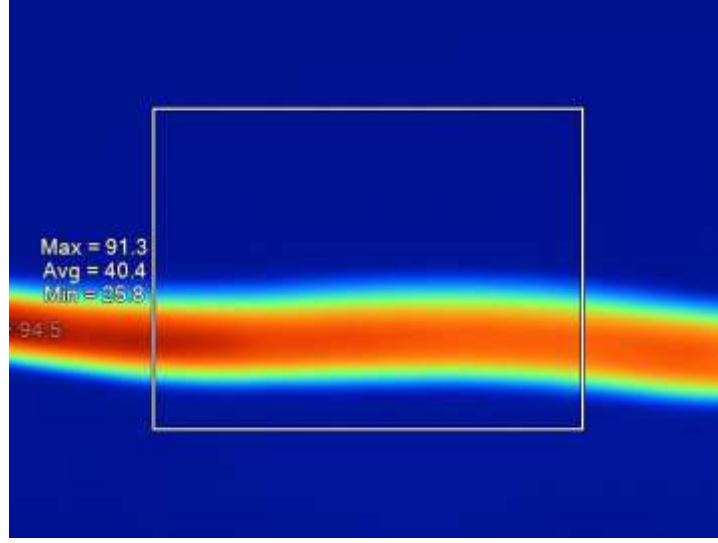
Termal Görüntüler



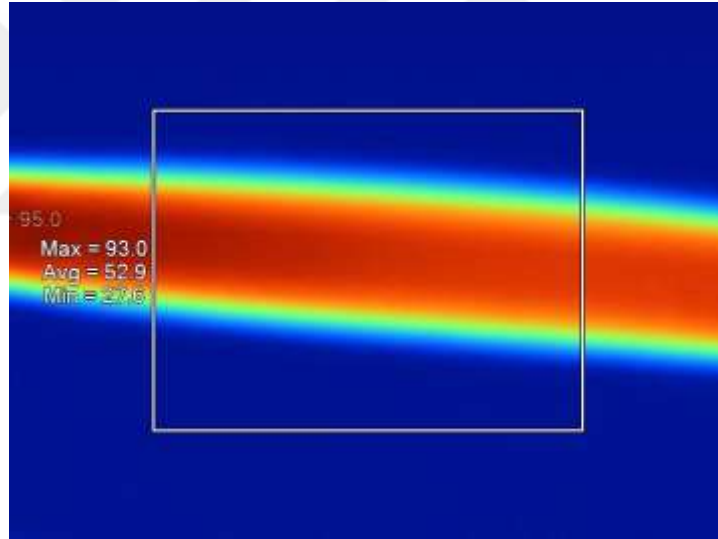
1.5 mm² 100 saniyede sol uçta sıcaklık dağılımı



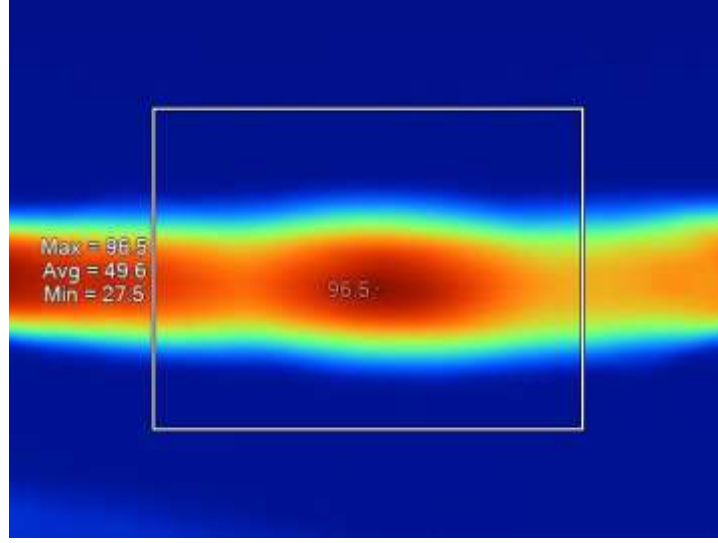
1.5 mm² 800 saniyede sağ uçta sıcaklık dağılımı



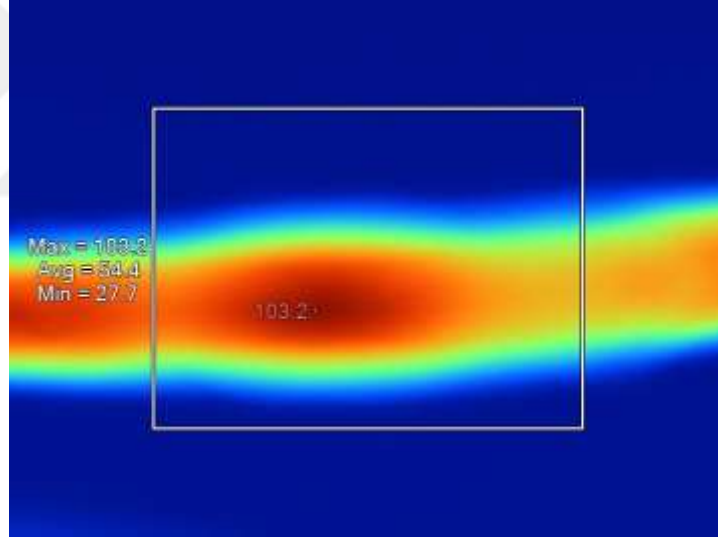
1.5 mm²1000 saniyede merkezde sıcaklık dağılımı



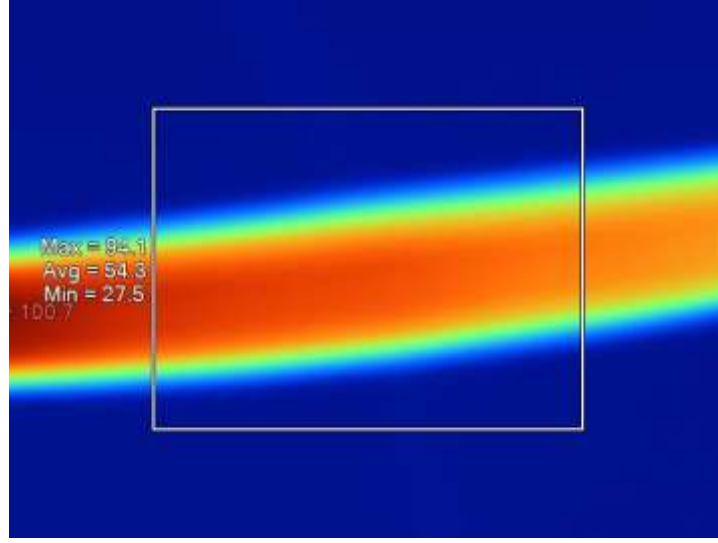
2.5 mm²100 saniyede merkezde sıcaklık dağılımı



2.5 mm²ekli 900 saniyede ek noktasında sıcaklık dağılımı



2.5 mm²1000 saniyede ek noktasında sıcaklık dağılımı



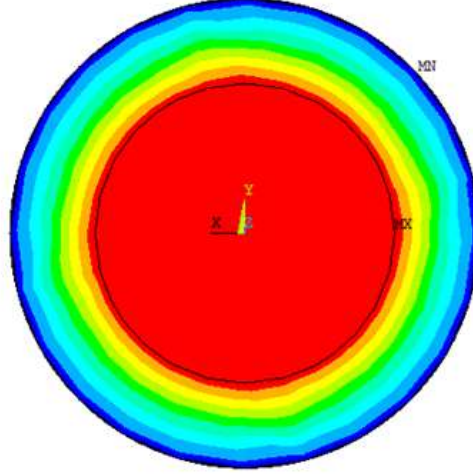
4 mm² 100 saniyede merkezde sıcaklık dağılımı

EK 3

Simülasyon Analizi Çıktıları

NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =10
TIME=1000
TEMP (AVG)
RSYS=0
SMN =89.6742
SMX =97.0917

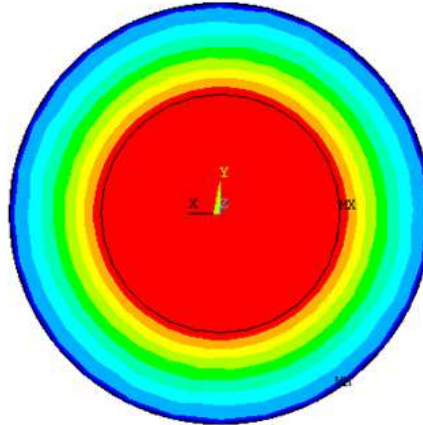
ANSYS
R15.0



1.5 mm² 1000 saniyede kablo kesiti sıcaklık dağılımı

NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =10
TIME=1000
TEMP (AVG)
RSYS=0
SMN =82.4707
SMX =94.4229

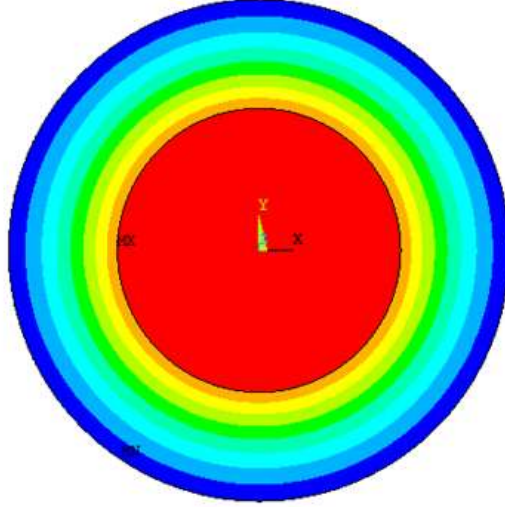
ANSYS
R15.0



2.5 mm² 1000 saniyede kablo kesiti sıcaklık dağılımı

NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =10
TIME=1000
TEMP (AVG)
RSYS=0
SMN =84.8761
SMX =97.2458

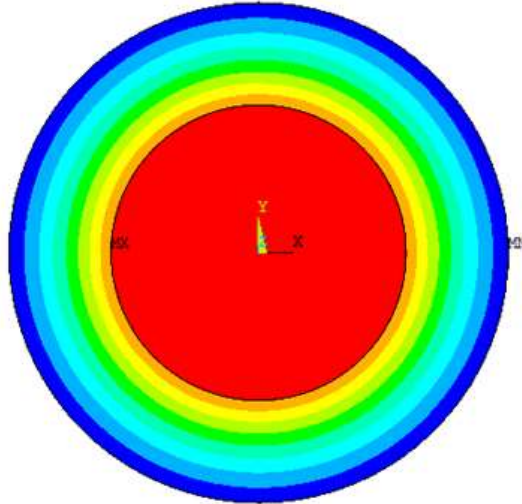
ANSYS
R15.0



4 mm² 1000 saniyede kablo kesiti sıcaklık dağılımı

NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =10
TIME=1000
TEMP (AVG)
RSYS=0
SMN =84.9755
SMX =97.42

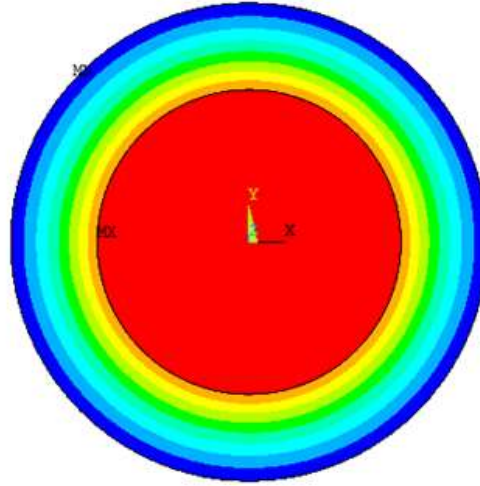
ANSYS
R15.0



6 mm² 1000 saniyede kablo kesiti sıcaklık dağılımı

NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =5
TIME=100
TEMP (AVG)
RSYS=0
SMN =89.3453
SMX =96.8861

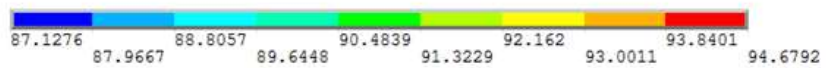
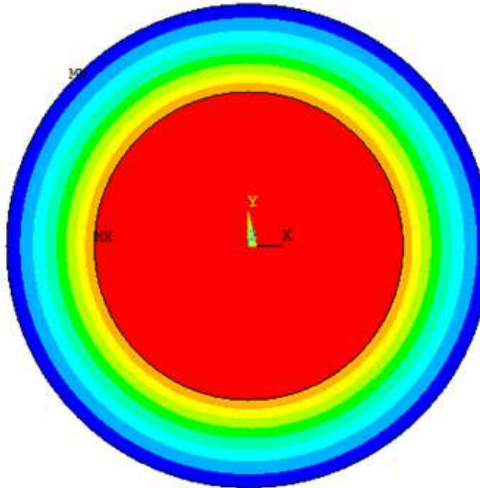
ANSYS
R15.0



1.5 mm² 100 saniyede kablo kesiti sıcaklık dağılımı

NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =5
TIME=100
TEMP (AVG)
RSYS=0
SMN =87.1276
SMX =94.6792

ANSYS
R15.0

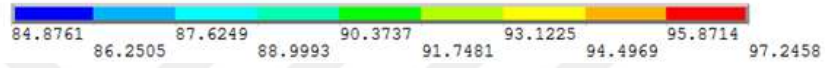
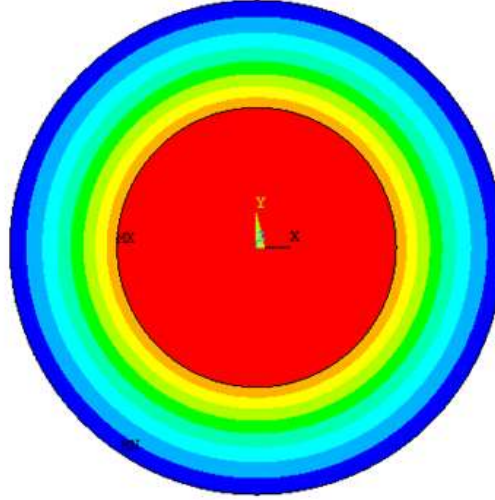


2.5 mm² 100 saniyede kablo kesiti sıcaklık dağılımı

NODAL SOLUTION

STEP=1
SUB =10
TIME=1000
TEMP (AVG)
RSYS=0
SMN =84.8761
SMX =97.2458

ANSYS
R15.0

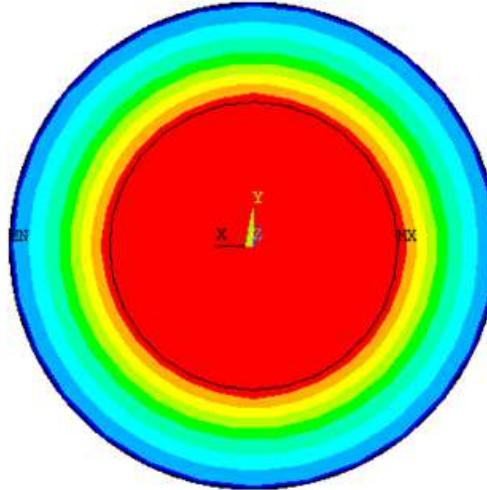


4 mm² 100 saniyede kablo kesiti sıcaklık dağılımı

NODAL SOLUTION

STEP=1
SUB =10
TIME=100
TEMP (AVG)
RSYS=0
SMN =86.8961
SMX =101.833

ANSYS
R15.0

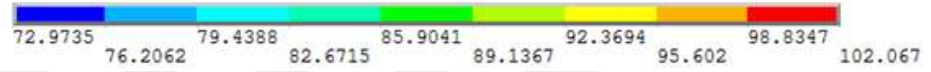
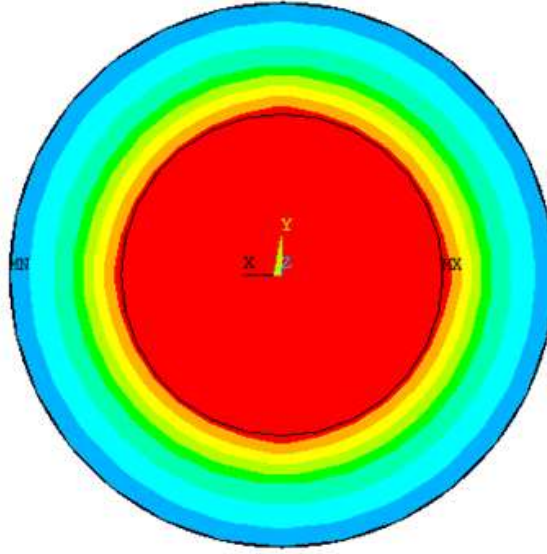


6 mm² 100 saniyede kablo kesiti sıcaklık dağılımı

NODAL SOLUTION

STEP=1
SUB =5
TIME=10
TEMP (AVG)
RSYS=0
SMN =72.9735
SMX =102.067

ANSYS
R15.0

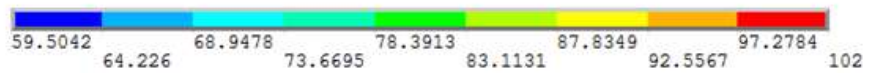
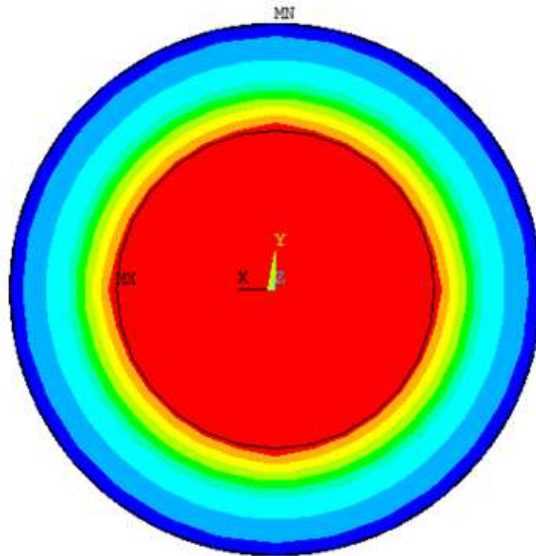


1.5 mm² 10 saniyede kablo kesiti sıcaklık dağılımı

NODAL SOLUTION

STEP=1
SUB =5
TIME=10
TEMP (AVG)
RSYS=0
SMN =59.5042
SMX =102

ANSYS
R1



2.5 mm² 10 saniyede kablo kesiti sıcaklık dağılımı

EK 4

Benzetim ve Deneysel Olarak Elde Edilen Akım Taşıma Kapasiteleri

| 1.5 mm2 | Sıcaklık 20°C -100 °C | | |
|-----------|-----------------------|-------|------|
| Zaman(sn) | D (A) | B (A) | D.F. |
| 1 | 178 | 109 | 1,63 |
| 2 | 121 | 73 | 1,57 |
| 5 | 78 | 49 | 1,51 |
| 10 | 54 | 37 | 1,46 |
| 100 | 30 | 22 | 1,33 |
| 1000 | 25 | 20 | 1,17 |
| 3600 | 21 | 19 | 1,01 |

| 2.5 mm2 | Sıcaklık 20°C -100 °C | | |
|-----------|-----------------------|-------|------|
| Zaman(sn) | D (A) | B (A) | D.F. |
| 1 | 520 | 337 | 1,60 |
| 2 | 364 | 240 | 1,55 |
| 5 | 225 | 155 | 1,50 |
| 10 | 154 | 110 | 1,40 |
| 100 | 64 | 50 | 1,30 |
| 1000 | 54 | 46 | 1,20 |
| 3600 | 48 | 46 | 1,10 |

| 4 mm2 | Sıcaklık 20°C -100 °C | | |
|-----------|-----------------------|-------|------|
| Zaman(sn) | D (A) | B (A) | D.F. |
| 1 | 620 | 415 | 1,50 |
| 2 | 426 | 293 | 1,45 |
| 5 | 264 | 190 | 1,40 |
| 10 | 180 | 135 | 1,35 |
| 100 | 73 | 59 | 1,25 |
| 1000 | 61 | 53 | 1,20 |
| 3600 | 55 | 53 | 1,10 |

| 6 mm2 | Sıcaklık 20°C -100 °C | | |
|-----------|-----------------------|-------|------|
| Zaman(sn) | D (A) | B (A) | D.F. |
| 1 | 1255 | 790 | 1,60 |
| 2 | 870 | 559 | 1,55 |
| 5 | 555 | 358 | 1,50 |
| 10 | 371 | 255 | 1,45 |
| 100 | 133 | 100 | 1,35 |
| 1000 | 92 | 82 | 1,10 |
| 3600 | 87 | 82 | 1,05 |

| 1.5 mm2 | Sıcaklık 40°C -100 °C | | |
|-----------|-----------------------|-------|------|
| Zaman(sn) | D (A) | B (A) | D.F. |
| 1 | 151 | 89 | 1,63 |
| 2 | 107 | 67 | 1,57 |
| 5 | 67 | 44 | 1,51 |
| 10 | 48 | 32 | 1,46 |
| 100 | 26 | 19 | 1,33 |
| 1000 | 22 | 18 | 1,17 |
| 3600 | 19 | 18 | 1,01 |

| 2.5 mm2 | Sıcaklık 40°C -100 °C | | |
|-----------|-----------------------|-------|------|
| Zaman(sn) | D (A) | B (A) | D.F. |
| 1 | 464 | 290 | 1,60 |
| 2 | 317 | 205 | 1,55 |
| 5 | 199 | 143 | 1,50 |
| 10 | 133 | 96 | 1,40 |
| 100 | 56 | 43 | 1,30 |
| 1000 | 48 | 40 | 1,20 |
| 3600 | 44 | 40 | 1,10 |

| 4 mm2 | Sıcaklık 40°C -100 °C | | |
|-----------|-----------------------|-------|------|
| Zaman(sn) | D (A) | B (A) | D.F. |
| 1 | 531 | 354 | 1,50 |
| 2 | 363 | 251 | 1,45 |
| 5 | 227 | 162 | 1,40 |
| 10 | 157 | 117 | 1,35 |
| 100 | 63 | 50 | 1,25 |
| 1000 | 54 | 45 | 1,20 |
| 3600 | 49 | 45 | 1,10 |

| 6 mm2 | Sıcaklık 40°C -100 °C | | |
|-----------|-----------------------|-------|------|
| Zaman(sn) | D (A) | B (A) | D.F. |
| 1 | 1078 | 674 | 1,60 |
| 2 | 740 | 478 | 1,55 |
| 5 | 460 | 307 | 1,50 |
| 10 | 319 | 220 | 1,45 |
| 100 | 116 | 86 | 1,35 |
| 1000 | 77 | 70 | 1,10 |
| 3600 | 73 | 70 | 1,05 |

| 1.5 mm ² | | Sıcaklık 60°C -100 °C | | |
|---------------------|-------|-----------------------|------|--|
| Zaman(sn) | D (A) | B (A) | D.F. | |
| 1 | 127 | 77 | 1,63 | |
| 2 | 88 | 55 | 1,57 | |
| 5 | 56 | 36 | 1,51 | |
| 10 | 41 | 27 | 1,46 | |
| 100 | 22 | 16 | 1,33 | |
| 1000 | 18 | 15 | 1,17 | |
| 3600 | 17 | 15 | 1,01 | |

| 2.5 mm ² | | Sıcaklık 60°C -100 °C | | |
|---------------------|-------|-----------------------|------|--|
| Zaman(sn) | D (A) | B (A) | D.F. | |
| 1 | 380 | 238 | 1,60 | |
| 2 | 262 | 169 | 1,55 | |
| 5 | 162 | 108 | 1,50 | |
| 10 | 133 | 95 | 1,40 | |
| 100 | 46 | 35 | 1,30 | |
| 1000 | 38 | 32 | 1,20 | |
| 3600 | 35 | 32 | 1,10 | |

| 4 mm ² | | Sıcaklık 60°C -100 °C | | |
|-------------------|-------|-----------------------|------|--|
| Zaman(sn) | D (A) | B (A) | D.F. | |
| 1 | 438 | 292 | 1,50 | |
| 2 | 300 | 207 | 1,45 | |
| 5 | 184 | 132 | 1,40 | |
| 10 | 134 | 122 | 1,35 | |
| 100 | 52 | 41 | 1,25 | |
| 1000 | 43 | 37 | 1,20 | |
| 3600 | 40 | 37 | 1,10 | |

| 6 mm ² | | Sıcaklık 60°C -100 °C | | |
|-------------------|-------|-----------------------|------|--|
| Zaman(sn) | D (A) | B (A) | D.F. | |
| 1 | 900 | 556 | 1,60 | |
| 2 | 610 | 394 | 1,55 | |
| 5 | 376 | 251 | 1,50 | |
| 10 | 265 | 183 | 1,45 | |
| 100 | 96 | 71 | 1,35 | |
| 1000 | 62 | 57 | 1,10 | |
| 3600 | 60 | 57 | 1,05 | |

EK 5

Akım Zaman Sıcaklık İlişkisi

| 1.5 mm ² | | | | |
|---------------------|---------|---------------|------------|---------------|
| Zaman(sn) | Akım(A) | Sol Pabuç(°C) | Merkez(°C) | Sağ Pabuç(°C) |
| 1 | 276 | 109 | 93 | 106 |
| 2 | 189 | 107 | 93 | 107 |
| 5 | 119 | 102 | 94 | 105 |
| 10 | 86 | 106 | 95 | 107 |
| 100 | 45 | 104 | 96 | 104 |
| 1000 | 38 | 103 | 98 | 102 |
| 3600 | 35 | 102 | 100 | 102 |

| 2.5 mm ² | | | | |
|---------------------|---------|---------------|------------|---------------|
| Zaman(sn) | Akım(A) | Sol Pabuç(°C) | Merkez(°C) | Sağ Pabuç(°C) |
| 1 | 526 | 110 | 92 | 108 |
| 2 | 366 | 108 | 93 | 109 |
| 5 | 227 | 104 | 96 | 105 |
| 10 | 156 | 103 | 96 | 102 |
| 100 | 67 | 102 | 98 | 100 |
| 1000 | 58 | 101 | 100 | 101 |
| 3600 | 51 | 102 | 100 | 103 |

| 4 mm ² | | | | |
|-------------------|---------|---------------|------------|---------------|
| Zaman(sn) | Akım(A) | Sol Pabuç(°C) | Merkez(°C) | Sağ Pabuç(°C) |
| 1 | 629 | 110 | 91 | 106 |
| 2 | 427 | 108 | 93 | 102 |
| 5 | 264 | 106 | 95 | 102 |
| 10 | 184 | 104 | 96 | 100 |
| 100 | 76 | 102 | 98 | 100 |
| 1000 | 66 | 102 | 100 | 100 |
| 3600 | 57 | 103 | 100 | 102 |

| 6 mm ² | | | | |
|-------------------|---------|---------------|------------|---------------|
| Zaman(sn) | Akım(A) | Sol Pabuç(°C) | Merkez(°C) | Sağ Pabuç(°C) |
| 1 | 1265 | 110 | 92 | 107 |
| 2 | 876 | 108 | 93 | 108 |
| 5 | 572 | 105 | 94 | 106 |
| 10 | 377 | 102 | 96 | 103 |
| 100 | 139 | 100 | 98 | 106 |
| 1000 | 97 | 99 | 99 | 103 |
| 3600 | 89 | 100 | 100 | 102 |

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Cemal AKYÜZ

Doğum Yeri ve Tarihi: Sinop - 1990

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

| | | |
|---------------|---|------|
| Lise | : Bursa Demirtaşpaşa Endüstri Meslek Lisesi Elektronik Bölümü | 2007 |
| Ön Lisans | : Uludağ Üniversitesi Orhangazi Meslek Yüksek Okulu Endüstriyel Elektronik Bölümü | 2009 |
| Lisans | : Beykent Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü | 2014 |
| Yüksek Lisans | : Uludağ Üniversitesi Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı | |

Çalıştığı Kurum : Arge-Emre Makina Tasarım Sanayi Ticaret Limited Şirketi 2018

İletişim (e-posta) : cemalakyuz89@gmail.com

Yayınlar

Başay, V., Akyüz, C., Yılmaz, G. 2018. Uludağ çevresinde ormanlık ve orta yükseklikte dağlık bölgelerde kurulan güneş enerjisi santralının verimliliğini belirleyen etkenler. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 24 Sayı 1, Bursa.