

**TVS PULMAN YOLCU VAGON KLİMA
SİSTEMLERİNDE FV PANEL KULLANIMI VE
ENERJİ VERİMLİLİĞİ**

**2019
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMELERİ MÜHENDİSLİĞİ**

Erol ARSLAN

**TVS PULMAN YOLCU VAGON KLİMA SİSTEMLERİNDE FV PANEL
KULLANIMI VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ**

Erol ARSLAN

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Haziran 2019

Erol ARSLAN tarafından hazırlanan “TVS PULMAN YOLCU VAGON KLİMA SİSTEMLERİNDE FV PANEL KULLANIMI VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK
Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 13/06/2019

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

Başkan : Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK (KBÜ)

Üye : Prof. Dr. Kurtuluş BORAN (GÜ)

Üye : Doç. Dr. Muhammet KAYFECİ (KBÜ)

İmzası

30.07.2019

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür V.



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Erol ARSLAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TVS PULMAN YOLCU VAGON KLİMA SİSTEMLERİNDE FV PANEL KULLANIMI VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Erol ARSLAN

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK

Haziran 2019, 57 sayfa

Fosil yakıtların tükenmesi, çevresel bilincin artması ve teknolojik gelişmeler yenilenebilir enerji kaynakları (YEK) üzerindeki teorik ve pratik çalışmaları artırmıştır. Fotovoltaik (FV) piller üzerinde yapılan ciddi çalışmalar neticesinde ticari verimleri % 15-% 20'ler seviyesine çıkmış, farklı uygulama alanlarında kendini göstermiştir. Önceleri sadece arazi ve çatı uygulamalarında faydalanılırken buna son zamanlarda taşınabilir çantalar, solar şarj cihazları, otomobil ve taşıma araçları da eklenmiştir.

Çalışmada TVS Pulman yolcu vagonlarının iklimlendirme çalışması yapılmıştır. Bu kapsamda vagonun ölçülerinden ve özelliklerinden yola çıkılarak ısı kazancı, dolayısı ile soğutma yükü elde edilmiştir. Soğutma yükünün güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisi ile karşılanması istenmiştir. Bu kapsamda, vagonların çatıları güneş panelleri ile kaplanmış ve üretilen enerji saatlik olarak

hesaplanmıştır. Üretilen enerji miktarı aylık bazda değerlendirilerek mayıs-eylül ayları arasında FV panellerden üretilen enerjinin soğutma yükünü karşılama oranı % 41-53 arasında olduğu görülmüştür. Ayrıca Türkiye’de aktif olarak kullanılan 139 adet TVS Pulman vagonun çatısına FV panel uygulaması düşünüldüğü takdirde klimanın aktif olarak kullanıldığı mayıs-eylül ayları yılda 1.346.910 kWh elektrik enerjisi üretimi gerçekleşir. 12 ay üzerinden elektrik üretimi hesaplandığı takdirde de 139 adet TVS Pulman vagon için 2.363.695 kWh elektrik üretimi gerçekleşir.

Anahtar Sözcükler : Güneş enerjisi, FV, Vagon soğutma, enerji ihtiyacı karşılama.

Bilim Kodu : 928.1.233

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

FV PANEL USE AND ENERGY EFFICIENCY IN TVS PULMAN PASSENGER WAGON AIR CONDITIONING SYSTEMS

Erol ARSLAN

Karabuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Energy Systems Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK

June 2019, 57 pages

The depletion of fossil fuels, the increase of known consciousness and the renewable energy sources of technology (REC) have been developed both theoretical and practical. As a result of serious research on photovoltaic (FV) batteries, their commercial efficiency has increased to 15 % -20 %, on one of the different applications. In the past, only land and roof applications were used, while the latest available bags, solar chargers, automobiles and transportation vehicles were added.

In this study, air conditioning of TVS Pulman passenger cars was conducted. In this context, the heat gain and thus the cooling load have been obtained based on the dimensions and characteristics of the wagon. The cooling load was requested to be met by the electrical energy obtained from solar energy. In this context, the roofs of the wagons were covered with solar panels and the energy produced was

calculated in hours. The amount of energy produced is evaluated on a monthly basis and the ratio of energy produced from PV panels between May and September is between 41-53 %. Also actively used TVS 139 pieces Pullman cars PV panels on the roof of the application is considered that if the May-September actively used the air conditioner 1.34691 million kWh of electricity production annually takes place in Turkey. If the electricity production is calculated over 12 months, 2.363.695 kWh of electricity will be generated for 139 TVS Pulman wagons.

Key Word : Solar energy, PV, wagon cooling, energy, energy supply.

Science Code : 928.1.233

TEŐEKKÖR

Bu tez alıŐmasının planlanmasında, araŐtırılmasında, yÖrÖtÖlmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrÖbelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıŐmamı bilimsel temeller ışığında Őekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK ve Dr. Öğr. Üyesi AbdÖlsamed TABAK'a sonsuz teŐekkÖrlerimi sunarım.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teŐekkÖr ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
LİTERATÜR ÇALIŞMASI	3
BÖLÜM 3	8
TVS PULMAN YOLCU VAGONLARINDA KLİMA SİSTEMİ	8
3.1. VAGON TEKNİK ÖZELLİKLERİ VE EKİPMANLARI.....	8
3.2. VAGONDAKİ KLİMA SANTRALİ.....	12
3.2.1. Klimanın Bileşenleri ve Çalışma Prensibi.....	12
3.2.1.1. Kondanser	13
3.2.1.2. Genleşme Valfi.....	14
3.2.1.3. Evaporatör	15
3.2.1.4. Kompresör.....	15
3.2.2. İklimlendirmenin Kontrolü	18
3.2.3. Vagonlarda Kullanılan Klima Gazı Özellikleri	18
3.2.4. Vagonların Aydınlatılması	19

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 4	20
GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİ	20
4.1. TÜRKİYE’NİN GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ	20
4.2. GÜNEŞ PANELLERİ VE EKİPMANLARI	22
4.2.1. Şebekeden Bağımsız (Off-grid) Fotovoltaik Sistemler	22
4.2.2. Şebekeye Bağlı (On-grid) Fotovoltaik Sistemler	23
4.2.3. Solar Sistemde Kullanılan Ekipmanlar	23
4.2.3.1. Güneş Paneli	23
4.2.3.2. Güneş Pili Çeşitleri	23
4.2.3.3. Batarya Grubu	26
4.2.3.4. Şarj Kontrol Cihazı	27
4.2.3.5. Solar İvertör	28
4.3. FV PANEL UYGULAMALARI	28
 BÖLÜM 5	 31
MATERYOL VE METOD	31
5.1. ISI KAZANCI HESABI	31
5.1.1. Nem ve Sıcaklık Koşulları	31
5.1.2. Cihazın Takılacağı Vagonun Özellikleri	32
5.1.3. Vagonun İzolasyon Özellikleri	32
5.1.4. Yan Duvarlar İçin Vagon Dış Hava Taşınım Katsayısı (h_o) nun" Hesaplanması	34
5.1.5. Yan Duvarlar İçin Vagon İç Hava Taşınım Katsayısı (h_i) nin Hesaplanması	35
5.1.6. Yan Duvarların Toplam Termal Direncinin ve Toplam Isı Geçişi Bulunması	36
5.1.7. Aracın Tavanında Gerçekleşen İletim Ve Taşınım Olan Isı Transferinin Hesaplanması	37
5.1.7.1. Tavan İçin Dış Hava Taşınım Katsayısı (h_o) nun Hesaplanması	37
5.1.7.2. Tavan İçin İç Hava Taşınım Katsayısı (h_i) nin Hesaplanması ...	37
5.1.7.3. Tavandan Gelen Toplam Termal Direncinin ve Toplam Isı Geçişi Bulunması	39
5.1.8. Aracın Tabanında İletim Ve Taşınım Vasıtasıyla Gerçekleşen Isı Transferi	39
5.1.8.1. Taban İçin Dış Hava Taşınım Katsayısı (h_o) nun Hesaplanması .	39

	<u>Sayfa</u>
5.1.8.2. Taban İçin Vagonun İç Hava Taşınım Katsayısı (h_i) nin Hesaplanması	40
5.1.8.3. Tabandan Gelen Toplam Termal Direncinin ve Toplam Isı Geçişi Bulunması	41
5.1.9. Vagonun Ön Tarafında İletim ve Taşınım Vasıtasıyla Gerçekleşen Isı Transferi	41
5.1.9.1. Vagonun Ön Tarafı İçin Dış Hava Taşınım Katsayısı (h_o) nun Hesaplanması.....	42
5.1.9.2. Ön Taraftan Gelen Toplam Termal Direncinin ve Toplam Isı Geçişi Bulunması.....	43
5.1.10. Vagonun Arka Tarafında İletim ve Taşınım Vasıtasıyla Gerçekleşen Isı Transferi	43
5.1.10.1. Arka Taraftan Gelen Toplam Termal Direncinin ve Toplam Isı Geçişi Bulunması	43
5.1.11. Vagonun Camlarında İletim ve Taşınım Vasıtasıyla Gerçekleşen Isı Transferi	44
5.1.11.1. Camdan Gelen Toplam Termal Direncinin ve Toplam Isı Geçişi Bulunması	44
5.1.12. İnsanlardan Gelen Isı Kazancının Hesaplanması.....	45
5.1.14. Aydınlatmadan Gelen Isı Kazancı	46
5.1.15. Aracın Toplam Isı Kazancı.....	46
5.2. FOTOVOLTAİK GÜNEŞ PANELİ GÜCÜNÜN MATEMATİKSEL MODELİ VE ÜRETİLEN ENERJİ	46
BÖLÜM 6	51
6.1. SONUÇLAR.....	51
6.2. ÖNERİLER	52
KAYNAKLAR.....	53
ÖZGEÇMİŞ.....	57

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. TVS Pulman vagon şematik çizimi	9
Şekil 3.2. Statik konvertörün genel görünüşü	10
Şekil 3.3. Akü gruplarının görüntüsü	11
Şekil 3.4. İnverter ünitesinin görüntüsü	11
Şekil 3.5. Vagonların genel görünüşü	12
Şekil 3.6. Basit soğutma çevrimi	13
Şekil 3.7. Kondenser	14
Şekil 3.8. Genleşme valfi	14
Şekil 3.9. Evaporatör görseli.....	15
Şekil 3.10. Kompresör.....	16
Şekil 3.11. Pistonlu kompresörleri yapısı.....	16
Şekil 3.12. Vidalı kompresör görseli.....	17
Şekil 3.13. Santrifüj kompresör	18
Şekil 4.1. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli.....	21
Şekil 4.2. Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemin şeması.....	22
Şekil 4.3. Şebeke bağlı fotovoltaik sistemin şeması	23
Şekil 4.4. Czochralski metodu uygulanaşı.	24
Şekil 4.5. Monokristal ve polikristal silikon güneş panelleri	25
Şekil 4.6. İnce film güneş paneli	26
Şekil 4.7. Jel akü	27
Şekil 4.8. Şarj kontrol cihazı.....	27
Şekil 4.9. FV güneş enerjisi arazi uygulaması örneği	28
Şekil 4.10. FV güneş enerjisi çatı uygulaması örneği	29
Şekil 4.11. FV güneş enerjisi ile çalışan tren	30
Şekil 4.12. FV modül eklenen otomobil.....	30
Şekil 5.1. Her ay için toplam güç grafiği.....	48
Şekil 5.2. Aylara göre üretim ve tüketim grafiği	50

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 TVS Pulman vagon teknik özellikleri	9
Çizelge 4.1. Türkiye'nin bölgelere göre güneş enerjisi potansiyeli	21
Çizelge 4.2. Kristal yapılı güneş pillerinin verimlilik değerleri	25
Çizelge 5.1 Cihaz tasarım koşulları.....	32
Çizelge 5.2. Tavan malzemeleri.....	33
Çizelge 5.3. Taban malzemeleri.....	33
Çizelge 5.4. Yan duvar malzemeleri	33
Çizelge 5.5. Ön döşemedeki malzemeler.....	33
Çizelge 5.6 Arka döşemedeki malzemeler.....	34
Çizelge 5.7. 40 °C göre havanın fiziksel özellikleri.....	34
Çizelge 5.8. 26 °C göre havanın fiziksel özellikler	36
Çizelge 5.9. 26 °C göre havanın fiziksel özellikleri.....	38
Çizelge 5.10. 26 °C göre havanın fiziksel özellikleri	40
Çizelge 5.11. Her ay için toplam güç.....	47

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

α	: ısı yayılım katsayısı
$^{\circ}\text{C}$: santigrat derece
H	: yükseklik
h_i	: iç hava taşınım katsayısı
h_o	: dış hava taşınım katsayısı
I_{mpp}	: maksimum güç noktası akımı
k	: ısı iletkenlik
K_p	: maksimum güç sıcaklığı katsayısı
L	: uzunluk
MPPT	: maksimum güç izleme noktası
Nu	: Nusselt
μ	: dinamik viskozite
ρ	: özgül kütle
Pr	: Prandtl
R	: ışıma miktarı
T_A	: hava sıcaklığı
T_C	: panel sıcaklığı
$T_{dış}$: dış hava sıcaklığı
$T_{iç}$: iç hava sıcaklığı
T_R	: standart test şartları sıcaklığı
V_{mpp}	: maksimum güç noktası gerilimi
v	: kinematik viskozite
Q	: ısı kazancı

W : genişlik

KISALTMALAR

AC : Alternatif Akım

DC : Doğru Akım

FV : Fotovoltaik

GEPA : Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası

TE : Termoelektrik

YEK : Yenilenebilir Enerji Kaynakları



BÖLÜM 1

GİRİŞ

İnsanoğlunun yaşamında kullanmaktan vazgeçemediği unsurlardan biri olan enerji, günümüz dünyasında ülkelerin gelişmişlik seviyelerinin belirlenmesindeki en önemli faktörlerden biridir. Nüfusun artması ve teknolojik gelişmeler her geçen gün enerji tüketimini hızla artırmaktadır [1]. Halen üretilen enerjinin ağırlıklı kısmı, fosil yakıtlar olarak bildiğimiz petrol, kömür ve doğalgaz kaynaklarından karşılanmaktadır [2]. Ancak, sınırlı olan bu kaynakların çevreye, insan sağlığına ve kısacası habitata verdiği zararlar geliştirilen ölçme ve analiz yöntemleri ile ortaya çıktıkça bunları azaltan ve tamamen ortadan kaldıran alternatif doğal kaynak arayışlarına gidilmiştir. Özellikle, Kyoto protokolü sonrasında dünya devletleri sera gazı etkisine sahip olan fosil kaynakların kullanılmasında ciddi sınırlandırmalar getirmiştir. Son zamanlarda, Avrupa Birliği, çevreye dost ve yenilenebilir enerji kaynaklarının (YEK) kullanılması için yeni enerji politikaları üretmekte ve bu yönde bazı kanuni zorunluluklar getirmektedir [3].

Dünyada petrol krizinin çıkmasının ardından fosil yakıtlara alternatif olarak YEK'lerin geliştirilmesine ve kullanılmasına ağırlık verilmiştir. YEK'ler, kullanımı esnasında doğaya zarar vermediği için temiz enerji olarak da adlandırılmaktadır [4].

Hidrolik, güneş, rüzgar, jeotermal, biyokütle ve dalga enerjisi başlıca YEK'lerdendir. Bunlar içerisinde hidrolik, güneş ve rüzgar enerjisi en yaygın olarak kullanılan kaynaklardır. YEK'lerin en büyük avantajlarından biri de coğrafi kısıtlamalarının pek fazla olmamasıdır. Petrol ve doğalgaz belli başlı ülkelerde mevcut bulunurken özellikle hidrolik, güneş ve rüzgar enerjisi birçok ülkenin rahatlıkla erişebileceği niteliktedir [5].

Güneş enerjisinden ısıtma veya elektrik üretimi açısından faydalanmak mümkündür. Güneş enerjisi, fotovoltaik (FV) hücreler aracılığıyla güneş ışığını doğrudan elektriğe çevirebilmekte ve üretilen elektrik enerjisi çeşitli ihtiyaçların karşılanması amacıyla kullanılmaktadır. Güneş pilleri (fotovoltaik piller), yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerdir [6].

Güneş pillerinin verimliliklerinin artmasıyla birlikte kullanım alanların günden güne artmaktadır. Güneş pilleri günümüzde elektrik enerjisi tüketiminin olduğu fabrikalar, evler, seralar, otel ve alışveriş merkezlerinde enerji santrali olarak kullanılmaktadır. Bunun yanında; trafik lambalarında, sokak aydınlatmalarında, yatlarda ve uydularda kullanılmaktadır.

FV piller, kullanımının kolay olması, hareketli parçalarının olmaması, bakım onarım gereksinimlerinin az olması ve uzun yıllar kullanılabilme özelliğinden dolayı çeşitli sektörlerde yaygınlaşmaktadır. Bunlardan bir kısmı henüz deneme aşamasında olsa da ileriki yıllarda birçok elektrik enerjisi tüketimin olduğu yerde tüketimin bir kısmının sağlanması açısından daha da yaygınlaşması beklenmektedir [7].

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Solmaz yaptığı çalışmada güneş enerjisi destekli çalışan taşıt klima sisteminin dinamik performansı araştırılmıştır. Tez teorik ve deneysel olmak üzere 2 ana çalışmadan oluşmaktadır. Teorik çalışmada binek taşıt ve midibüs için Antalya, Konya, Mersin, Muğla, Şanlıurfa gibi güneş alma kapasitesi yüksek olan illere ait meteorolojiden temin edilen 1997-2008 yılları arasındaki 12 yıllık sıcaklık ve ışınım şiddeti verileri kullanılarak taşıt soğutma yükü, soğutma sezonu boyunca (1 Mayıs-30 Eylül) saatlik olarak hesaplanmıştır. Daha sonra soğutma ihtiyacını karşılamak için Türkiye'nin çeşitli iklim şartlarında, buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimine göre çalışan soğutma sisteminin termodinamik analizi yapılmıştır. Kompresörün elektrik ihtiyacının temiz enerji kaynağı olan güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretilmesi ile karşılanması durumları farklı fotovoltaik verim değerleri kabul edilerek değerlendirilmiştir. Saatlik evaporatör ve kondenser kapasiteleri, kompresör gücü, soğutma tesir katsayılarını kapsayan performans parametreleri MATLAB'da geliştirilen programlar ile hesaplatılmıştır. Seçilen iller için meteorolojik veriler kullanılarak, farklı soğutucu akışkanlar (R134a, R410A ve R407C) kullanılması durumu, $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ buharlaşma ve dış ortam sıcaklığından $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ yüksek yoğuşma sıcaklıkları olması durumları incelenmiştir. Bunun yanında kompresör izentropik verimi, 5°C aşırı ısıtma, 5°C aşırı soğutma, evaporatördeki ve kondenserdeki basınç kayıpları da incelenmiştir. Ayrıca, Yapay Sinir Ağları (YSA) metodu kullanılarak güneş ışınım şiddeti, sıcaklığa ve coğrafik değişkenlere bağlı olarak tahmin edilmiştir. Daha sonra coğrafik ve meteorolojik değişkenlere bağlı olarak bir binek taşıtın soğutma yükü YSA metodu ile tahmin edilerek istatistiksel sonuçları sunulmuştur. Deneysel çalışmada güneşe doğru yönlendirilmiş park halindeki bir taşıt kabini üzerine, gerçek klima elemanlarından oluşan deney düzeneği kurularak sistemin dinamik performansı deneysel olarak 2012 yılı ağustos ayı içerisinde

belirlenmiştir. Deneysel taşıtın soğutma ihtiyacının, FV destekli taşıt klima sistemi ile karşılanması durumları için de analizler yapılmıştır. Deneysel verilere göre sistemin enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlardan sistemin Konya ilinde çalıştırılması ile taşıt yüzeyine yerleştirilen FV sisteminden günlük 5.82 kWh'lik enerji üretildiği ve bu enerjinin evaporatör hava hızına bağlı olarak günlük klimanın çektiği gücün 2-3 saatlik kısmının FV sistemi ile karşılanabileceği görülmüştür [8].

Şekerci yaptığı çalışmada, raylı sistem klima cihazının ilgili standartlara göre performansının değerlendirilmesi için test odası oluşturmayı ve cihazların bu odada test edilmesi sonucunda tasarım hakkında net fikirler edinebilmeyi amaçlamıştır. Çalışmada, raylı sistem araçlarının iklimlendirme üniteleri, bu ünitelerin çalışma koşulları ve test metodları hakkında genel bilgiler elde edilmiştir. Çalışmada klima cihazlarının ve test odasının tasarım koşulları için EN 14750-1 ve 2 standartları incelenmiştir. Bu standartlarda belirtilen test koşullarını sağlayabilecek şekilde bir test odası tasarımı yapabilmek için test odasının bileşenlerinin kapasiteleri hesaplanarak en uygun komponentler belirlenmiştir. Test odası oluşturulduktan sonra, bir hafif raylı sistem aracının iklimlendirme ünitesinin tasarım koşullarına göre ve kullanıldığı araç tipine göre test odasında sağlanması gereken test parametreleri belirlenmiştir. Bu çalışmalar yapıldıktan sonra üzerinde klima cihazı bulunan araç test odasına alınarak test edilmiştir. Test sonuçları yorumlanarak; EN 14750-1 standardında belirtilen konfor parametrelerinin, cihaz tarafından hangi ölçüde sağlanabildiği ve cihazda kullanılan komponentlerin performanslarıyla ilgili gerekli bilgiler elde edilmiştir [9].

Jaffery ve arkadaşları Pakistan'daki metro ve trenlerde güneş enerjisinden faydalanarak üretilen elektriğin kullanılması durumunu çalışmışlardır. Çalışmada gelişmekte ülke olarak bahsedilen Pakistan'ın kırılgan ekonomiden dolayı güneş enerjisinden faydalanmanın avantajları anlatılmaktadır. Sonuç olarak güneş enerjisinin metro ve trenlerde kullanılmasıyla elde edilecek olan tasarrufun daha farklı yerlerde değerlendirilebileceği vurgulanmıştır [10].

Vaiciunas ve arkadaşları yaptıkları çalışmada Litvanya demiryolu istasyonlarında ve demiryolu depolarındaki elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak için güneş ve rüzgar enerjisinden elektrik üretiminin kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Sadece rüzgar türbinlerinin kullanımında yaşanan enerji üretim belirsizliğinin önüne geçebilmek için güneş enerjisinin de hibrit yapıya dahil edilmesini düşünmüşlerdir. Sonuç olarak rüzgar ve türbin gücünün % 75, fotovoltaik güneş panellerinin gücünün % 25 olarak katkı sağladığı hibrit bir sistemin kurulması durumunda demiryolu istasyonu ve depolarındaki elektrik enerjisi ihtiyacının kesintisiz bir şekilde sağlayabileceğini savunmuşlardır [11].

Vasisht ve arkadaşları Hint demiryolları işletmesine katkı sağlaması için tren vagonlarının üzerine esnek güneş panellerinin konulması fikrini araştırmışlardır. Güneş panellerinin konulması ile dizel yakıt tüketiminin daha az kullanılmasını amaçlamışlardır. Çalışma için Hindistan'daki 120 km/h hızla giden 3 trene uygulama yapmışlardır. Deneysel sonuçlara dayanarak trenler günde en az 18 kWh elektrik enerjisi ürettiğini bunun da yıllık 1700 lt mazot tasarrufu sağladığını bulmuşlardır. Hindistan demiryollarında bulunan 63511 adet trene bu uygulamanın yapılması takdirde yıllık yaklaşık 108.5 milyon litre dizel tasarrufu yapabileceklerini savunmuşlardır [12].

Esen yaptığı çalışmada, adsorbsiyonlu soğutma sistemlerinin geçmişi, çalışma prensibi ve sistemin içten yanmalı motorlara sahip taşıtlarda uygulanabilirliği araştırılmıştır. Adsorbsiyonlu soğutma sistemlerinin avantaj ve dezavantajları, buhar sıkıştırılmalı sistemler ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca konu ile ilgili literatürdeki çalışmalar ve endüstriyel uygulamalar detaylı bir şekilde incelenmiş olup, adsorbsiyonlu sistemlerin gelecekte taşıtlardaki önemi ve kullanılabilirliği vurgulanmıştır [13].

Sapcı ve Heperkan yaptıkları çalışmada, araç iklimlendirme sistemlerinin çalışma prensipleri, soğutma sisteminde bulunan kompresör, kondenser, evaporatör, genleşme valfi ve nem tutucu filtre gibi sistem ana elemanlarının soğutma prosesindeki görevleri ile ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Sistemde bulunan sensör

tipleri ve çalışma prensipleri, araştırılmış tüm sensörlerin elektronik kontrol ünitesi ile olan bağlantısı detaylı olarak açıklanmıştır. Sistemin enerji ve ekserji analizleri, sistem elemanları göz önüne alınarak parametrik denklemler oluşturularak yapılmış ve sistem tasarımının bu parametrelerin değerlendirilerek yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır [14].

Wei Pang, Hongwen Yu, Yongzhe Zhang, Hui Yan yaptıkları çalışmada, araçlarda bulunan DC klima sisteminin batarya ya da içten yanmalı motordan alınan enerji ile çalıştırmak yerine FV panellerden üretilen elektrik enerjisi ile çalıştırmayı amaçlamışlardır. Böylece yakıt tasarrufu sağlanacak ve karbon salınımı azaltılmış olacaktır. Bu iklimlendirme sistemi aynı zamanda yaz aylarında araç durduğu esnada içeride artan sıcaklığın önüne geçebilmek için dizayn edilmiştir. Soğutucu gaz olarak R134a kullanılan ve asgari soğutma kapasitesinin 1500W olduğu bir sistemde insan vücudunun gereksinimlerini karşılayan bir iç sıcaklık elde edilebilmektedir [15].

Mei ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, otomobil klimalarında güneş enerjisi destekli termoelektrik (TE) soğutma teknolojisinin kullanılabilirliğinin belirlenmesi için analitik bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada iki temel konu olan güç gereksinimleri ve termoelektrik malzemelerin kullanılabilirliği irdelenmiştir. Çalışmada, TE klimalarının performansını tahmin etmek ve güç tüketimini analiz etmek için bir matematiksel model geliştirilmiştir. Sonuçlarda, 38 °C (100 °F) bir ortamda 4 kW (13.680 Btu/h) soğutma kapasitesini sağlamak için gereken gücün 9.5 kW olması gerektiğini göstermektedir. Klimaya uygun mevcut TE modülleri, bizmut telluritten yapılmıştır. Çalışmada elde edilen diğer bir sonuç da arabanın tavanı FV hücrelerle kaplandığı takdirde yaklaşık 225 W güç elde edilir. Bu güç miktarı da arabadaki klimanın fan motorunu fazlasıyla çalıştırmaya yetecek miktardadır [16].

Ertem yaptığı çalışmada, raylı sistem iklimlendirme ünitesi soğutma hesaplamalar için 98 kişi taşıma kapasiteli ve yaklaşık 24 m uzunluğunda vagon ele almış ve

incelemiştir. Sistemde kullanılacak olan evaporatör, kondenser, kompresör ve drier gibi ekipmanların seçimi yapılmıştır [17].

Biz bu çalışmamızda; TVS pulman vagonlarında güneş enerjisinden yararlanarak vagondaki klima sisteminin enerji ihtiyacının bir kısmını karşılamayı amaçladık. Çalışma FV panellerin konumlandırılması için vagonların çatısındaki dizayn kısıtlamalarına dikkat edilmiştir. Böylece güneş panellerinden üretilen enerji vagonların soğutması için gerekli elektrik enerjisi ihtiyacının bir kısmını sağlayabilecektir. Aynı zamanda trenin hareket enerjisinden faydalanmak suretiyle yapılan soğutma sisteminin yükü azaltılarak trenin harcadığı enerjide de tasarruf sağlanmış olacaktır.

BÖLÜM 3

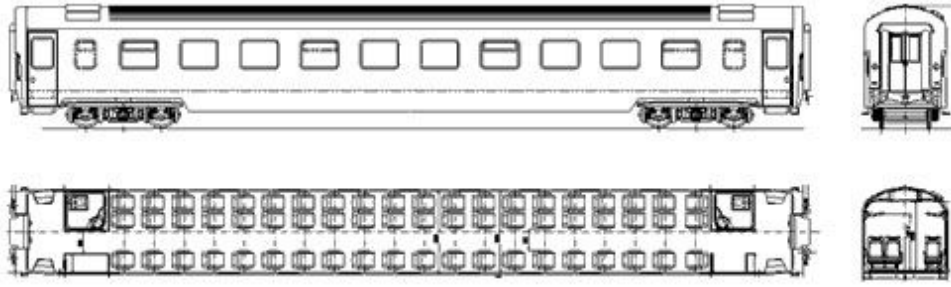
TVS PULMAN YOLCU VAGONLARINDA KLİMA SİSTEMİ

İklimlendirme sistemleri konforun artırılması amacıyla motorlu araçlarda kullanılan sistemlerin başında gelmektedir. Özellikle sıcak bahar ve yaz aylarında hareket eden taşıtın içerisinde sıcaklık sürekli artmakta ve klima sisteminin kullanımı şart olmaktadır.

3.1. VAGON TEKNİK ÖZELLİKLERİ VE EKİPMANLARI

Türkiye Vagon Sanayii A.Ş. (TÜVASAŞ) tarafından üretilen TVS-2000 PULMAN VAGON; seyir emniyeti, iç dekorasyon, estetik ve yolcu konforu açısından özgün bir anlayış açısından üretilmiştir. Çelik konstrüksiyon kullanılarak hafif bir yapıda üretilmiştir. Isı, ses ve korozyon izolasyonu etkin bir şekilde uygulanmıştır. İç dekorasyonunda modüler tasarım anlayışı benimsenmiştir. Koltuklar uzun yolculuklarda yolcu konforu sağlayacak şekilde ergonomik olarak tasarlanmıştır. Yolculuk sırasında yolculara bilgi verilmesi ve müzik yayınının yapılabilmesi için ses sistemi mevcuttur. Maksimum yolcu konforu sağlamak amacıyla, vagon tam otomatik iklimlendirme sistemi ile donatılmıştır. 160 km/h hıza uygun imal edilmiş çift kademeli düşey süspansiyon sistemine sahip Y-32 bojileri kullanılmıştır [18].

Şekil 3.1'de TVS Pulman Vagonun şematik çizimi gösterilmektedir. Çizelge 3.1'de de teknik özellikler verilmiştir.



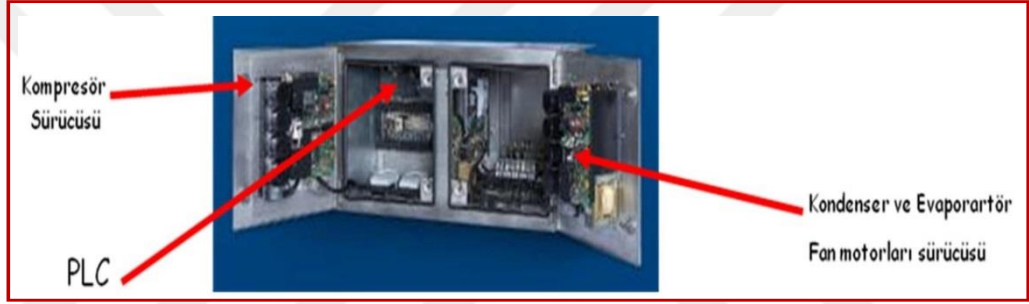
Şekil 3.1 TVS pulman vagon şematik çizimi [18].

Çizelge 3.1 TVS pulman vagon teknik özellikleri [19].

Ray açıklığı	1435 mm
Tampondan Tampona vagon boyu	26400 mm
Boji göbek eksenleri arası mesafe	19000 mm
Vagon genişliği	2825 mm
Vagon yüksekliği	4050 mm
Dış Kapılar	Pnömatik kayar kapı
Boji	Y-32
Gabari	UIC 505-1
Oturma Düzeni	2+1
Oturma Yer Sayısı	60
İklimlendirme Sistemleri	Isıtma:40 kW, Soğutma:35 kW, Taze hava :1200 m ³ /h
Döşeme Yüksekliği	1250 mm
Hareketli Basamak Yüksekliği	565 mm
Araç Ağırlığı (Boş / Dolu)	43/48 tons
Alın Duvar Geçit Kapıları	Sliding pneumatic
Tekerlek Çapı (Yeni / Aşınmış)	920/870 mm
Minimum Kurp Yarıçapı	150 m
Servis Freni	Pneumatic Disc Brake
Maksimum Hız	160 km/h
Aydınlatma Düzeni	Fluoreacent(indirect)

Pulman vagonlarda bir takım ekipmanlar vasıtasıyla iklimlendirme ihtiyacı karşılanmaktadır. Bu ekipmanlar aşağıdaki gibidir [17, 20].

- **Konvertör:** Raylı sistemlerin vagonlarında ihtiyaç dahilinde aynı elektriksel parametrelerde ve farklı güçlerde enerji üreten besleme üniteleridir. Bunlardan EBU 07 Konvertör Enerji Besleme Üniteleri Jeneratör vagonlarına 380 V AC akımı sağlayabilmek için kullanılan ve vagonların altına monte edilen konvertörlerdir. Bu konvertörler IP 65 koruma sınıfına sahiptirler [17, 21]. Şekil 3.2’de statik konvertörün genel görünüşü verilmiştir.



Şekil 3.2. Statik konvertörün genel görünüşü [17, 20].

- **E1 Dolabı:** Otomatik kapı kontrollerinin yapıldığı ve PLC grubu vasıtasıyla E2 dolabı ile iletişim halinde olmasını sağlayan dolaptır.
- **E2 Dolabı:** Vagonların ses ve aydınlatma sistemleri ile bunların kontrolü için tesis edilmiştir. İçerisinde PLC grubu vasıtasıyla E1 dolabı ile iletişim halindedir.
- **Akü Sandığı:** Akü sandıklarının görevi ilk kumanda gerilimini sağlamaktır ve her vagona 2 adet bulunur. Akü gruplarının bağlantısı ve görüntüsü şekil 3.3’te gösterilmektedir.



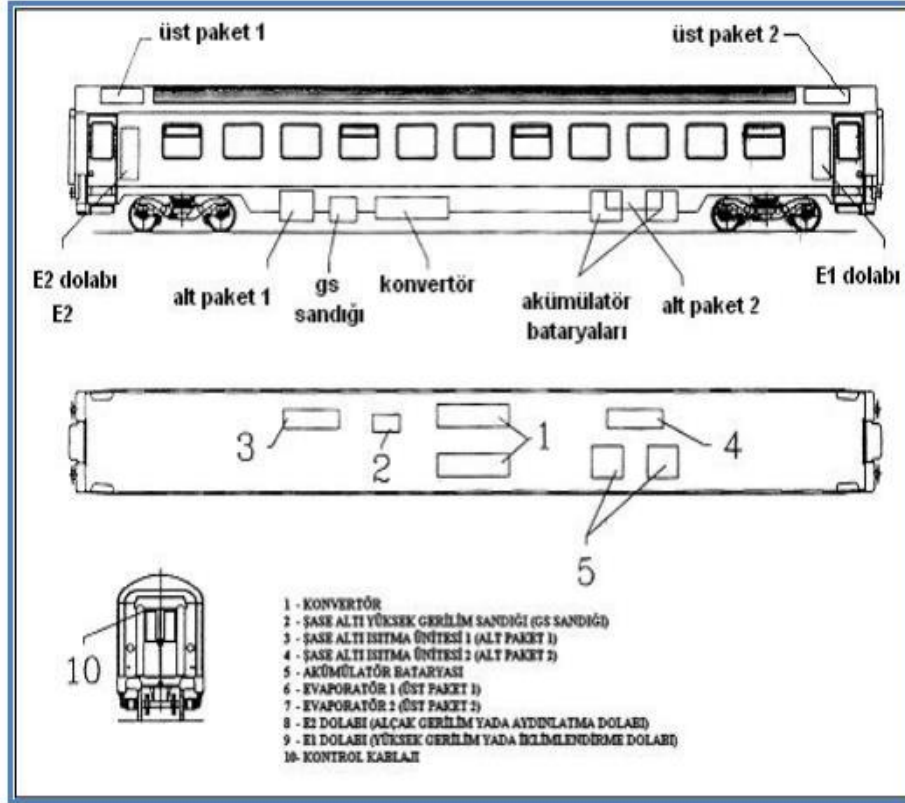
Şekil 3.3. Akü gruplarının görüntüsü [17, 20].

- **Inverter:** Tren lokomotiflerinde üretilen 72 V DC enerjinin ihtiyaca göre kullanılabilmesi için 220 V AC/50 Hz alternatif akıma çevrilmesi sağlayan tam sinüs ekipmandır. İnverter ünitesinin genel görüntüsü ve panosu şekil 3.4'te gösterilmektedir.



Şekil 3.4. İnverter ünitesinin görüntüsü [17, 20].

Şekil 3.5 vagonların genel görünüşünü vermektedir. Bu şekilde vagon ekipmanlarının yerleşim planı gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Vagonların genel görünüşü [17, 20].

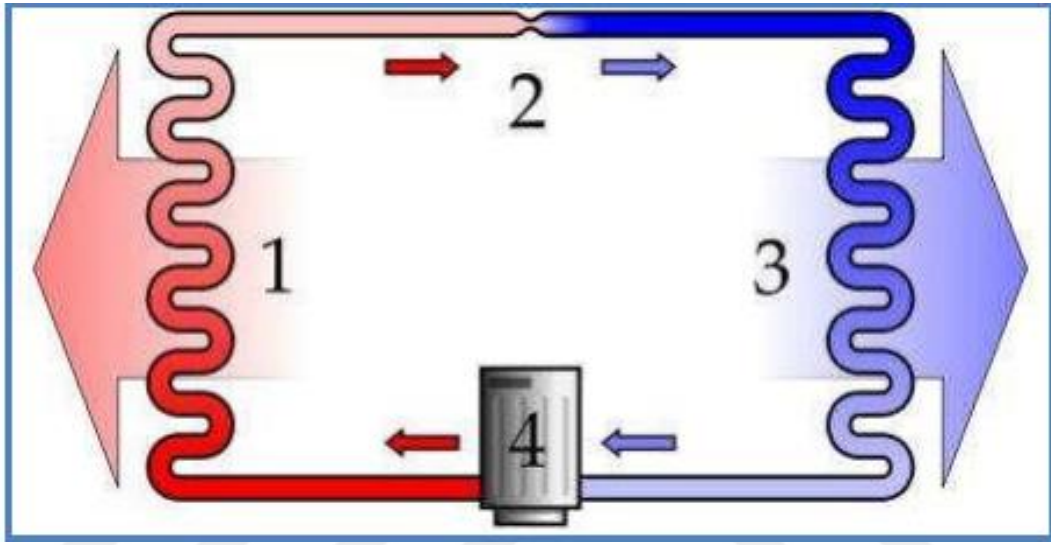
3.2. VAGONDAKİ KLİMA SANTRALİ

Klima, soğutma çevrimi kullanılarak bir ortamdan ısı çekerek o ortamın sıcaklığını ve nemini azaltmak suretiyle ortama yeni hava sağlamak üzere tasarlanmış sistemlerdir. Bulunulan ortamın sıcaklığının ayarlanabilmesi o ortamdaki insanların konforunu artırır. Aşırı ve düşük nem insan sağlığına negatif etki ederken aynı zamanda konforunu da düşürür. Bu nedenle klimalar sadece hava sıcaklığını düşürmekle yetinmez aynı zamanda nem oranını da ayarlar [20].

3.2.1. Klimanın Bileşenleri ve Çalışma Prensibi

Klimanın çalışma prensibi termodinamiğin ikinci kanunu tarafından açıklanabilir. Burada belirli bir basınç altında bulunan sıvı akışkanın istenilen sıcaklıkta buharlaştırılması ve ardından tekrar sıvı hale döndürülmesi şeklindedir. Öncelikle

çevrim için kullanılan gaz kompresör vasıtası ile sıkıştırılarak sıvılaştırılır. Ardından sıkıştırılan gaz genişleme valfi vasıtasıyla basıncı düşürülerek tekrar gaz haline döndürülür. Gaz haline dönüşme esnasında ortamdan ısı çekilmek suretiyle ortamın sıcaklığını düşürücü etki yaratır. Sonrasında kompresör tekrar sıvı haldeki akışkanı sıkıştırarak işlemi devam ettirir [22]. Şekil 3.6'da soğutma çevriminin basitleştirilmiş hali gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Basit soğutma çevrimi [20].

- Kondanser
- Genişleme vanası (Kısılma vanası olarak da rastlanabilir)
- Evaporatör (Buharlaştırıcı)
- Kompresör

3.2.1.1. Kondanser

Bir soğutma çevrimindeki kondanserin görevi, kompresör vasıtasıyla sıkıştırılmış yüksek sıcaklık ve yüksek basınçtaki gazın soğutularak yoğuşturulmasıdır. Soğutma sistemlerinde evaporatörde çekilen ısı ile kompresör tarafından akışkana kazandırılan toplam ısı kondenserde dışarı atılır. Kondenserlerin; su ile soğutulan, evaporatif ve hava ile soğutulan kondenser olmak üzere çeşitleri vardır [22,23]. Şekil 3.7'de kondenser gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Kondenser [22,23].

3.2.1.2. Genleşme Valfi

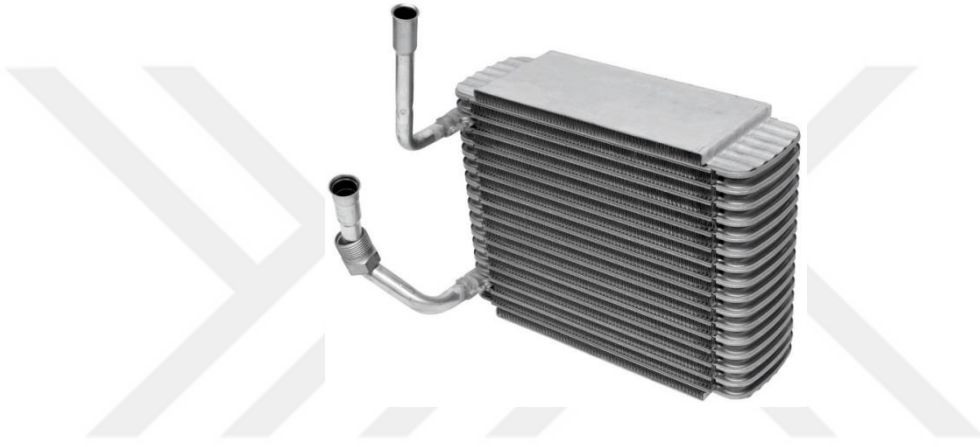
Genleşme valfi kondenserdan çıkan yüksek basınçlı soğutucu akışkanı istenilen evaporatör basıncına indirmeye yarayan kısma ekipmandır. Genleşme valflerinden verimli şekilde faydalanabilmek için, sistem yabancı maddelerden aşırı nemden ve korozyondan korunmalıdır [20,22]. Şekil 3.8’de genleşme valfi görülmektedir.



Şekil 3.8. Genleşme valfi [20].

3.2.1.3. Evaporatör

Evaporatöre aslında buharlaştırıcı da denebilir. Genleşme valfinde basıncı düşürülen soğutucu akışkan tekrar buharlaştırılarak çevre sıcaklığından daha düşük sıcaklıktaki mahallerin elde edildiği kısım olarak bilinir. Genelde bakır ve çelik borulardan imal edilen evaporatörler soğutulan ortamın cinsine göre farklı tiplerde elde edilir. Soğutulan ortam hava, su ya da hava-su karışımı olabilmektedir [22]. Şekil 3.9’da evaporatör görseli verilmiştir.



Şekil 3.9. Evaporatör görseli [22].

3.2.1.4. Kompresör

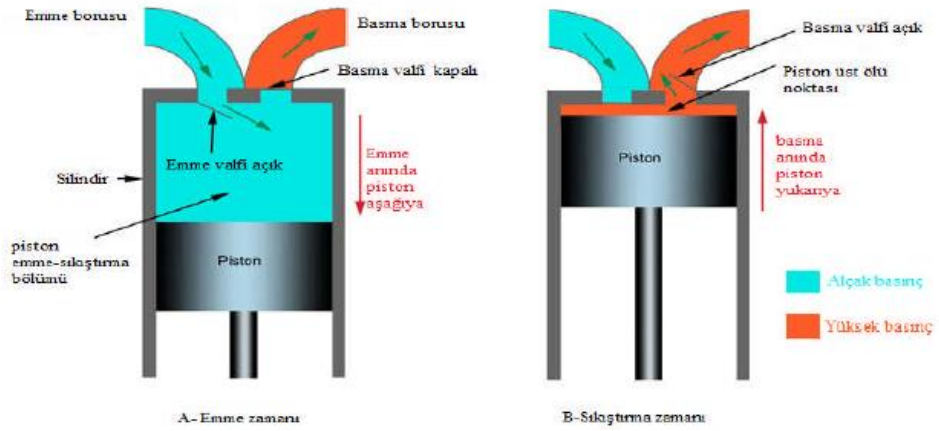
Soğutma makinelerinin en önemli elemanlarından biri olan kompresörler soğutucu akışkanı sıkıştırma ve yüksek basınca çıkarma görevini üstlenirler. Kompresörlerin kullanılan soğutma tesisinin yapısına uygun olarak seçilmesi gerekmektedir. Şekil 3.10’da kompresör gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Kompresör [22].

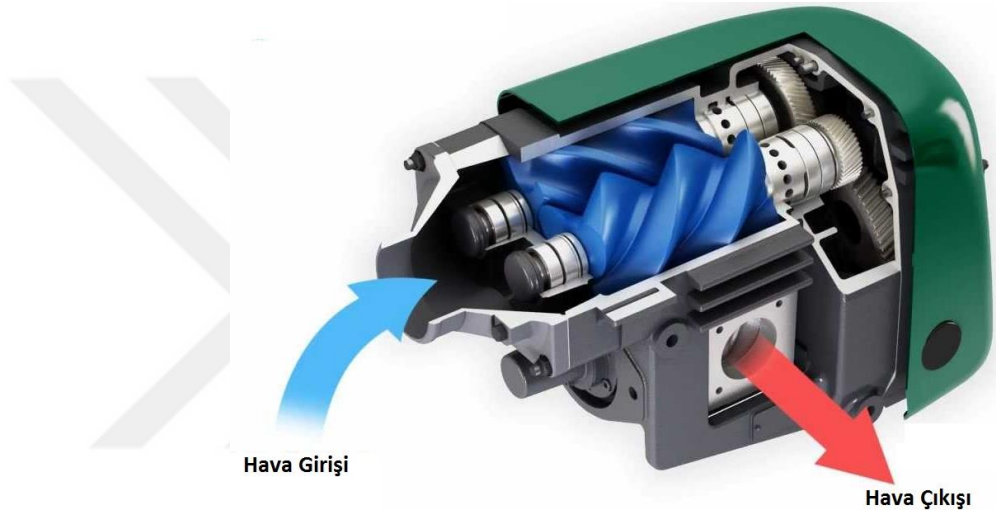
Kompresörler soğutma tesisinin cinsine göre 5 ana başlık altında aşağıdaki gibi toplanabilir [24].

- **Pistonlu Kompresörler:** Pozitif yer değişimi prensibine göre çalışan pistonlu kompresörler tüm teknik gazların sıkıştırılmasında kullanılabilir ve 2000 bara kadar sıkıştırma yapabilirler. Şekil 3.11’de pistonlu kompresörlerin yapısı gösterilmektedir.



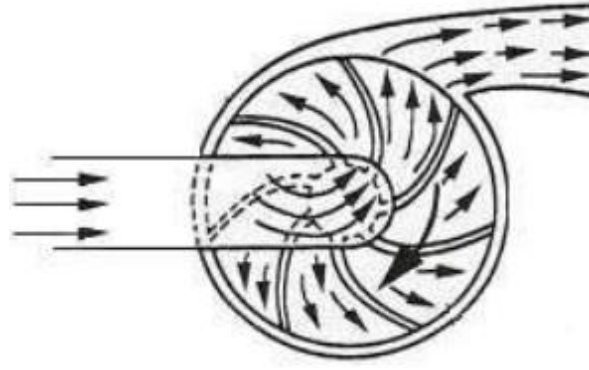
Şekil 3.11. Pistonlu kompresörleri yapısı [22].

- **Scroll Kompresörler:** Scroll kompresörler Arşimet spirali de denilen iki spiralden oluşmaktadır. Bu kompresörlerin bakım onarımı imkansız, verimi ve maliyeti yüksektir.
- **Vidalı Kompresörler:** Vidalı kompresörlerde soğutucu buharı sürekli olarak çekilir. Bu tip kompresörlerde motor ve kompresör birbirine kayış veya aks ile bağlanır. Vidalı kompresörlerde soğutma çıkışı kolaylıkla ayarlanabilir. Şekil 3.12’de vidalı kompresör gösterimi mevcuttur.



Şekil 3.12. Vidalı kompresör görseli [22].

- **Santrifüj Kompresörler:** Santrifüj kompresörlerde rotor çok hızlı şekilde dönerek merkezkaç kuvveti oluşturur. Merkezkaç kuvvetinin kullanımı ile gazın sıkıştırılması başarı ile gerçekleştirilir. Şekil 3.13’te santrifüj kompresör gösterilmektedir.



Şekil 3.13. Santrifüj kompresör [25].

- **Rotary (Döner) Kompresörler:** Rotary kompresörlerde gazı sıkıştırarak basınç oluşturma işlemi için bıçaklardan yararlanır. Gövde içindeki hareket, aksenal kayma hareketi ile sağlanır.

3.2.2. İklimlendirmenin Kontrolü

İklimlendirme sistemleri konfor şartlarının sağlanabilmesi için sürekli sabit güçte çalıştırılmazlar. Bu ekipmanların çalışma rejimi dış ortama bağlı olarak ayarlanmaktadır. Her vagonun giriş bölümünde kumanda dolapları bulunmaktadır ve bu kumanda dolapları vasıtasıyla ısıtma, soğutma ya da bunların ayarı yapılabilir. Eski tip araçlarda kondüktör bu işleme müdahale ederken yeni tip araçlarda ise sistemin kontrolü makinist tarafından yapılır [20].

3.2.3. Vagonlarda Kullanılan Klima Gazı Özellikleri

Vagonlarda bulunan klima gazları sahip oldukları özellikler neticesiyle ekonomik ve güvenilir olmalıdır. İlk zamanlarda vagonların soğutma ekipmanlarında amonyak ve karbondioksit kullanılırken günümüzde freon tercih edilmektedir. Soğutucu akışkanın sahip olması gereken özellikler aşağıdaki gibi olmalıdır:

- Buharlaşma sıcaklığı düşük olmalıdır.
- Zehir içermemeli ve yanmamalıdır.
- Metal yüzeylerle reaksiyona girmemelidir.

- Düşük güç ile çalışabilmeli ve buharlaşma ile sıvılaşması uygulanabilir basınç aralıklarında olmalıdır.
- Temini ve maliyeti düşük olmalıdır.

En çok kullanılan soğutma akışkanları; Freon 12, Freon 22 ve Freon 134a'dır.

3.2.4. Vagonların Aydınlatılması

Vagonların aydınlatılması floresan ampuller ile yapılmaktadır. Doğrudan 22 VAC gerilim kullanıldığı gibi kullanım kolaylığı için yolcu taşımacılığında 24 VDC gerilim kullanılmaktadır. 24 VDC gerilim kullanımının temel nedeni vagonların birbirinden ayrıldığı ya da bakıma alındığı durumlarda vagon aydınlatmasının mevcut akülerde yapılmaya devam etmesi olarak söylenebilir [20].

Vagon aydınlatmasının dışında sahanlık aydınlatması, tuvalet aydınlatması, yön ve bilgilendirme lambaları gibi ışıklandırma söz konusudur.

BÖLÜM 4

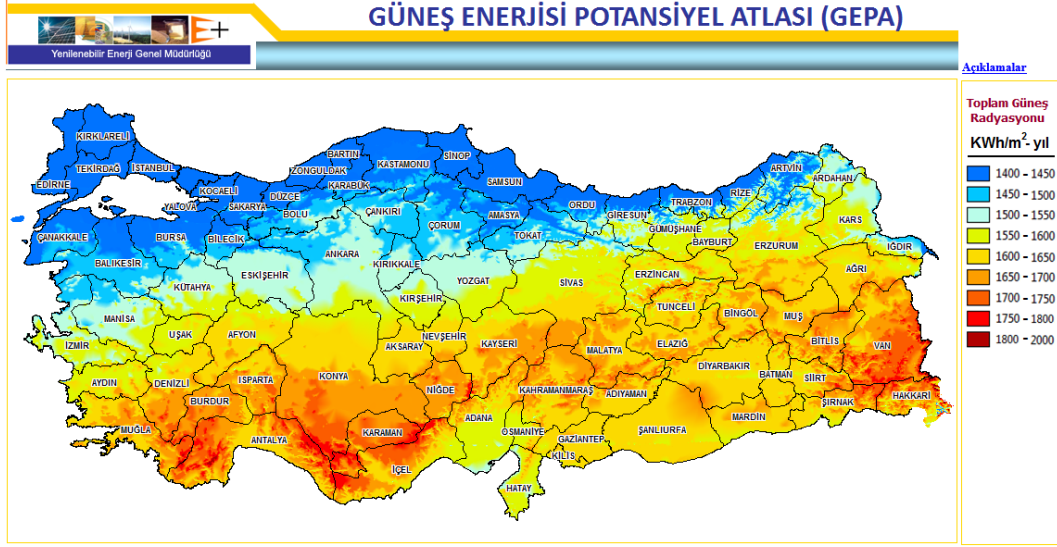
GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİ

Sonsuz ve temiz enerji kaynağı olarak da tanımlanan güneş enerjisi fosil yakıtlara en iyi alternatif enerji kaynaklarından biridir. Güneş enerjisinin potansiyeli ortaya çıktıkça güneş panelleri üzerinde yapılan çalışmalar hız kazanmıştır. Bu çalışmalarda güneş panellerinin birbiri ile etkileşimi, sızdırmazlığı, gölgelenmenin verim üzerindeki etkileri gibi konulara değinilmiştir [26].

4.1. TÜRKİYE’NİN GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ

Güneş enerjisi kaynağı sonsuz enerji kaynağı olarak da görülebilir. Yeryüzüne bir yılda düşen güneş enerjisi miktarı fosil yakıt kaynaklarının 160 katına eş değerdir. Fakat bu kaynağın kullanılabilir hale getirilmesi bir takım işlemleri yapmayı gerektirir [7].

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yayımlanan Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA)’ya göre Türkiye’nin güneşlenme süresi yıllık 2737 saat ve güneşlenme miktarı 1527 kWh/m^2 ’dir. Bu değerler ülkemizin güneş enerjisi potansiyeli açısından iyi bir konumda olduğunu göstermektedir [27]. Şekil 4.1’de Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyeli gösterilmektedir [28].



Şekil 4.1. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli [28].

Çizelge 4.1’de Türkiye’nin bölgelere göre güneş enerjisi potansiyeli gösterilmiştir. Bölgelere göre güneş enerjisi potansiyeli değerlendirildiği zaman ise en verimli bölgenin Güneydoğu Anadolu bölgesi, en düşük verimli bölgenin ise Karadeniz Bölgesi olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.1. Türkiye’nin bölgelere göre güneş enerjisi potansiyeli [27].

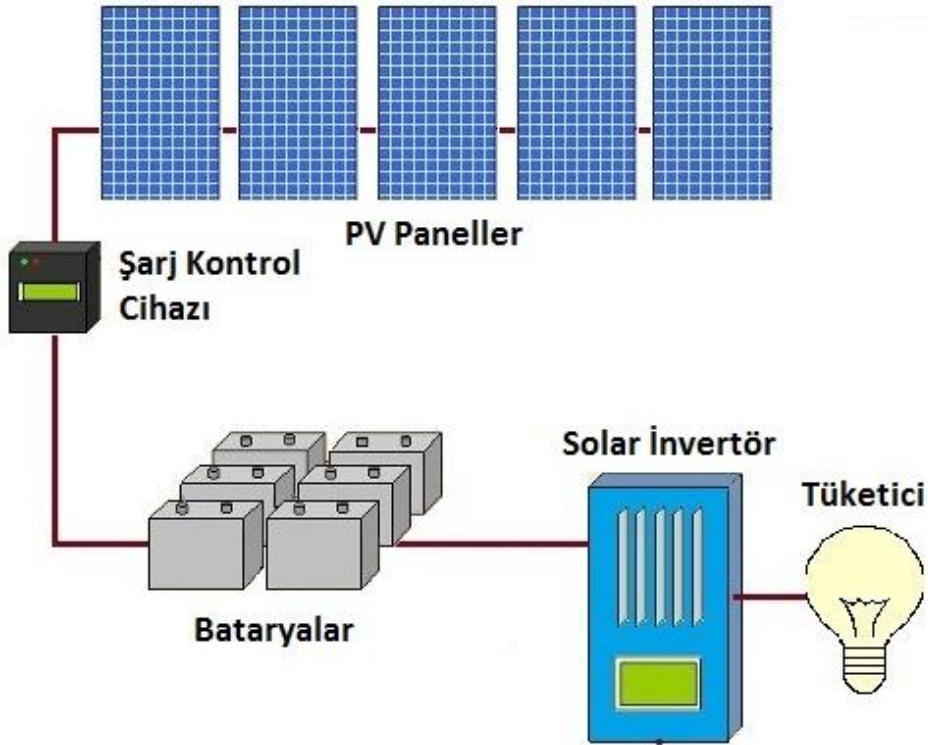
Bölge	Toplam Güneş Enerjisi	En Çok Güneş Enerjisi	En az Güneş Enerjisi	Güneşlenme Süresi
Güneydoğu Anadolu	1460	1980	729	2993
Akdeniz	1390	1869	476	2956
Doğu Anadolu	1365	1863	431	2664
İç Anadolu	1314	1855	412	2628
Ege	1304	1723	420	2738
Marmara	1168	1529	345	2409
Karadeniz	1120	1315	409	1971

4.2. GÜNEŞ PANELLERİ VE EKİPMANLARI

Yakıt maliyetinin olmaması, sabit yapıya sahip olması, 40-50 yıl gibi kullanım ömürlerinin olması ve zararlı emisyonlara sahip olmaması gibi nedenlerden dolayı fotovoltaik güneş panellerinin kullanımı günden güne artmaktadır [29]. Fotovoltaik sistemler kullanım şekillerine göre şebekeden bağımsız (off-grid) ya da şebekeye bağlı (on-grid) şekilde ayrılabilir.

4.2.1. Şebekeden Bağımsız (Off-grid) Fotovoltaik Sistemler

Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemler elektrik şebekesinin olmadığı, tüketim noktasına uzak olduğu ya da şebekenin kullanılmasının mümkün olmadığı durumlarda tercih edilen bir bağlantıdır. Bu sistemlerin en büyük avantajı tüketim ile üretim noktasının birbirine çok yakın olmasıdır [30]. Şekil 4.2’de şebekeden bağımsız sistemin şeması gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemin şeması [30].

4.2.2. Şebekeye Bağlı (On-grid) Fotovoltaik Sistemler

Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemlerde üretilen enerji şebekeye gönderilmektedir. Burada üretilen enerjinin bir kısmı tüketilebildiği gibi tamamı da şebekeye verilebilir. Tüketimin üretimden fazla olduğu durumlarda ise şebekeden enerji alınabilir [31]. Şekil 4.3'te şebekeye bağlı sistemin şeması gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Şebeke bağlı fotovoltaik sistemin şeması [31].

4.2.3. Solar Sistemde Kullanılan Ekipmanlar

4.2.3.1. Güneş Paneli

Fotovoltaik güneş panelleri güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretmeye yarayan ekipmanlardır. Güneş paneli üzerine düşen fotonların, elektronlarla etkileşimi sayesinde elektrik üretir. 1918 yılında geliştirilen Goehrsalski kristal büyüme metodu ile kristal silisyum üretimi sağlanmıştır [32]. Güneş panelleri içerisinde güneş pilleri vasıtasıyla elektrik üretir.

4.2.3.2. Güneş Pili Çeşitleri

Güneş pilleri isimlerini ürettikleri yarıiletken malzemelerden alırlar. Güneş pillerini birinci, ikinci ve üçüncü nesil güneş pilleri olarak sınıflandırmak mümkündür. Birinci nesil güneş pilleri silikon tabanlı güneş pilleridir. Silikon

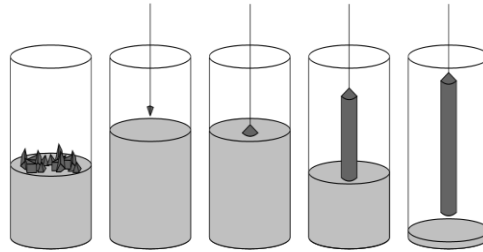
güneş pilleri monokristal silikon ve polikristal silikon piller olarak da bilinir. İkinci nesil güneş pilleri amorf silikon, kadmiyum tellürid ve bakır indiyum selenid gibi malzemeler içeren daha az silikon içeren ve daha düşük maliyetli pillerdir. Üçüncü nesil güneş pilleri ise birkaç ince film teknolojisi kullanılarak elde edilen yeni nesil güneş pilleridir [33].

Kristal Silisyum Güneş Pilleri

Kristal silisyum, fotovoltaik güneş panellerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. FV panellerin yaklaşık % 90'u kristal silisyum maddesi kullanılmaktadır. Silikonu saflaştırma işleminin kolay olmasından dolayı kristal silisyumlar tercih edilmektedir. Kristal silikon güneş pilleri elde edilme yöntemlerine göre monokristal ve polikristal olarak ikiye ayrılır.

Monokristal Güneş Pilleri

Monokristal güneş pilleri tek kristal silikon pillerdir ve polikristal güneş pillerine göre daha önce üretilmiştir. Monokristal güneş pilleri üretilirken “Czochralski Metodu” olarak bilinen bir yöntem kullanılır ve güneş pili, homojen yapıya sahip tek kristal halinde elde edilir. Bu pillerin verimleri yaklaşık % 15-% 18 arasındadır. Polikristal güneş pillerine göre daha verimli olmasına rağmen üretimi daha zor ve daha maliyetlidir. Şekil 4.4'te Czochralski Metodu uygulaması gösterilmiştir [34].



Şekil 4.4. Czochralski metodu uygulaması [34].

Polikristal Güneş Pilleri

Polikristal silikon piller düzensiz kristal yapıya sahiptir. Kare veya dikdörtgen bloklar şeklinde kesilen bu piller monokristal piller gibi homojen yapıya sahip değildir. Verimleri % 11-% 15 arasında değişmektedir ve maliyetleri monokristallere göre daha düşüktür. Verimi düşük olmasına rağmen maliyetinin verdiği avantaj sayesinde son yıllarda monokristal güneş pillerinden daha çok tercih edilmektedir. Şekil 4.5'te monokristal ve polikristal silikon paneller gösterilmektedir[34].



Şekil 4.5. Monokristal ve polikristal silikon güneş panelleri [34].

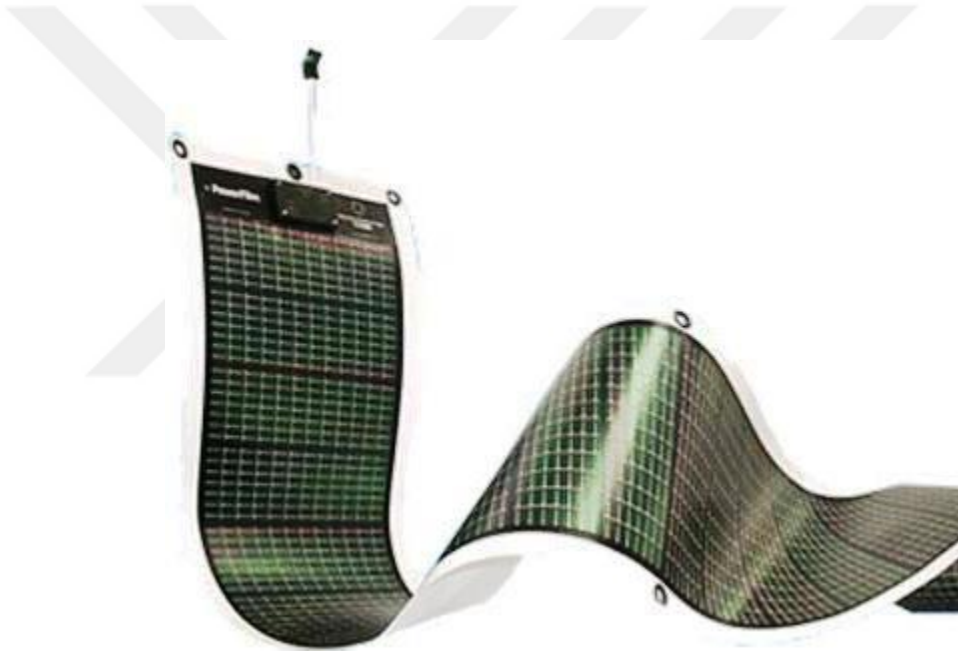
Çizelge 4.2'de kristal yapılu güneş pillerini verimlilik değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.2. Kristal yapılu güneş pillerinin verimlilik değerleri [35].

	Verim (Ticari)	Verim (Laboratuvar)
Monokristal Güneş Pilleri	% 15	% 24
Polikristal Güneş Pilleri	% 14	% 18

İnce Film Güneş Pilleri

Kalınlıkları 1-2 mikrometre civarında olan cam, plastik veya demir gibi tabakalar üzerine yarıiletken malzemelerin kaplanmasıyla elde edilen ince film güneş pilleri esnek yapıya sahiptir. Kadmiyum tellürid, bakır indiyum galyum selenid ve amorf silisyum içeren ince film güneş pilleri ticari olarak kullanılmaktadır. Kristal yapılu güneş pilleri ile karşılaştırıldığında üretim maliyetleri daha düşük ama bunun yanında verimleri de bir hayli düşüktür. Genel olarak verimleri için %5-%8 arasında değişmektedir. Şekil 4.6'da ince film güneş pillerinden oluşan güneş paneli gösterilmiştir.



Şekil 4.6. İnce film güneş paneli [36].

4.2.3.3. Batarya Grubu

Şebekeden bağımsız sistemlerde üretilen enerjinin direk tüketilmediği zamanlarda depolanmasını sağlayan ekipmanlardır. Genellikle jel akü kullanımı tavsiye edilir. Şekil 4.7'de solar sistemler için kullanılan jel akü gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Jel akü [29].

4.2.3.4. Şarj Kontrol Cihazı

Şarj kontrol cihazlarının temel görevi panellerde üretilen elektrik enerjisinin akülere şarj edilmesini kontrol etmektir. Sistemde maliyeti en düşük ekipmandır ancak yaptığı görev itibari ile önem arz etmektedir. Akülerin fazla şarj olmasını ve geceleri üretimin olmadığı zamanlarda akülerden panellere geri beslemeyi engeller. Şekil 4.8’de 20 amperlik şarj kontrol cihazı görülmektedir.



Şekil 4.8. Şarj kontrol cihazı [29].

4.2.3.5. Solar İvertör

Solar invertörler hem şebekeden bağımsız hem de şebekeye bağlı sistemlerde kullanılmaktadır. Her iki sistem için farklı yapıda üretilse de yaptıkları görev itibari ile her ikisi de panellerde üretilen DC enerjinin AC'ye çevrilmesinde görev yapmaktadır.

4.3. FV PANEL UYGULAMALARI

FV güneş enerjisi ihtiyaca göre farklı uygulamalarda kullanılmaktadır. Bunlardan bir kısmı elektrik tüketiminin tamamını karşılamak üzerine kullanılırken bir kısmı şebekeden gelen elektriğe destek olması adına kullanılmaktadır.

FV güneş enerjisinin en yaygın kullanıldığı yerler arazi uygulamalarıdır. Bu uygulamalarda üretilen elektrik enerjisi şebekeye verilir ve satış gerçekleşir. Buralarda tüketim sadece güvenliğin sağlanması ya da bunun gibi düşük güç ihtiyacı dahilinde gerçekleştiği için üretilen enerjinin tamamına yakını şebekeye verilir. Şekil 4.9'da FV güneş panellerinin arazi uygulaması görülmektedir.



Şekil 4.9. FV güneş enerjisi arazi uygulaması örneği [29].

Arazi uygulamalarından sonra en çok faydalanılan alan ise çatı uygulamalarıdır. Güneş panelleri yapıların çatılarına konulmak suretiyle üretilen elektriğin bir kısmı yapının ihtiyacını karşılarken bir kısmı şebekeye verilebilir. Ya da FV paneller vasıtasıyla üretilen elektriğin tamamı yapıda kullanılır. Son yıllarda çatı uygulamalarının yanında yapıların yüzey uygulamaları da artmıştır. Böylece yapının yan yüzeyleri hatta pencere araları FV güneş panelleri ile donatılmaktadır. Şekil 4.10'da FV güneş enerjisi sisteminin çatı uygulaması görülmektedir.



Şekil 4.10. FV güneş enerjisi çatı uygulaması örneği [29].

Arazi ve çatı uygulamalarının yanında gelişen teknoloji, fosil kaynakların azalması ve çevresel bilinç gibi bir takım faktörler vasıtasıyla FV güneş panelleri farklı alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Bunlar henüz ticari aşamalara gelemese de önümüzdeki yıllarda ticari olarak satılmaya başlanması beklenmektedir.

Bu uygulamalardan bir tanesi Avustralya'nın New South Wales eyaletinde bulunan 1949 yılına ait eski bir trene güneş panelleri eklenmesidir. 100 yolcu kapasitesine sahip trene 6.5 kW gücünde güneş panelleri ve 77 kWh'lik batarya konularak trenin hareketi sağlanmaktadır. Bu tren üzerine düşen güneş enerjisinden üretilen elektrik enerjisi yetersiz olduğu durumlarda da ihtiyacını arasında hareket ettiği iki istasyondan almaktadır. Bu istasyonlardaki şarj üniteleri de yine elektrik enerjisini güneş panellerinden sağlamaktadır. Tam şarjda 12-15 sefer yapabilen trende rejeneratif fren sistemi sayesinde enerji kaybını minimuma

indirmektedir. Şimdilik prototip olan tren ileriki yıllarda yaygınlaşma ihtimalini gösteriyor [37]. Şekil 4.11’de uygulamanın fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 4.11. FV güneş enerjisi ile çalışan tren [38].

Bir diğer uygulama ise otomobiller için geliştirilmektedir. Panasonic markası Toyota Prius marka otomobiller için FV güneş modülü geliştirmektedir. 180 W gücündeki FV modül, 12 V’luk kurşun asitli batarya ile lityum iyon bataryayı şarj edebilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu sayede aracın verimi %10 civarında artacağı iddia ediliyor [39]. Şekil 4.12’de güneş enerjili otomobilin prototip fotoğrafı gösterilmiştir.



Şekil 4.12. FV modül eklenen otomobil [39].

BÖLÜM 5

MATERYOL VE METOD

Vagonlardaki konfor şartlarını sağlayabilmek adına klima gücü belirlenirken öncelikle soğutma yükünün bulunması gerekmektedir. Soğutma yükü yapı bileşenlerinin, havalandırmanın, insan ve cihazların oluşturmuş olduğu ısı kazançları ile elde edilir [40]. Isı kazancı bir yapının, iletim, taşınım ve ışınım yoluyla elde ettiği ısı enerjisidir [41].

5.1. ISI KAZANCI HESABI

Soğutma yükü belirlenirken aracın toplam ısı kazancının bulunması gerekmektedir. Isı kazancı hesabı için eşitlik 5.1'deki gibi hesaplanır [17].

$$Q_{Toplam} = Q_{Yolcu} + Q_{iletim+Taşınım} + Q_{Taze Hava} + Q_{Infiltrasyon} + Q_{Aydınlatma} \quad (5.1)$$

5.1.1. Nem ve Sıcaklık Koşulları

Bir ortamdaki soğutma yükünün belirlenebilmesi için o ortamın ve elemanlarının yapısı, kesit özellikleri ve iklim bilgilerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu yüzden soğutulacak hacme ait fiziksel büyüklükler, yönler, hesaplama yapılacak mevsim, ay ve günler, aydınlatma ekipmanları, hacimde bulunan insan ve cihaz sayısı ve etkisi belirlenir [42]. Yapılan hesaplarda kullanılan nem ve sıcaklık koşulları Çizelge 5.1'de verilmiştir [17].

Çizelge 5.1 Cihaz tasarım koşulları [17].

	Kuru Termometre Sıcaklığı (°C)	Yaş Termometre Sıcaklığı (°C)	Bağıl Nem (%)	X (gr/kg)	H (kJ/kg)	q (kg/m ³)
Dış	40	26	25	14	19,2	1,124
İç	25	17,8	50	9,8	11,8	1,18

5.1.2. Cihazın Takılacağı Vagonun Özellikleri

- Aracın dış boyutları (H, W, L): 4.05 × 2.8 m × 26.4 m
- Aracın iç boyutları (H, W, L): 3.96 x 2.73 x 26.3
- Araçtaki maksimum insan sayısı: 60 kişi
- Aracın cam yüzey alanı: Aracın yan yüzey alanlarının % 25 i olarak kabul edildi.
- Aracın ortalama hızı: 90 km/h
- Saint-Gobain firmasından alınan verilere göre Double Glazing Unit 6mm (16mmcavity) için -ısı iletim katsayısı $K = 1,1 \text{ W/ m}^2\text{K}$ olarak verilmiştir. Camın yarma katsayısı 0,8, geçirgenliği ise % 77 olarak belirtilmiştir.
- Isı transferi tek boyutlu olarak kabul edilecektir.
- Radyasyonla ısı transferi ihmal edilecektir.
- İzolasyon malzemeleri arasındaki temas direnci de ihmal edilecektir.

5.1.3. Vagonun İzolasyon Özellikleri

Isı kazancının hesaplanabilmesi için vagonun tavan, taban, yan, ön ve arka yapı malzemelerin izolasyon özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Çizelge 5.2-5.6'da bu özellikler verilmiştir [17].

Çizelge 5.2. Tavan malzemeleri [17].

Malzeme Adı	Kalınlık (m)	k,ısı iletkenliği (kW/m°C)
Aluminyum	0,002	0,2
Kontraplak	0,012	$0,151 \times 10^{-3}$
Poliüretan	0,04	$3,137 \times 10^{-5}$
PVC	0,003	$0,232 \times 10^{-3}$

Çizelge 5.3. Taban malzemeleri [17].

Malzeme Adı	Kalınlık (m)	k, ısı iletkenliği (kW/m°C)
Poliüretan	0,03	$3,137 \times 10^{-5}$
PVC	0,003	$0,232 \times 10^{-3}$
Aluminyum	0,002	0,2

Çizelge 5.4. Yan duvar malzemeleri [17].

Malzeme Adı	Kalınlık (m)	k, ısı iletkenliği (kW/m°C)
Aluminyum	0,002	0,2
Cam yünü – Styrofoam	0,03	$3,784 \times 10^{-5}$
PVC	0,003	$0,232 \times 10^{-3}$

Çizelge 5.5. Ön döşemedeki malzemeler [17].

Malzeme Adı	Kalınlık (m)	k, ısı iletkenliği (kW/m°C)
Grp	0,003	$3,486 \times 10^{-5}$
Poliüretan	0,004	$3,137 \times 10^{-5}$
Aluminyum	0,002	0,2

Çizelge 5.6 Arka döşemedeki malzemeler [17].

Malzeme Adı	Kalınlık (m)	k, ısı iletkenliği (kW/m°C)
Grp	0,003	$3,486 \times 10^{-5}$
Poliüretan	0,04	$3,137 \times 10^{-5G}$
PVC	0,003	$0,232 \times 10^{-3}$
Kontraplak	0,012	$0,151 \times 10^{-3}$

5.1.4. Yan Duvarlar İçin Vagon Dış Hava Taşınım Katsayısı (h_o) nun " Hesaplanması

Havanın 40°C'deki fiziksel özellikleri çizelge 5.7'de verilmiştir [44].

Çizelge 5.7. 40 °C göre havanın fiziksel özellikleri [44].

Sıcaklık T °C	Özgül Kütle ρ , kg/m ³	Özgül Isı c_p , J/kg.K	Isıl İletkenlik k, W/mK	Isıl Yayınım Katsayısı α , m ² /s ²	Dinamik Viskozite μ , kg/m.s	Kinematik Viskozite ν , m ² /s	Prandtl Sayısı Pr
40	1.127	1007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255

$$Re = \frac{\rho VL}{\mu} \quad (5.2)$$

$$Re = \frac{1.127 \times 90 \times 26.4 \times \left(\frac{1000}{3600}\right)}{1.918 \times 10^{-5}}$$

$$Re = 3.878 \times 10^7 > 5 \times 10^5$$

Olduğu için akış türbülanslı denir ve diğer işlemler buna dikkat edilerek yapılır.

Türbülanslı akış için ortalama Nusselt Sayısı eşitlik 5.3'teki gibi ifade edilmektedir.

$$Nu = \frac{h_0 L}{k} = 0.037 x Re^{0.8} x Pr^{1/3} \quad (5.3)$$

Bu formülde yukarıda hesaplanan değerler yerine konulursa ortalama taşınım katsayısı aşağıdaki gibi elde edilir.

$$Nu = 0.037 x (3.878 x 10^7)^{0.8} x (0.7255)^{1/3} = 3914$$

$$h_0 = \frac{Nu k}{L} \quad (5.4)$$

$$h_0 = \frac{3914 x 0.2662}{26.4} = 39.5 \frac{W}{mK}$$

5.1.5. Yan Duvarlar İçin Vagon İç Hava Taşınım Katsayısı (h_i) nin Hesaplanması

Vagon içerisindeki hava akışının düşük olması nedeniyle iç duvarlarda doğal taşınım olduğu düşünülür. Doğal taşınımında ortalama Nusselt sayısı eşitlik 5.5'teki gibi ifade edilir.

$$Nu = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 x Ra^{1/4}}{[1 + (\frac{0.492}{Pr})^{1/4}]^{4/3}} \right\}^2 \quad (5.5)$$

Yan duvar boyunca olan Rayleigh Sayısı eşitlik 5.6 kullanılarak bulunur. Burada duvarların iç yüzey sıcaklığı 27 °C olarak kabul edilebilir. Buna göre $T_f = \frac{27+25}{2} = 26$ °C olarak bulunur. Bu sıcaklığa göre havanın fiziksel özellikleri Çizelge 5.8'de verilmiştir.

Çizelge 5.8. 26°C göre havanın fiziksel özellikler [44].

Sıcaklık T °C	Özgül Kütle ρ , kg/m ³	Özgül Isı c_p , J/kg.K	Isıl İletkenlik k, W/mK	Isıl Yayınlım Katsayısı α , m ² /s ²	Dinamik Viskozite μ , kg/m.s	Kinematik Viskozite ν , m ² /s	Prandtl Sayısı Pr
26	1.184	1007	0.02551	2.141x10 ⁻⁵	1.849x10 ⁻⁵	1.562x10 ⁻⁵	0.7296

$$Ra_L = \frac{g \beta x (T_{\infty dt_s} - T_{sd ts}) H^3}{\nu x \alpha} \quad (5.6)$$

Bu değerlere göre Ra:

$$Ra_L = \frac{9.81 \times \frac{1}{299} \times (27 - 25) \times 3.96^3}{1.562 \times 10^{-5} \times 2.141 \times 10^{-5}} = 1.218 \times 10^{10}$$

Bulunan Ra sayısına göre Nu :

$$Nu = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 \times (1.218 \times 10^{10})^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{0.7296} \right)^{\frac{9}{8}} \right]^{\frac{1}{4}}} \right\}^2 = 269.67$$

Buradan aracın iç yan duvarlarındaki ortalama taşınım katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$h_i = \frac{Nu k}{L} = \frac{269.67 \times 0.02551}{3.96} = 1.737 \frac{W}{mK}$$

5.1.6. Yan Duvarların Toplam Termal Direncinin ve Toplam Isı Geçişi Bulunması

$$\frac{1}{h_0} + \frac{l_{Al}}{k_{Al}} + \frac{l_{grp}}{k_{grp}} + \frac{l_{poliüretan}}{k_{poliüretan}} + \frac{1}{h_i} \quad (5.7)$$

$$R = \frac{1}{39.5 \times 10^{-3}} + \frac{0.002}{0.2} + \frac{0.03}{3.784 \times 10^{-5}} + \frac{0.003}{0.232 \times 10^{-3}} + \frac{1}{1.737 \times 10^{-3}} = 1407 \text{ m}^2 \cdot \frac{\text{C}}{\text{kW}}$$

Yan duvarlardan ısı geçiş kat sayısı aşağıdaki gibi bulunur:

$$U = \frac{1}{R_{top}} \quad (5.8)$$

$$U = \frac{1}{1407} = 6.8 \times 10^{-4}$$

Yan duvarlardan toplam ısı geçişi aşağıdaki gibi bulunur:

$$Q_{yan} = U \times A_{yan} \times (T_{dış} - T_{i}) \quad (5.9)$$

$$Q_{yan} = 6.8 \times 10^{-4} \times 2 \times (4.05 \times 26.4) \times 3/4 \times (40 - 25) = 1.635 \text{ kW}$$

5.1.7. Aracın Tavanında Gerçekleşen İletim Ve Taşınımla Olan Isı Transferinin Hesaplanması

5.1.7.1. Tavan İçin Dış Hava Taşınım Katsayısı (h_o) nun Hesaplanması

Aracın hızı ve dış hava koşulları değişmediğinden dolayı dış ortam için ortalama taşınım katsayısı aynı kalır.

$$\bar{h}_o = 39.5 \text{ W/m}^2\text{K}$$

5.1.7.2. Tavan İçin İç Hava Taşınım Katsayısı (h_i) nin Hesaplanması

Vagon içerisindeki hava akışının dışuk olması nedeniyle tavan içinde doğal taşınım olduğu dışunulur. Doğal taşınımda ortalama Nusselt sayısı aşağıdaki gibi bulunur:

$$L = \frac{A_s}{P} \quad (5.10)$$

$$L = \frac{2.73 \times 26.3}{2 \times (2.73 + 23.5)} = 1.38m$$

$$Ra_L = \frac{g \beta x (T_{\infty d_{i5}} - T_{s d_{i5}}) L^3}{\nu x \alpha} \quad (5.11)$$

Burada duvarların iç yüzey sıcaklığı 27 °C olarak kabul edilebilir. Buna göre;

$T_f = \frac{27+25}{2} = 26^\circ\text{C}$ olarak bulunur. Bu sıcaklığa göre havanın fiziksel Çizelge 5.9'da verilmiştir:

Çizelge 5.9. 26 °C göre havanın fiziksel özellikleri [44].

Sıcaklık T °C	Özgül Kütle ρ , kg/m ³	Özgül Isı c_p , J/kg.K	Isıl İletkenlik k, W/mK	Isıl Yayınım Katsayısı α , m ² /s ²	Dinamik Viskozite μ , kg/m.s	Kinematik Viskozite ν , m ² /s	Prandtl Sayısı Pr
26	1.184	1007	0.02551	2.141x10 ⁻⁵	1.849x10 ⁻⁵	1.562x10 ⁻⁵	0.7296

Bu değerlere göre:

$$Ra_L = \frac{9.81 \times \frac{1}{299} (27 - 25) 1.38^3}{1.562 \times 10^{-5} \times 2.141 \times 10^{-5}} = 5.16 \times 10^8$$

$$Nu_L = 0.27 \times Ra_L^{0.25} \quad (5.12)$$

Bu formüle göre iç ortamdaki ortalama taşınım katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Nu_L = 0.27 \times (5.16 \times 10^8)^{0.25} = 40.7$$

$$h_i = \frac{Nuk}{L} = \frac{40.7 \times 0.02551}{1.38} = \frac{0.75W}{m^2K}$$

5.1.7.3. Tavandan Gelen Toplam Termal Direncinin ve Toplam Isı Geçişi Bulunması

$$R = \frac{1}{h_0} + \frac{l_{Al}}{k_{Al}} + \frac{l_{pvc}}{k_{pvc}} + \frac{l_{poliüretan}}{k_{poliüretan}} + \frac{l_{kontorplak}}{k_{kontorplak}} + \frac{1}{h_i} \quad (5.13)$$

$$R = \frac{1}{39.5 \times 10^{-3}} + \frac{0.002}{0.2} + \frac{0.012}{0.151 \times 10^{-3}} + \frac{0.04}{3.137 \times 10^{-5}} + \frac{0.003}{0.232 \times 10^{-3}} + \frac{1}{0.75 \times 10^{-3}}$$

$$= 2725 \text{ m}^2 \cdot \frac{C}{kW}$$

Tavandan gelen ısı geçiş kat sayısı aşağıdaki gibi bulunur:

$$U = \frac{1}{R_{top}} = \frac{1}{2725} = 3.67 \times 10^{-4}$$

Tavandan gelen toplam ısı geçişi aşağıdaki gibi bulunur:

$$Q_{tavan} = U \times A_{Yan} \times (T_{dış} - T_{iç}) \quad (5.14)$$

$$Q_{tavan} = 3.67 \times 10^{-4} \times (2.8 \times 26.4) \times (40 - 25) = 0.407 \text{ kW}$$

5.1.8. Aracın Tabanında İletim Ve Taşınım Vasıtasıyla Gerçekleşen Isı Transferi

5.1.8.1. Taban İçin Dış Hava Taşınım Katsayısı (h_o) nun Hesaplanması

Aracın hızı ve dış hava koşulları değişmediğinden dolayı dış ortam için ortalama taşınım katsayısı aynı kalır.

$$\bar{h}_o = 32,76 \text{ W/ m}^2K$$

5.1.8.2. Taban İçin Vagonun İç Hava Taşınım Katsayısı (h_i) nin Hesaplanması

Vagon içerisindeki hava akışının düşük olması nedeniyle taban için doğal taşınım olduğu düşünülür. Doğal taşınımında ortalama taşınım katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$L = \frac{A_S}{P} \quad (5.15)$$

$$L = \frac{2.73 \times 26.3}{2 \times (2.73 + 23.5)} = 1.38m$$

$$Ra_L = \frac{g \beta x (T_{\infty dtş} - T_{s dtş}) L^3}{\nu x \alpha} \quad (5.16)$$

Burada duvarların iç yüzey sıcaklığı 27 °C olarak kabul edilebilir. Buna göre:

$$T_f = \frac{27 + 25}{2} = 26 \text{ °C olarak bulunur.}$$

Bu sıcaklığa göre havanın fiziksel özellikleri Çizelge 5.10'da verilmiştir.

Çizelge 5.10. 26 °C göre havanın fiziksel özellikleri [44].

Sıcaklık T °C	Özgül Kütle ρ , kg/m ³	Özgül Isı c_p , J/kg.K	Isıl İletkenlik k, W/mK	Isıl Yayınım Katsayısı α , m ² /s ²	Dinamik Viskozite μ , kg/m.s	Kinematik Viskozite ν , m ² /s	Prandtl Sayısı Pr
26	1.184	1007	0.02551	2.141x10 ⁻⁵	1.849x10 ⁻⁵	1.562x10 ⁻⁵	0.7296

Bu değerlere göre:

$$Ra_L = \frac{9.81 \times \frac{1}{299} (27 - 25) 1.38^3}{1.562 \times 10^{-5} \times 2.141 \times 10^{-5}} = 5.16 \times 10^8$$

$$Nu_L = 0.15xRa_L^{\frac{1}{3}}$$

Bu formüle göre iç ortamdaki ortalama taşınım katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Nu_L = 0.15x(5.16x10^8)^{\frac{1}{3}} = 120.3$$

$$h_i = \frac{Nuk}{L} = \frac{120.3x0.02551}{1.38} = \frac{2.22W}{m^2K}$$

5.1.8.3. Tabandan Gelen Toplam Termal Direncinin ve Toplam Isı Geçişi Bulunması

$$\begin{aligned} R &= \frac{1}{h_0} + \frac{I_{Al}}{k_{Al}} + \frac{I_{pvc}}{k_{pvc}} + \frac{I_{poliüretan}}{k_{poliüretan}} + \frac{1}{h_i} \\ &= \frac{1}{39.5x10^{-3}} + \frac{0.002}{0.2} + \frac{0.012}{0.151x10^{-3}} + \frac{0.04}{3.137x10^{-5}} \\ &\quad + \frac{1}{2.22x10^{-3}} = 1843 \text{ m}^2 \cdot \frac{C}{kW} \end{aligned}$$

Tabandan gelen ısı geçiş kat sayısı aşağıdaki gibi bulunur:

$$U = \frac{1}{R_{top}} = \frac{1}{1843} = 5.4x10^{-4}$$

Tabandan gelen toplam ısı geçişi aşağıdaki gibi bulunur:

$$Q_{taban} = UxA_{Yan}x(T_{dış} - T_{iç}) = 5.4x10^{-4}x(2.8x26.4)x(40 - 25) = 0.598 \text{ kW}$$

5.1.9. Vagonun Ön Tarafında İletim ve Taşınım Vasıtasıyla Gerçekleşen Isı Transferi

Vagonlar birbiri ardında hareket ettikleri için öndeki vagon arkadaki vagonun üzerindeki hava akışını etkileyecektir. Arkadaki vagonun dış hava akış hızı sıfır

olarak kabul edilebilir. Bundan dolayı yüzey üzerinde doğal taşınım olduğu kabul edilir.

5.1.9.1. Vagonun Ön Tarafı İçin Dış Hava Taşınım Katsayısı (h_o) nun Hesaplanması

Doğal taşınımında dikey duvarlar için ortalama Nusselt Sayısı aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$Nu = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 \times Ra^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr} \right)^{\frac{1}{6}} \right]^{\frac{1}{4}}} \right\}^2$$

Yan duvar boyunca olan Rayleigh Sayısı aşağıdaki formül kullanılarak bulunur.

$$Ra_L = \frac{g \beta \Delta T H^3}{\nu \alpha}$$

Bu değerlere göre Ra:

$$Ra_L = \frac{9.81 \times \frac{1}{299} (27 - 25) 3.96^3}{1.562 \times 10^{-5} \times 2.141 \times 10^{-5}} = 1.218 \times 10^{10}$$

Bulunan Ra sayısına göre Nu :

$$Nu = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 \times (1.218 \times 10^{10})^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{0.7296} \right)^{\frac{1}{6}} \right]^{\frac{1}{4}}} \right\}^2 = 269.67$$

Buradan aracın iç yan duvarlarındaki ortalama taşınım katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$h_i = \frac{Nu k}{L} = \frac{269.67 \times 0.02551}{3.96} = 1.737 \frac{W}{mK}$$

5.1.9.2. Ön Taraftan Gelen Toplam Termal Direncinin ve Toplam Isı Geçişi Bulunması

$$\begin{aligned} R &= \frac{1}{h_0} + \frac{I_{Al}}{k_{Al}} + \frac{I_{grp}}{k_{grp}} + \frac{I_{poliüretan}}{k_{poliüretan}} + \frac{1}{h_i} \\ &= \frac{1}{1.752 \times 10^{-3}} + \frac{0.002}{0.2} + \frac{0.03}{3.486 \times 10^{-5}} + \frac{0.04}{3.317 \times 10^{-3}} \\ &\quad + \frac{1}{1.737 \times 10^{-3}} = 2507.46 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{kW} \end{aligned}$$

Ön kısımdan gelen ısı geçiş kat sayısı aşağıdaki gibi bulunur:

$$U = \frac{1}{R_{top}} = \frac{1}{2507.46} = 3.98 \times 10^{-4}$$

Ön kısımdan gelen toplam ısı geçişi aşağıdaki gibi bulunur:

$$Q_{ön} = U x A_{Yan} x (T_{dış} - T_{iç}) = 3.98 \times 10^{-4} x (3.96 \times 2.73) x (40 - 25) = 0.0645 \text{ kW}$$

5.1.10. Vagonun Arka Tarafında İletim ve Taşınım Vasıtasıyla Gerçekleşen Isı Transferi

Vagonun arka kısmındaki hava koşulları ön kısımla aynı olduğu için h_o ve h_i ön kısımla aynı değerleri alır.

$$\bar{h}_o = 1,752 \text{ W/ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ ve } \bar{h}_i = 1,737 \text{ W/ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

5.1.10.1. Arka Taraftan Gelen Toplam Termal Direncinin ve Toplam Isı Geçişi Bulunması

$$\begin{aligned}
R &= \frac{1}{h_0} + \frac{I_{grp}}{k_{grp}} + \frac{I_{poliüretan}}{k_{poliüretan}} + \frac{I_{pvc}}{k_{pvc}} + \frac{I_{kontorplak}}{k_{kontorplak}} + \frac{1}{h_i} \\
&= \frac{1}{1.752 \times 10^{-3}} + \frac{0.002}{0.2} + \frac{0.012}{0.151 \times 10^{-3}} + \frac{0.04}{3.317 \times 10^{-3}} \\
&\quad + \frac{0.003}{0.232 \times 10^{-3}} + \frac{1}{1.737 \times 10^{-3}} = 2600 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{kW}
\end{aligned}$$

Arka kısımdan gelen ısı geçiş kat sayısı aşağıdaki gibi bulunur:

$$U = \frac{1}{R_{top}} = \frac{1}{2600} = 3.84 \times 10^{-4}$$

Arka kısımdan gelen toplam ısı geçişi aşağıdaki gibi bulunur:

$$Q_{yan} = U x A_{yan} x (T_{dış} - T_{iç}) = 3.84 \times 10^{-4} x (3.96 \times 2.73) x (40 - 25) = 0.0653 \text{ kW}$$

5.1.11. Vagonun Camlarında İletim ve Taşınım Vasıtasıyla Gerçekleşen Isı Transferi

Camların iç ve dış yüzeyindeki ortalama taşınım katsayıları yan duvarlardakiyle aynı koşullarda olduğu için birbirine eşittir.

$$\bar{h}_o = 39,5 \text{ W/ m}^2\text{K ve } \bar{h}_i = 1,737 \text{ W/ m}^2\text{K}$$

5.1.11.1. Camdan Gelen Toplam Termal Direncinin ve Toplam Isı Geçişi Bulunması

$$\begin{aligned}
R &= \frac{1}{h_0} + \frac{I_{grp}}{k_{grp}} + \frac{1}{h_i} = \frac{1}{39.5 \times 10^{-3}} + \frac{0.028}{1.1 \times 10^{-3}} + \frac{1}{1.737 \times 10^{-3}} \\
&= 626.5 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{kW}
\end{aligned}$$

Camdan gelen ısı geçiş kat sayısı aşağıdaki gibi bulunur:

$$U = \frac{1}{R_{top}} = \frac{1}{626.5} = 1.6 \times 10^{-3}$$

Camdan gelen toplam ısı geçişi aşağıdaki gibi bulunur:

$$Q_{yan} = U \times A_{yan} \times (T_{dış} - T_{iç}) = 2 \times [1.6 \times 10^{-3} \times (3.96 \times 2.73) \times 0.25 \times (40 - 25)] = 1.3 \text{ kW}$$

5.1.12. İnsanlardan Gelen Isı Kazancının Hesaplanması

İnsanlardan gelen ısı kazancı eşitlik 5.17'deki gibi hesaplanır.

$$Q_{yolcu} = n \times q_{insan} \quad (5.17)$$

Yukarıdaki eşitlikte;

$$n \text{ (Vagon içerisindeki maksimum insan sayısı)} = 60$$

q_{insan} (EN 14750-1 standardına göre bir insandan yayılan ısı miktarı) = 115 W

Bu değerlere göre vagon içerisindeki insanlardan yayılan toplam ısı miktarı:

$$Q_{paccenger} = 60 \times 115 = 6,9 \text{ kW}$$

5.1.13. Vagona Taze Havadan Gelen Isı Kazancının Hesaplanması

$T_g = 40 \text{ °C}$ ve $T_ç = 22 \text{ °C}$ sıcaklıkları için havanın entalpi değerleri termodinamik tablodan $h_g = 312,76 \text{ kJ/kg}$ ve $h_ç = 295,17 \text{ kJ/kg}$ olarak bulunur. Isı kazancı eşitlik 5.18'den bulunur.

$$Q_{Taze Hava} = \rho_{hava} \times \dot{V}_{Taze Hava} \times (h_g - h_ç) \quad (5.18)$$

Elde edilen veriler yukarıdaki formülde yerlerine konularak;

$$Q_{taze} = 1.22 \times 1200 / 3600 \times (312.76 - 295.17) = 7.08 \text{ kW}$$

5.1.14. Aydınlatmadan Gelen Isı Kazancı

Vagonun aydınlatma gücü ortalama, 10 W/m^2 olarak alınabilir.

$$\text{Vagonun toplam iç yüzey alanı} = 2 \times (3.96 \times 2,73) + 2 \times (3.96 \times 26,3) + 2 \times (2,73 \times 26,3) = 374 \text{ m}^2$$

$$Q_{\text{aydınlatma}} = 374 \times 10 = 3,74 \text{ kW}$$

5.1.15. Aracın Toplam Isı Kazancı

$$Q_{\text{TopSam}} = Q_{\text{yan}} + Q_{\text{Tavan}} + Q_{\text{Taban}} + Q_{\text{Ön}} + Q_{\text{Arka}} + Q_{\text{insan}} + Q_{\text{camdan}} + Q_{\text{Taze Kava}} + Q_{\text{Aydınlatma}} \quad (5.19)$$

$$Q_{\text{topSam}} = 1.635 + 0.407 + 0.598 + 0.0645 + 0.0653 + 6,9 + 1.3 + 7.08 + 3,74 = 22 \text{ kW}$$

5.2. FOTOVOLTAİK GÜNEŞ PANELİ GÜCÜNÜN MATEMATİKSEL MODELİ VE ÜRETİLEN ENERJİ

Güneş enerjisinden saatlik ışıma ve hava sıcaklığına göre üretilen güç eşitlik 5.20-5.21'den elde edilir [43]. Burada N_{module} panel sayısını göstermektedir ve vagon üzerine yerleştirilebilecek panel sayısı bellidir. Vagon üzerindeki bakım için konulan kapaklar düşünülerek yapılan dizaynda her vagon üzerine 26 adet panel konulmaktadır.

$$P_{pv}(t) = N_{\text{module}} \cdot V_{mpp} \cdot I_{mpp} \cdot \frac{R(t)}{1000} \left[1 - \frac{K_p}{100} (T_C(t) - T_R) \right] \quad (5.20)$$

$$T_C(t) = T_A(t) + \frac{NOCT-20}{800} R(t) \quad (5.21)$$

$R(t)$: Saatlik ışım (W/m²),

NOCT: Nominal işletme hücre sıcaklığıdır (°C),

$T_A(t)$: Hava sıcaklığı (°C),

$T_C(t)$: Hücre sıcaklığı (°C),

$P_{pv}(t)$: Maksimum güç izleme noktasındaki üretilen güç (W),

N_{module} : Modül sayısı,

V_{mpp} : Maksimum güç noktası voltajı,

I_{mpp} : Maksimum güç noktası akımı,

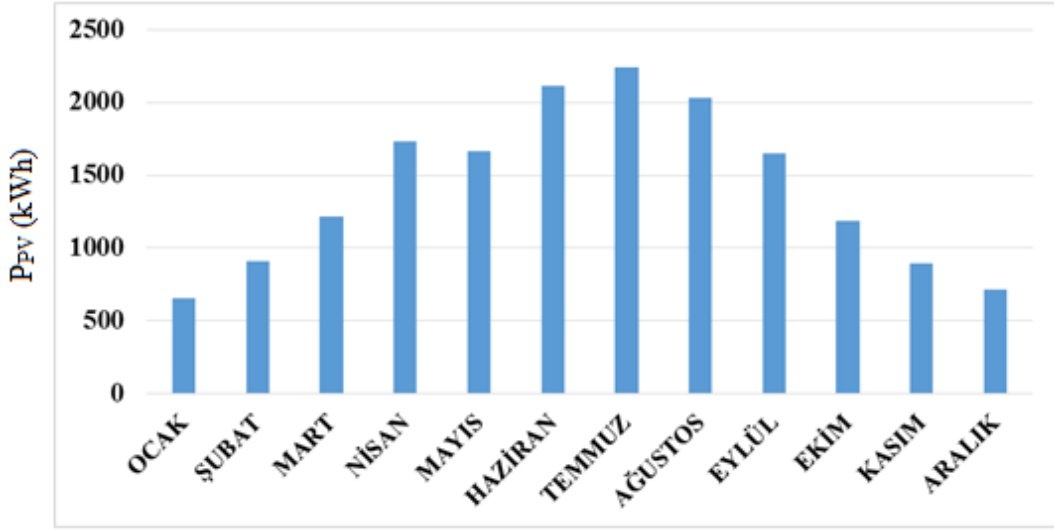
K_p : Maksimum güç sıcaklık katsayısı (%/°C),

T_R :Standart test şartlarındaki hücre sıcaklığı (°C)

Eşitlik 5.20 ve 5.21 Kullanılarak aylara göre elde edilen güçler çizelge 5.11’de verilmiştir.

Çizelge 5.11. Her ay için toplam güç [43].

AYLAR	$P_{pv}(kWh)$
OCAK	656
ŞUBAT	913
Mart	1217
NİSAN	1729
MAYIS	1661
HAZİRAN	2111
TEMMUZ	2237
AĞUSTOS	2032
EYLÜL	1649
EKİM	1186
KASIM	896
ARALIK	718



Şekil 5.1. Her ay için toplam güç grafiği [43].

Yetkililerden alınan bilgiye göre tren bir ay içerisinde ortalama 20 gün çalışmaktadır. 30 gün boyunca üretilen elektrik enerjisinin trenin 20 gün boyunca iklimlendirme ihtiyacı için kullanıldığı varsayılarak hesaplamalar yapılmıştır.

Bir vagon için tüketilen enerjinin hesaplanması Eşitlik 5.22'ye göre yapılmıştır. Burada E_T bir vagonun bir ayda tükettiği elektrik enerjisini, P soğutma yükünü yani 22 kW'ı ifade etmektedir. t_c , tam yükte çalışma saatini göstermektedir ve yetkililerden alınarak kullanılmıştır. G_a , aylık trenin çalıştığı gün sayısını göstermektedir. Tam yükte çalışma saati de yine yetkililerden alınarak kullanılmıştır.

$$E_T = P \times t_c \times G_a \quad (5.22)$$

Soğutma işlemi Mayıs-Eylül ayları arasında olduğu için bu aylar arası FV panellerden üretilen enerji klima sisteminde kullanılacaktır. Ağustos ayı üzerinden örnek bir hesaplama yapmak gerekirse;

$$E_T = 22 \times 11 \times 20 = 4840 \text{ kWh} \quad \text{olarak elde edilir.}$$

Ağustos ayı için üretilen elektrik enerjisinin iklimlendirme için tüketilen elektrik enerjisine oranı elde edilecek olursa;

$$\frac{2032 \text{ kWh}}{4840 \text{ kWh}} = 0.41 = \% 41 \text{ olarak bulunur.}$$

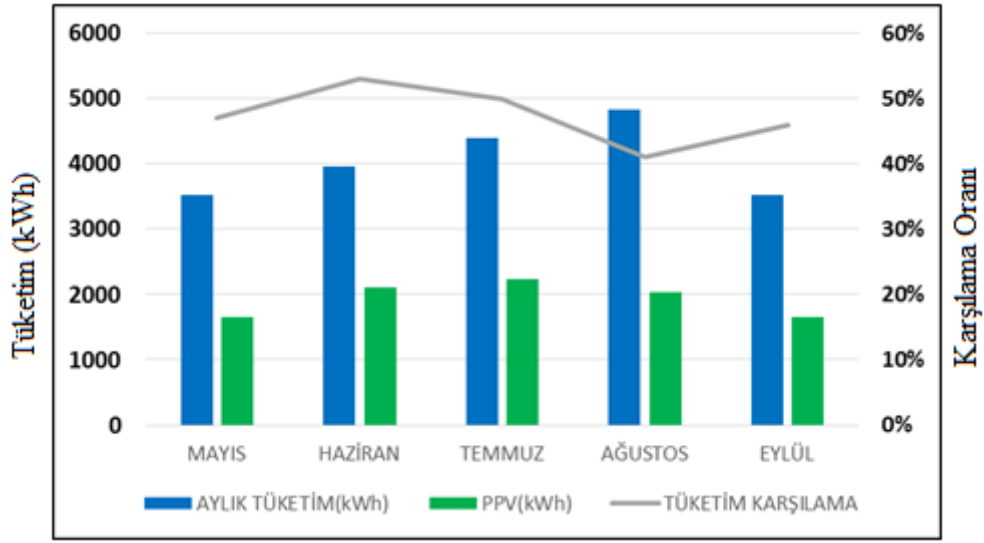
Bu oran tüketimi karşılama oranı olarak da söylenebilir.

Yukarıdaki eşitliğe göre diğer aylar için de hesap yapılacak olursa çizelge 5.12 elde edilir. Bu çizelgede tüketimi klimaların tüketimi, FV panellerin üretimi ve tüketimi karşılama oranları verilmiştir.

Çizelge 5.12 Üretilen ve tüketilen enerjiler ve tüketimin karşılama oranı [43].

Aylar	Klimaların Aylık Tüketimi (kWh)	FV Panellerin Üretimi (kWh)	Tüketimi Karşılama Oranı (%)	Tam Yükteki Çalışma Saati
Mayıs	3520	1661	47	8
Haziran	3960	2111	53	9
Temmuz	4400	2237	50	10
Ağustos	4840	2032	41	11
Eylül	3520	1649	46	8

Şekil 5.2 aylara göre üretim, tüketim miktarları ve üretimin tüketimi karşılama oranını göstermektedir.



Şekil 5.2. Aylara göre üretim ve tüketim grafiği [43].

Şekil 5.2'ye göre haziran ayında en yüksek tüketimi karşılama oranına ulaşılırken ağustos ayında bu oran soğutma talebinin yüksekliği nedeniyle en düşük seviyededir.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. SONUÇLAR

Ülkemizde demiryolu ile yolcu taşımacılığı günden güne artmaktadır. Vagon üstlerinin boş olması ve güneş panellerinin yerleşimi için müsait olması buraların değerlendirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Durum böyle iken vagonların üzerleri FV güneş panelleri kaplanarak elektrik enerjisi üretilebilir. Üretilen enerji gerek vagonların soğutmasında gerek havalandırmasında gerekse aydınlatmada kullanılabilir.

Yaz aylarında vagonlarda soğutmadan kaynaklı tüketilen elektrik enerjisi miktarı artmaktadır.

Yapılan çalışmada TVS Pulman vagonlarının çatıları için fotovoltaik panel konulması düşünülmüş ve neticede üretilen elektrik enerjisi ile mayıs-eylül ayları arasında soğutmadan kaynaklı elektrik tüketimi üretilen enerji ile sağlanmaya çalışılmıştır.

Yapılan hesaplamalar neticesinde 22 kW'lık soğutma yükünü karşılayabilmek için klimanın aktif olarak kullanıldığı mayıs-eylül ayları arasında FV panellerden üretilen elektrik enerjisi miktarı 9.690 kWh, diğer ayların da dahil olduğu tüm yıl boyunca üretilen elektrik enerjisi miktarı 17.005 kWh olarak hesaplanmıştır. Mayıs-eylül ayları arasında FV panellerden üretilen enerjinin soğutma yükünü karşılama oranına bakıldığında % 41-53 arasında olduğu görülmektedir.

Yolcu taşımacılığında şu an için Türkiye'de faal halde 139 adet TVS Pulman vagon kullanılmaktadır. Eğer tüm TVS Pulman vagonların çatılarına FV panel

uygulaması yapılacak olursa klimanın aktif kullanıldığı mayıs-eylül ayları baz alındığı takdirde yılda 1.346.910 kWh elektrik enerjisi üretimi gerçekleşir. 12 ay üzerinden elektrik üretimi hesaplandığı takdirde de 139 adet TVS Pulman vagon için 2.363.695 kWh üretim gerçekleşir.

6.2. ÖNERİLER

Ayrıca FV panellerden kış aylarında üretilen enerji aydınlatma sistemlerinde kullanılabilir. Böylece yaz aylarında yüksek elektrik tüketimine karşılık yüksek elektrik üretimi söz konusu iken kış aylarında düşük elektrik üretimi ile aydınlatma ihtiyacı karşılanabilir.

Böyle bir uygulamanın diğer bir olumlu yanı üretilen elektrik enerjisinin direk yerinde tüketilerek enerji nakillerinde gerçekleşen kaybın önüne geçilmiş olmasıdır. Diğer bir deyişle kayıp-kaçak enerjinin önüne geçilebilir.

Bu trenlerde seyahat eden yolculara güneş enerjisinden elektrik üretimi sayesinde klimaların elektrik ihtiyacının bir kısmının karşılandığı anlatıldığı zaman çevre bilincinin ve çevre hassasiyetinin artması sağlanabilir. Özellikle küçük ve genç yaştaki yolcular açısından bu oldukça önemlidir.

Bu çalışma daha da geliştirilerek trenin yan yüzeylerine FV güneş paneli kaplanabilir ve böylece üretilen enerji artırılır. Yakın gelecekte elektrikli araçların kullanımını arttıkça araçların tepelerine ve yan yüzeylerine gövde rengi ile uyumlu FV güneş panellerinin olacağı öngörüsü göz önünde bulundurulursa yolcu trenlerinde bu sistemlerin uygulanması çok daha makul olacaktır.

Bu sistem gelecekte göz önünde bulunularak yeni vagon üretimlerinde değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

1. Adaçay, F. R., “Türkiye İçin Enerji ve Kalkınmada Perspektifler” *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* . 6(2): 87-103 (2014).
2. Yılmaz, M., “Türkiye’nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi”, *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi* 4(2): 33-54 (2012).
3. Kesbiç, C.Y., Şimşek, H., “Avrupa Birliği Ortak Enerji Politikası”, *Muğla Üniversitesi Sbe Dergisi* Güz Sayı 5, 1-19 (2001).
4. Yılmaz, S., Kalkan, D.K.,”Enerji Güvenliği Kavramı: 1973 Petrol Krizi Işığında Bir Tartışma” *Journal of Crises and Political Research* 1(3): 169-199, (2017).
5. Üstün, K., A., Apaydın, M., Başaran, Filik ve Ü. Kurban, M., “Kyoto Protokolü Kapsamında Türkiye’nin Yenilenebilir Enerji Politikalarına Genel Bir Bakış” *V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu* 23:28, Diyarbakır (2009).
6. Arı, M., Bilgin, G., ve Özcan, O., “Alternatif Enerji Kaynaklarından Güneş Enerjisinin Günlük Hayatta Kullanılabilirliği ve Güneş Enerjisi ile Çalışan Piknik Sepeti Tasarımı”, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Özel Sayı*, 1: 163-171 (2017).
7. Tabak, A., “Karabük Şartlarında Fv Güneş Enerjisi, Rüzgar Enerjisi Ve Biyogaz Hibrit Enerji Üretim Sisteminin Potansiyel Araştırması Ve Sistemin Optimizasyonu” *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora Tezi. 11-12, (2018).
8. Özgür Solmaz “Güneş Enerjisi Destekli (Pv) Çalışan Taşıt Klima Sisteminin Dinamik Performansının Araştırılması” *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora Tezi, (2013).
9. Sinan Şekerci, “Raylı Sistem Klima Cihazlarının Performans Analizi, ” *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Termodinamik Programı, (2013).
10. Jaffery, S.H.I., Khan, M., Ali, L., Khan, H.A., Mufti, R.A., Khan, A., Khan, N., Jaffery, S.M., “The potential of solar powered transportation and the case for solar powered railway in Pakistan”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 39, Pages 270-276 (2014).

11. Vaičiūnas, G., Bureika, G., Liudvinavičius, G., “Expedience of Applying Solar and Wind Hybrid Power-plants in Railway”, *Infrastructure Objects Procedia Engineering* Volume 134, Pages 9-13 (2016).
12. Vasisht, S., M., Vashista, G.A., Srinivasan, J., Ramasesha, S. K., “Rail coaches with rooftop solar photovoltaic systems: A feasibility study”, *Energy* Volume 118, 1 January, Pages 684-691, (2017).
13. Esen, D.Ö., “Adsorbsiyonlu Soğutma Sistemlerinin Motorlu Taşıtlarda Kullanılabilirliği”, *Mühendis ve Makine*, 49:577, 22-25 (2007).
14. Sapcı, B., Heperkan, H.A., “Araç İklimlendirme Sistemlerinin Çalışma Prensiplerinin Ve Verimliliğinin Araştırılması”, *İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi - İAÜD* - ISSN: 1309-1352, Temmuz, 10: 3 (37-56) (2018).
15. Pang, W., Yu, H., Zhang, Y., Yan, H., Solar photovoltaic based air cooling system for vehicles, *Renewable Energy*, Volume 130, January, Pages 25-31 (2019).
16. Mei, V.C., Chen, F.C., Mathiprakasam, B. and Heenan, P., “Study of Solar-Assisted Thermoelectric Technology for Automobile Air Conditioning” *J. Sol. Energy Eng* 115(4), 200-205, Nov 01, (1993)
17. Murat Ertem, “Hafif Raylı Sistem İklimlendirme Ünitesi Tasarımı” *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi Makine Mühendisliği Bölümü*, Termodinamik Anabilim Dalı (2011).
18. İnternet: Türkiye Vagon Sanayii A.Ş. “Ürünlerimiz” , http://www.tuvasas.com.tr/index.php?sayfa=urun_detay&urun_no=14, (2019).
19. İnternet: Türkiye Vagon Sanayii A.Ş. “Ürünlerimiz” , <http://www.tuvasas.com.tr/mobil/u-pulman-vagon-14.html> (2019).
20. Millî Eğitim Bakanlığı, Raylı Sistemler Teknolojisi “Raylı Sistem Araçları Aydınlatma Ve İklimlendirme Sistemleri”, **MEB**, Ankara, (2013).
21. Sertsöz, M., “Raylı Sistemlerde Enerji Depolama”, **Demiryolu Mühendisleri Derneği Railway Engineering**, 2: 63-66 (2015).
22. Bulut, H., “Soğutma ve Klima Tekniği Ders Notlar”, **Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü**, Şanlıurfa (2017).
23. Heyns, J.,A., “Performance characteristics of an air-cooled steam condenser incorporating a hybrid (dry/wet) dephlegmator”, **Department of Mechanical Engineering University of Stellenbosch**, Master Thesis December. (2008).

24. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, “Elektrik- Elektronik Teknolojisi, Soğutma Sistemleri Elemanları”, **MEB**, Ankara, 3-14, (2011).
25. Dalgakıran Kompresör, “Basınçlı Hava Sistemleri Sunumu” 15, İstanbul, (2018).
26. Solar Design Associates and the Renewable Energy Laboratory,. “Photovoltaics in the Built Environment, A Design Guide for Architects and Engineers,” **U.S. Department of Energy**, Washington,s. 65, 69, 72, 77, 124, 148 (1997).
27. Kılıç, F.Ç., "Güneş Enerjisi, Türkiye'deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri", **Mühendis ve Makina**, 56 (671): 28-40 (2015).
28. İnternet: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, “Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli”, <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx> (2018).
29. Akarslan, F., "Photovoltaic Systems and Applications, in Modeling and Optimization of Renewable Energy Systems", A. Şencan, Editor. **InTech**, 21-22 (2012).
30. Ceylan, İ. ve Gürel, A.E., "Güneş Enerjisi Sistemleri ve Tasarımları", **Dora Basım-Yayı Dağıtım**, Bursa, 95-98. (2018).
31. Köroğlu, T., Teke, A., Bayındır, K.Ç., Tümay, M., “Güneş Paneli Sistemlerinin Tasarımı” **Elektrik Mühendisleri Odası, Elektrik Mühendisliği**, 439. sayı, 98-104, temmuz (2010).
32. Moral, Uğur, E., “Güneş Pillerinin Yapı Kabuk Elemanları İle Bütünleştirilmelerine Yönelik Bir Araştırma”, **Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi**, 7-8, (2006).
33. Canan, A., Karabük Üniversitesi Kampüs Alanında Rüzgâr ve Güneş Enerjisi Potansiyelinin İzlenmesi, **Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi**, 36-37, (2017).
34. Oğuz, Y., Karakan, A., Uslu, B., “Afyonkarahisar’da Kurulu Olan Monokristal, Polikristal Ve İnce Film Güneş Panellerinin Verimliliğinin İncelenmesi”, **Tesisat Mühendisliği**, Sayı 149, sf:47:58, Eylül/Ekim (2015).
35. İnternet: Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, “Güneş”, <http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/gunes.aspx> (2019).
36. İnternet: <http://www.circuitstoday.com/thin-film-solar-cell>, “Circuits Today”, (2019).

37. İnternet: Eşkin, P., Ö., “Dünya’nın İlk Güneş Enerjisi İle Çalışan Treni” <http://ekolojist.net/dunyanin-ilk-gunes-enerjisi-ile-calisan-treni/> (2019).
38. İnternet: Derek, M., World's first solar train will begin service soon in Byron Bay, Australia, <https://www.treehugger.com/solar-technology/worlds-first-solar-train-will-begin-service-soon-byron-bay-australia.html> (2019).
39. İnternet: Anderson, J., “Panasonic develops solar car roof for Prius” <https://newatlas.com/panasonic-solar-car-roof-prius/48273/> (2019).
40. Anon., “Konutlarda Isıtma ve Soğutma Yüğü Hesapları”, **Bölüm 25, ASHRAE Temel El Kitabı**, İstanbul (1998),
41. Erkmen, F.İ., Gedik G. Z., ve Sözensıcak, M. Ş., “İklim Bölgelerinde Soğutma Yüğülerinin Karşılaştırılması” **Yıldız Teknik Üniversitesi Mim. Fak. E-Dergisi** Cilt 1, Sayı 2-3. (2006).
42. Erkmen, F. İ., “Sıcak İklim Bölgelerinde Yapıların Soğutma Yüğülerinin Karşılaştırılması (Antalya, Diyarbakır Örneğı)”, **Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, Yüksek Lisans Tezi (2005).
43. Alsayed, M., Cacciato, M., Scarcella, G. and Scelba, G., "Design of hybrid power generation systems based on multi criteria decision analysis", **Solar Energy**, 105: 548-560 (2014).
44. İnternet: “Kuru ve Nemli Havanın Termodinamik Özellikleri”, <https://psikrometri.com/2-kuru-ve-nemli-havanin-termodinamik-ozellikleri/> (2019).

ÖZGEÇMİŞ

Erol ARSLAN, 1981 yılında Kars/Kağızman'da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Kağızman Endüstri Meslek Lisesi Elektrik Bölümü'nden mezun oldu. 2002 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi 'Tesisat Öğretmenliği' Bölümünde öğrenime başlayıp, 2006 yılında iyi derece ile mezun oldu.2015 yılında Mühendislik Tamamlama Programı ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümünden iyi derece ile menzun oldu. İş Sağlığı ve Güvenliği C sınıfı belgeye sahiptir. Halen TCDD Taşımacılık AŞ'de çalışmaktadır. Kurumun değişik birimlerinde; Makinist, Tekniker, Mühendis, Daire Bşk. Yrd. Ve Daire Başkanı olarak (halen aynı görevde) görev almıştır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : TCDD Taşımacılık AŞ
Yolcu Taşımacılığı Daire Başkanlığı
Yenimahalle/ANKARA
Tel : (530) 882 54 88
E-posta : erolarslan@mynet.com