

T.C.
TURGUT ÖZAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK VE BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

ÖRNEK BİR GÜNEŞ EVİ PROTOTİPİ İÇİN
TASARIM, KONTROL VE GÜÇ İZLEME ÇALIŞMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hazırlayan

Salim KÖMÜR

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Vedat KIRAY

Ankara-2016

T.C.
TURGUT ÖZAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK VE BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

ÖRNEK BİR GÜNEŞ EVİ PROTOTİPİ İÇİN
TASARIM, KONTROL VE GÜÇ İZLEME ÇALIŞMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hazırlayan

Salim KÖMÜR

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Vedat KIRAY

Ankara-2016

Bilimsel Etik Bildirim Sayfası

Turgut Özal Üniversitesi 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.

.../.../...

İmza

Salim KÖMÜR

Salim KÖMÜR tarafından hazırlanan “*Örnek Bir Güneş Evi Prototipi İçin Tasarım, Kontrol ve Güç İzleme Çalışması*” başlıklı bu çalışma, 29.06.2016 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oybirliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Vedat KIRAY (Başkan)

Yrd. Doç. Dr. İbrahim YILMAZ

Yrd. Doç. Dr. Taner TOPAL

ÖNSÖZ

Tez çalışmalarımda engin bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, görüşleri ile çalışmama destek ve yön veren danışmanım Doç. Dr. Vedat KIRAY'A, yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen tüm mesai arkadaşlarıma özellikle İsmail ANAYURDU'NA, Haydar KAPLAN'A, Karakoç Hidrolik çalışanlarına, Mahmut ŞIK ve Halil ERTAŞ'A son olarak da, bu noktalara gelmemde en büyük pay sahibi olan, hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen ve sabırla bekleyen eşim Burcu ve kızım Ceyda Betül'e şükranlarımı sunarım.

Ayrıca çalışmalarımız sonunda yardımlarını esirgemeyen pek değerli Yrd. Doç. Dr. İbrahim YILMAZ ve Yrd. Doç. Dr. Taner TOPAL hocalarıma şükranlarımı sunarım.

ÖZET

KÖMÜR, Salim. Örnek Bir Güneş Evi Prototipi İçin Tasarım, Kontrol ve Güç İzleme Çalışması, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2016.

Müstakil evlerde ve apartmanlarda güneş enerjisi kullanımının önünde duran en önemli üç problem; yüksek maliyet, düşük verim ve binaların çatılarındaki fiziki uygunsuzluk olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu tez çalışmasında bahsedilen problemlerin her birisine yönelik birer yöntem ele alınmış ve bir proje kapsamında gerekli tasarım, prototip, kontrol ve güç izleme işlemleri gerçekleştirilerek, aşağıda sunulan yöntemlerin uygulanabilirliği incelenmiştir.

1. Yöntem (Kurulum Maliyetinin düşürülmesine yönelik): Direk Doğru akım kullanımı ile invertör masraflarının düşürülmesi.
2. Yöntem (Verimin arttırılmasına yönelik): Güneş takip sistemi kullanılarak verimin arttırılması.
3. Yöntem (Bina çatılarındaki fiziki uygunsuzluk): Güneş takip sistemlerinin özel tasarımlarla çatılarla bütünleşik olarak tasarlanması.

Sunulan tez çalışmasında; özgün tasarım çalışmaları ile yenilikçi döner çatı sisteminin binalar ile bütünleşik prototipi geliştirilmiş, geliştirilen kontrol algoritması ile yenilikçi döner çatı sistemi üzerinde yer alan PV panellerin güneşi iki eksenle takip etmesi sağlanmış, yenilikçi döner çatı sistem ile yapılan güç izleme çalışmalarında çatı üzeri optimum sabit açılı PV sistemlere göre %15 elektrik üretimi verim artışı ölçülmüştür.

Anahtar Sözcükler

1. Güneş Takip Sistemleri
2. PV Paneller
3. Döner Çatı
4. Akıllı Binalar

ABSTRACT

KOMUR, Salim. Design, Control and Power Tracking Study for an Example Solar House, Postgraduate Thesis, Ankara, 2016.

The most important three problems that hinder the use of solar energy in independent houses and apartments are high cost, low efficiency and physical incompatibility on the roofs of buildings. In this thesis study, methods for each of these problems mentioned are handled, and applicability of the following methods has been analysed by carrying out the essential design, prototype, control and power tracking procedures within the scope of a project.

1st Method (for reducing Installation Costs): Reducing the inverter costs by using Direct Current.

2nd Method (for increasing efficiency): Increasing the efficiency by using sun tracking system.

3rd Method (physical incompatibility on roofs of buildings): Designing sun tracking system as integrated with the roofs with special designs.

In the thesis submitted, prototype of innovative rotating roof system integrated with buildings has been developed with unique design work, and it has been ensured that the PV panels located on the innovative rotating roof system tracks the sun in two axis with the control algorithm developed, and increase in efficiency of electricity generation by %15 in comparison with the roof top PV systems with optimum fixed angle has been measured as a result of the power monitoring process.

Key Words

1. Sun Tracking Systems
2. PV Panels
3. Rotating Roof
4. Smart Buildings

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
KISALTMALAR.....	viii
TABLolar.....	ix
ŞEKİLLER	x
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

TÜRKİYE’DE GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ

1.1 TÜRKİYE GÜNEŞ ENERJİSİ ATLASI (GEPA)	6
1.1.1 Gepa Toplam Radyasyon Değerlerinin Yorumlanması.....	7
1.1.1.1 Türkiye’de Yıllık Ortalama Toplam Radyasyon Değerleri	7
1.1.1.2 Türkiye’de Toplam Radyasyon Değerlerinin Yıl İçerisindeki Dağılımı.....	10
1.1.1.3 Türkiye’de Toplam Radyasyon Değerlerinin Bölgelere Göre Gösterilmesi.....	11
1.1.1.3.1 Akdeniz Bölgesinde Toplam Radyasyon Değerleri.....	12
1.1.1.3.2 Ege Bölgesinde Toplam Radyasyon Değerleri.....	12
1.1.1.3.3 Marmara Bölgesinde Toplam Radyasyon Değerleri.....	13
1.1.1.3.4 Karadeniz Bölgesinde Toplam Radyasyon Değerleri.....	14
1.1.1.3.5 Doğu Anadolu Bölgesinde Toplam Radyasyon Değerleri.....	14
1.1.1.3.6 Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Toplam Radyasyon Değerleri.....	15
1.1.1.3.7 İç Anadolu Bölgesinde Toplam Radyasyon Değerleri.....	15
1.1.2 GEPA Güneşlenme Sürelerinin Yorumlanması	16
1.1.2.1 Türkiye’de Yıllık Ortalama Güneşlenme Süreleri	16
1.1.2.2 Türkiye’de Güneşlenme Sürelerinin Yıl İçerisindeki Dağılımı	19

1.1.2.3	Türkiye’de Güneşlenme Sürelerinin Bölgelere Göre Gösterilmesi.....	20
1.1.2.3.1	Akdeniz Bölgesinde Güneşlenme Süreleri.....	21
1.1.2.3.2	Ege Bölgesinde Güneşlenme Süreleri.....	21
1.1.2.3.3	Marmara Bölgesinde Güneşlenme Süreleri.....	22
1.1.2.3.4	Karadeniz Bölgesinde Güneşlenme Süreleri	23
1.1.2.3.5	Doğu Anadolu Bölgesinde Güneşlenme Süreleri	23
1.1.2.3.6	Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Güneşlenme Süreleri.....	24
1.1.2.3.7	İç Anadolu Bölgesinde Güneşlenme Süreleri.....	25

İKİNCİ BÖLÜM

TURGUT ÖZAL ÜNİVERSİTESİ GÜNEŞ EVİ (TÜGEV)

2.1	TASARIM	28
2.1.1	Tasarımın Amacı – Özgünlüğü	28
2.1.2	Tasarımın Hedefleri	34
2.1.3	Tasarımda Kullanılan Programlar ve Yöntem.....	37
2.1.4	Tasarımın Sınai Hakları	37
2.2	PROTOTİP	37
2.2.1	TÜGEV'in Konumu ve Yeri.....	37
2.2.2	TÜGEV'in Yapısı	38
2.2.3	DÇMA'nın Yapısı.....	38
2.2.3.1	Sabit Yol ve Hareketli Şase Yapımı	39
2.2.3.2	Hareketi Sağlayan Yataklama, Tekerlekler ve Körük Eteği	39
2.2.3.3	Üst Hareketli Yüzey ve Mafsallar	40
2.2.3.4	Körük	41
2.2.4	Güneş Panelleri.....	42
2.2.5	3000 W OffGrid Smart Evirici ve Şarj Cihazı	43
2.2.6	MPPT Şarj Cihazı.....	43
2.2.7	Akü Bankası	44
2.2.8	Akü Bankası Güç İzleme Monitörü.....	45
2.2.9	PLC	45
2.2.10	HMI (Human Machine Interface).....	46

2.2.11 Haberleşme Modülü.....	46
2.2.12 Kontrol Panosu	46
2.2.13 LED Aydınlatma Ekipmanları.....	47
2.3 KONTROL.....	48
2.3.1 Kontrolün Amacı	48
2.3.2 Güneş Açılarının Hesap Edilmesi.....	49
2.3.3 Algoritmanın Geliştirilmesi.....	52
2.3.4 PLC Programlama	52
2.3.5 HMI Programlama	54
2.3.6 LED Aydınlatma Kontrolü.....	55
2.4 GÜÇ İZLEME	56
2.4.1 PV Panellerden Üretilen Elektriğin TÜGEV İçin Gerekli Enerjyi Sağladığı Durumun İncelenmesi	56
2.4.2 PV Panellerden Üretilen Elektriğin TÜGEV İçin Gerekli Enerjyi Sağlayamadığı ve Yüklerin Şarj Cihazı Üzerinden Şebekeden Beslenmesi Durumunun İncelenmesi.....	57
2.4.3 PV Panellerden Üretilen Elektriğin TÜGEV İçin Gerekli Enerjyi Sağlayamadığı, Yükler İle Birlikte Akü Bankasının Şarj Kesim Noktasına Kadar Şarj Cihazı Üzerinden Şebekeden Beslenmesi Durumunun İncelenmesi	57
2.4.4 Şarj Cihazının PLC Beslemesinde UPS Modunda İzlenmesi	58
2.4.5 Döner Çatı Sisteminin Sabit Açılı Değerinde ve Otomatik Modda Ürettiği Güç Değerlerinin Karşılaştırılması.....	59
2.5 TÜGEV PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ VE KARŞILAŞILAN ZORLUKLAR.....	61
SONUÇLAR.....	63
KAYNAKÇA.....	64

EKLER

5.1 TÜGEV MİMARİ ÇİZİMLER.....	67
5.1.1 Plan	67

5.1.2 Ön Cephe.....	68
5.1.3 Sağ Yan Cephe	68
5.1.4 Sol Yan Cephe.....	69
5.1.5 Arka Cephe.....	69
5.1.6 A-A Kesiti	70
5.1.7 B-B Kesiti (Temsili Tasarım Kesiti).....	70
5.2 TASARIM PATENT BAŞVURU EVRAĞI.....	71
5.3 KONTROL ALGORİTMASI.....	72
5.4 PLC PROGRAM BLOKLARI.....	74
5.5 TEZ ÇALIŞMASININ IV. EUROPEAN CONFERENCE ON RENEWABLE ENERGY SYSTEMS'DE SÖZLÜ SUNUM OLARAK KABUL ALAN MAKALESİ	78
5.6 PROTOTİP ÜRETİM DETAYLARI	84

KISALTMALAR

A	: Amper
AA	: Alternative Current (Alternatif Akım)
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
DA	: Doğru Akım
DC	: Direct Current (Doğru Akım)
DCMA	: Döner Çatı Mekanik Aksam
GEPA	: Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
HMI	: Human Machine Interface
LED	: Light Emitting Diode
MMPT	: Maximum Power Point Tracking
P	: Power (Güç)
PLC	: Programmable Logic Controller
PV	: Photovoltaik
PVC	: Polivinil Klorür
SMD	: Surface Mount Device
TL	: Türk Lirası
TÖÜ	: Turgut Özal Üniversitesi
TÜGEV	: Turgut Özal Üniversitesi Güneş Evi
U	: Gerilim
UPS	: Uninterruptible Power Supply (Kesintisiz Güç Kaynağı)
V	: Volt
W	: Watt

TABLULAR

Tablo 1 Türkiye’de illere göre yıllık ortalama toplam radyasyon değerleri	8
Tablo 2 Türkiye’de toplam radyasyon değerlerinin aylara göre dağılımı.....	10
Tablo 3 Türkiye’de bölgelere göre ortalama toplam radyasyon değerleri	12
Tablo 4 Türkiye’de yıllık ortalama güneşlenme süreleri	17
Tablo 5 Türkiye’de güneşlenme sürelerinin yıl içersindeki dağılımı	19
Tablo 6 Yıllık ortalama güneşlenme sürelerinin bölgelere göre gösterilmesi.....	20
Tablo 7 atıların maliyet açısından incelenmesi	34

ŞEKİLLER

Şekil 1 Güneş Enerjisi İle Su Isıtma Küresel Kapasitesi Lider 12 Ülkenin Payları	6
Şekil 2 Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA).....	6
Şekil 3 Toplam radyasyon bileşenleri.....	7
Şekil 4 Türkiye’de illere göre yıllık ortalama toplam radyasyon değerleri grafiği	9
Şekil 5 Türkiye’de toplam radyasyon değerlerinin aylara göre dağılımı grafiği	11
Şekil 6 Akdeniz Bölgesi toplam radyasyon değerleri.....	12
Şekil 7 Ege Bölgesi toplam radyasyon değerleri	13
Şekil 8 Marmara Bölgesi toplam radyasyon değerleri	13
Şekil 9 Karadeniz Bölgesi toplam radyasyon değerleri	14
Şekil 10 Doğu Anadolu Bölgesi toplam radyasyon değerleri.....	15
Şekil 11 Güneydoğu Anadolu Bölgesi toplam radyasyon değerleri	15
Şekil 12 İç Anadolu Bölgesi toplam radyasyon değerleri	16
Şekil 13 Türkiye’de yıllık ortalama güneşlenme süreleri grafiği	18
Şekil 14 Türkiye’de güneşlenme sürelerinin aylara göre dağılımı grafiği.....	20
Şekil 15 Akdeniz Bölgesi güneşlenme süresi değerleri	21
Şekil 16 Ege Bölgesi güneşlenme süresi değerleri.....	22
Şekil 17 Marmara Bölgesi güneşlenme süresi değerleri	22
Şekil 18 Karadeniz Bölgesi güneşlenme süresi değerleri.....	23
Şekil 19 Doğu Anadolu Bölgesi güneşlenme süresi değerleri	24
Şekil 20 Güneydoğu Anadolu Bölgesi güneşlenme süresi değerleri	24
Şekil 21 İç Anadolu Bölgesi güneşlenme süresi değerleri.....	25

Şekil 22 Kraft firmasının geliştirdiği dönen çatı sistemi	27
Şekil 23 İtalya’da gerçekleştirilen benzer bir çalışma: Döner ev	28
Şekil 24 DÇMA tasarımı.....	29
Şekil 25 Körük	30
Şekil 26 DÇMA üzerine PV panel yerleşim şekli.....	30
Şekil 27 Mevcut çatı sistemleri ile döner çatı sisteminin karşılaştırılması.....	31
Şekil 28 Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sisteminde 2 eksende güneşi takip edebilen PV sistem için yıllık ortalama üretim değerleri	32
Şekil 29 Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sisteminde sabit PV sistem için ortalama üretim değerleri	33
Şekil 30 TÜGEV 3D bina tasarımı	35
Şekil 31 TÜGEV Çatı Taşıyıcı Karkas Planı	36
Şekil 32 TÜGEV'in konumu.....	38
Şekil 33 DÇMA	41
Şekil 34 DÇMA prototipinin TÜGEV üzerinde görülmesi	42
Şekil 35 Monokristal güneş panellerinin TÜGEV üzerinde konumlandırılması	42
Şekil 36 MPPT Cihazının Blok Diyagramı ve Çalışma Grafiği	44
Şekil 37 Jel Akü İle Sulu Akü Arasındaki Çevrim Ömrü Avantajı.....	45
Şekil 38 Kontrol panosu.....	47
Şekil 39 LED Armatürler	47
Şekil 40 Deklinasyon açısının gösterimi	49
Şekil 41 Deklinasyon Açısı Grafiği	50
Şekil 42 Zenit açısının gösterimi.....	51
Şekil 43 PLC ve çevre birimler.....	53
Şekil 44 HMI ara yüzü.....	54

Şekil 45 Led kontrol ekipmanları.....	55
Şekil 46 Şarj kesim ve yük besleme modu.....	56
Şekil 47 Şebeke üzerinden yük besleme modu.....	57
Şekil 48 Şebeke üzerinden yük besleme ve akü bankasının şarj kesim noktasına kadar şarj edilmesi modu	58
Şekil 49 UPS modu.....	59
Şekil 50 Sabit aç değ erinde üretilen akım ve gerilim değ erleri grafikleri	60
Şekil 51 Otomatik modda üretilen akım ve gerilim değ erleri grafikleri.....	61

GİRİŞ

Yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde yapılan bilimsel çalışmalar ve uygulamalar her geçen gün artmaktadır. Büyük rüzgar ve güneş santrallerinin kurulumları devam ederken bir yandan da enerjinin tüketildiği yerde üretilmesi gerektiği konusu önem kazanmaktadır. Çünkü enerji iletim ve dağıtımında çok büyük bir enerji kaybı oluşmaktadır. Konuya bu noktadan bakıldığında şehir ve ilçelerde güneş enerjisinin kullanımı rüzgar enerjisinin kullanımına göre daha çok ön plana çıkmaktadır. Rüzgar enerjisinin kullanımında çeşitli problemler söz konusu olduğu gibi güneş enerjisinin kullanımında da kurulum maliyetlerinin yüksek olması, verimin düşük olması ve fiziki alan uygunsuzluğu gibi üç temel problem karşımıza çıkmaktadır.

Bu çalışmada bahsedilen üç temel problemin her birisi için bir çözüm yöntemi ele alınmıştır. Güneş enerji sistemlerinin kurulum maliyetlerini düşürmeye yönelik kullanılan yöntemde, invertör masrafını azaltmak için direkt DA kullanımı ve LED aydınlatma ele alınmıştır. İkinci yöntemde, güneşlenme süresini ve buna bağlı olarak verimi arttırmak için güneş takip sistemlerinin kullanımı ele alınmıştır. Üçüncü yöntemde ise fiziki alan uygunsuzluğu, güneş takip sistemlerinin bina çatıları ile bütünleşik halde tasarlanması ele alınmıştır.

Direkt DA kullanılarak invertör masraflarının düşürülmesi: Ev ve iş yerlerimizde elektrik motoru içeren ev aletleri hariç aydınlatma, televizyon ve bilgisayar vb cihazlar aslında çoğunlukla DA ile çalışan cihazlardır ve AA'nın DA'ya çevrilmesi ile kullanılmaktadır. Elektrik motoru içeren ev aletlerinde de DA ile çalışan motorlar kullanarak, tamamen DA'ya geçmek konusunda birçok çalışma yürütülmektedir. Ancak bu tür büyük dönüşümlere gerek kalmadan da sadece aydınlatmanın DA ile yapılması gerekli invertör kapasitesini belli ölçüde düşürmekte ve yatırım maliyetini azaltabilmektedir [1-3]. Bu tez çalışmasında ortaya koyulan uygulamada yüksek kapasitede aydınlatma ihtiyacı bulunmaktadır ve güneş panellerinden alınan enerjinin tamamı aydınlatma için kullanılmaktadır. Diğer çalışmaların çoğundan farklı olarak, alınan güneş enerjisinin gücüne göre aydınlatma işlemi en düşükten seviyeden en yükseğe kadar kademeli olarak LED'lere uygulanabilmektedir. Böylece güneşin az olduğu durumlarda da düşük seviyede

aydınlatma yapılabilmesi sağlanmaktadır.

Güneş takip sistemi kullanılarak verimin arttırılması: Güneşi takip etme kabiliyetine sahip güneş enerji sistemlerinde kurulum maliyetinin yüksek olduğu bir gerçektir. Ancak güneşlenme süresinin artmasına bağlı olarak elde edilen verim artışı yatırım maliyetini sabit güneş panelli sistemlere göre daha kısa sürede amorti edebilmektedir. Bu konuyu ele alan çok sayıda bilimsel çalışma bulunmaktadır [4-7]. Bu tez çalışmasında ortaya konulan uygulamada aynı güce sahip güneş panellerinden oluşan iki sistemin birisi hareketli birisi sabit olarak yerleştirilmiş ve aradaki verim farkı sürekli olarak izlenmiştir. Ancak maliyet hesabı ve yaklaşık amorti süresinin hesaplanmasında bazı kabuller yapılmıştır. Çünkü gerçekleştirilen uygulamada güneş takip sistemi ile döner çatı uygulaması beraber tasarlanmış ve yatırım maliyeti beraber ele alınmıştır.

Güneş takip sistemlerinin özel tasarımlarla çatılarla bütünleşik olarak tasarlanması: PV Güneş hücrelerinin alüminyum platformlar üzerine monte edilmesi ne bağlı olarak, 1m²'lik güneş paneli için ortalama 10 - 20kg'lık bir ağırlık oluşturmaktadır. Güneş takip sistemlerinde ise ekstra mekanik aksamlar bu ağırlığı daha da arttırmaktadır. Dolayısı ile mevcut çatı sistemlerinin birçoğu hem yön olarak hem de ağırlık taşıma kapasitesi açısından hem de fiziki yer darlığı açısından güneş enerji sistemlerinin kurulmasına uygun olmamaktadır. Bu konuyu ele alan bilimsel çalışmaların bir kısmı referans olarak sunulmuştur [8-11]. Bu çalışmada ise güneş takip sistemleri ile çatı yapısının beraber ele alınması gerektiğine odaklanılmış ve örnek bir tasarım ve prototip sunulmuştur.

Bu tez çalışması aynı zamanda bir proje olarak yürütülmüştür. Söz konusu yöntemlerin uygulanabilirliği bahsedilen proje kapsamında uygulamalı olarak incelenmiştir. Proje, Turgut Özal Üniversitesi Güneş Evi projesi (TÜGEV) olarak isimlendirilmiştir ve tüm masraflar üniversite tarafından karşılanmıştır. Proje kapsamında gerçekleştirilen prototipin tasarımı, malzeme seçimi, montajı, kontrolü ve güç izleme işlemleri tez çalışması kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Tezin birinci bölümünde Türkiye'de güneş enerjisi potansiyeli ele alınmıştır. İkinci bölüm Turgut Özal Üniversitesi Güneş Evi projesine ayrılmış ve projenin temel kısımlarını oluşturan tasarım, prototip, kontrol ve güç izleme konularında yapılan çalışmalar alt başlıklar şeklinde sunulmuştur. Kontrol ve güç izleme

işlemlerinden alınan sonuçlar ve sonuçların yorumlanması bu bölümde ele alınmıştır. Sonuç bölümünde ise tez çalışması genel olarak değerlendirilmiş ve elde edilen temel faydalar, öngörülemeyen eksiklikler ve daha sonraki çalışmalara aktarılacak bilgi ve tecrübeler sunulmuştur.



BİRİNCİ BÖLÜM

TÜRKİYE'DE GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ

Güneş enerjisinin kaynağı 4 hidrojen atomunun 1 helyuma dönüşmesi tepkimesinde meydana gelen enerjidir. 4 hidrojen atomunun 4,032 birim ağırlığında olduğu, 1 helyum atomunun 4,003 birim ağırlığında olduğu düşünüldüğünde aradaki fark olan 0,029 birim ağırlığın Einstein'ın madde-enerji teorisine göre enerjiye dönüştüğü kabul edilmektedir. Güneşte sürekli ve doğal yollarla meydana gelen tepkimeler sonucunda her saniyede 564 milyon ton hidrojen, 560 milyon ton helyuma dönüşmekte ve tepkimede kütle farkı olarak ortaya çıkan 4 milyon ton kütleyle karşı $3,86 \times 10^{26}$ J enerji açığa çıkmaktadır. Açığa çıkan bu enerji ışınım şeklinde uzaya dağılmaktadır. $1,785 \times 10^{47}$ J toplam enerji kapasitesine sahip olan güneş milyonlarca yıl ışımaya devam edeceğinden dünya için tükenmeyen bir enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir. Yapılan hesaplamalara göre dünyanın çapıyla aynı büyüklükteki dairesel alan üzerine düşen güneş gücü 178 trilyon kW'dir. Bu hesaplara Dünüyaya, bir yılda tükettiği enerjinin 20 bin katı güneş enerjisi gelmektedir [12].

Tüm bu bilgilerden hareketle; 1970'lerden sonra güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar tüm dünyada hız kazanmış, ilerleyen teknoloji ile birlikte güneş enerjisi sistemleri maliyet bakımından düşmeye başlamış, aynı zamanda güneş enerjisi çevreye zararı olmayan temiz bir enerji kaynağı olarak kabul edilmiştir [12].

Küresel enerji talebinde, enerji kaynakları arasında güneş enerjisi kaynağının önemi, gün geçtikçe daha fazla anlaşılmakta ve enerji talebinin karşılanmasında önemli bir paya sahip olduğu düşünülmektedir. Uluslararası Enerji Ajansının yapmış olduğu çalışmalarda 2050'ye gelindiğinde dünyadaki elektrik enerjisi talebinin yaklaşık %11'inin güneş enerjisinden karşılanacağı düşünülmektedir [13].

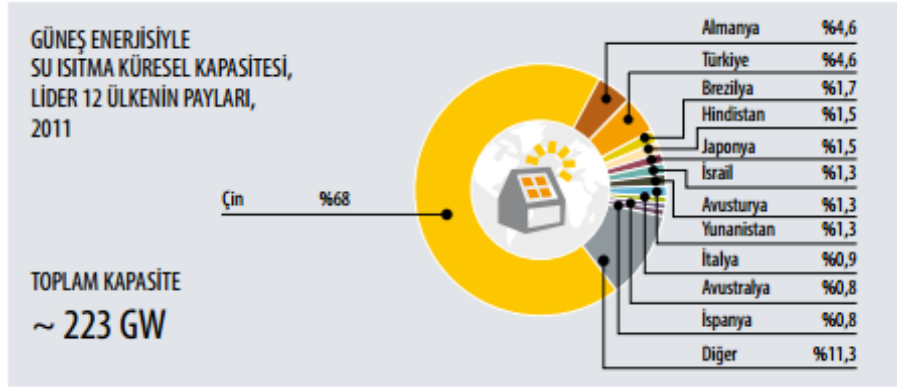
Hızla gelişmeye devam eden güneş enerjisi teknolojileri; metot, makine-ekipman ve teknolojik seviye açısından çok farklılık göstermekle birlikte, çeşitliliği iki temel grupta toplayabiliriz.

1- Isıl Güneş Teknolojileri: Bu sistemin birincil görevi ısı elde etmektir. Bu ısı direk olarak kullanılabilceği gibi elektrik ihtiyacının karşılanması için elektrik üretiminde de kullanılmaktadır [14].

2- Güneş Pilleri: Diğer bir adı Fotovoltaik (PV) piller olan yarı-iletken malzemeler güneş ışığını doğrudan elektriğe çevirerek elektrik ihtiyacının giderilmesi için kullanılmaktadır [14].

Güneş enerjisi teknolojileri konularında yapılan çalışmaların olumlu sonuçlar doğurması ile gelişmiş ülkeler güneş enerjisinden ısı enerjisinin kullanımının yanında güneş enerjisinin elektrik enerjisine çevrimini, toplamda GW'lar seviyesine çıkarmışlardır. İtalya, Almanya, Çek Cumhuriyeti ve diğer AB ülkeleri güneş enerjisi sektöründe ana merkez olmaya başlamış ve toplamda 5,6 GW'lık kurulu güç ile dünyanın %77'lik güneş enerjisi kurulu gücüne sahiptirler. Bu oranı daha üst seviyelere çıkarmak için alternatif kurulum saha fizibilite çalışmalarını devam ettirmektedirler. Güneş enerjisi potansiyeli açısından değerlendirildiğinde Türkiye'de ki potansiyel İspanya haricindeki diğer Avrupa ülkelerinden yüksektir. Yapılan ölçümler ve araştırmalar ülkemizin ortalama 1000 – 1450 kWh/m² yıl oranlarında güneş enerjisinden faydalanabilme potansiyeli olduğunu göstermektedir. Ülkemizin sahip olduğu bu potansiyel enerji, tükettiği enerjinin 10.000 katından fazladır [15].

Ülkemiz de coğrafi konumu itibari ile güneşten enerji elde edilebilmesine imkan sunan bir yerde bulunmaktadır. Özellikle bir yıllık toplam zaman diliminde güneşlenme sürelerinin yüksek seviyelerde seyretmesi, güneşten enerji üretimine yıl boyunca imkan sağlamaktadır. Ülkemizde güneş enerjisinden istifade adına güneş kolektörleri ile ısıtma sistemleri kurulumu en yaygın görülen yöntemdir. Bu yöntem ile güneş enerjisinden yararlanmada Almanya ile birlikte Dünya ikinciliğini paylaşmaktayız. Şekil 1'de güneş kolektörlerinin Dünya üzerinde ülkelere göre kullanım oranları görülmektedir.

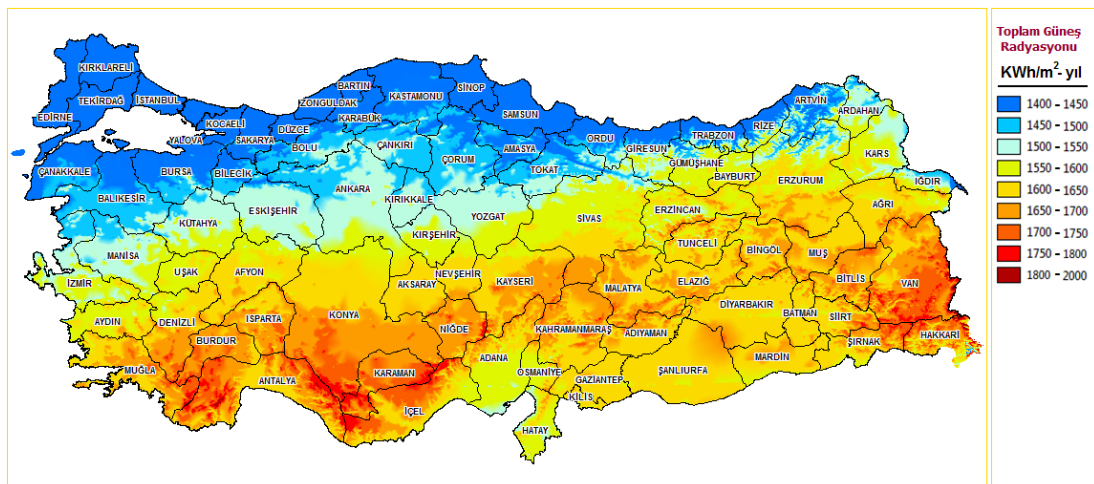


Şekil 1 Güneş Enerjisi İle Su Isıtma Küresel Kapasitesi Lider 12 Ülkenin Payları [16]

Güneş kolektörleri ile ısıtma sistemleri kurulumunda elde ettiğimiz Dünya ikinciliğine ortaklık seviyesi, güneş enerjisinden elektrik üretimi noktasında yakalanamamıştır. Ülkemizin coğrafi konumu PV panellerden elektrik üretimi adına yeni yeni değerlendirilmeye başlanmıştır.

1.1 TÜRKİYE GÜNEŞ ENERJİSİ ATLASI (GEPA)

Şekil 2’de, 1985 – 2006 yılları arasında Türkiye genelinde günlük ölçümler sonucu oluşturulan Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) görülmektedir [17].



Şekil 2 Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) [18]

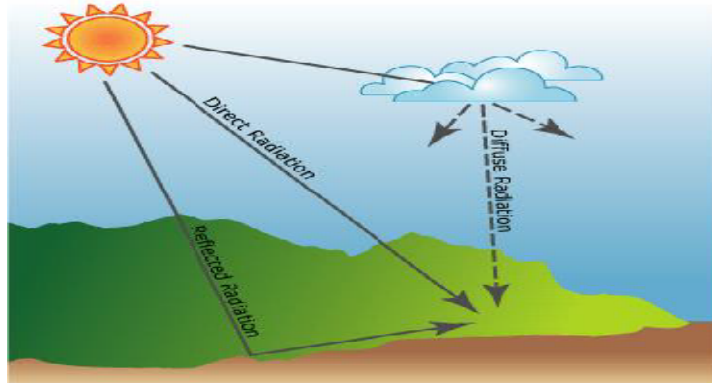
Şekil 2’de toplam radyasyon ölçümlerinin illere göre dağılımı renkli olarak ifade edilmiştir. Şekil 2’de mavi renkli bölümler toplam güneş radyasyon değerinin ($\text{kWh/m}^2\text{-gün}$) az olduğu bölgeleri, sarı ve kırmızı alanlar ise toplam güneş radyasyon değerinin ($\text{kWh/m}^2\text{-gün}$) fazla olduğu bölgeleri ifade etmektedir. Şekil 2’de güneye gidildikçe toplam güneş radyasyon değerinin arttığı ve toplam güneş radyasyon değerlerinin ülkemizin büyük bir kısmında yüksek olduğu görülmektedir.

GEPA’da toplam radyasyon değerlerinin yanında, illere göre güneşlenme süreleri(saat) de yer almaktadır. Türkiye’de yer alan 81 ilin yıllık ortalama toplam radyasyon değerlerine ve yıllık ortalama güneşlenme sürelerine GEPA’dan ayrıntılı bir şekilde ulaşılabilmekte, hesaplamalar için istatistikler oluşturulabilmektedir.

1.1.1 GEPA Toplam Radyasyon Değerlerinin Yorumlanması

1.1.1.1 Türkiye’de Yıllık Ortalama Toplam Radyasyon Değerleri

Şekil 3’de toplam radyasyon değerlerini oluşturan bileşenler görülmektedir. Toplam radyasyon ölçüm değerlerini direkt radyasyon ve difüz radyasyon ölçüm değerlerinin toplamı oluşturmaktadır. Şekil 3’de görülen yansıyan radyasyon, toplam radyasyon değerlerinin hesaplamasında çok küçük değerler ifade etmesinden dolayı göz ardı edilmektedir. GEPA verilerinin oluşturulmasında da direkt ve difüz radyasyon ölçümleri baz alınmıştır [17].



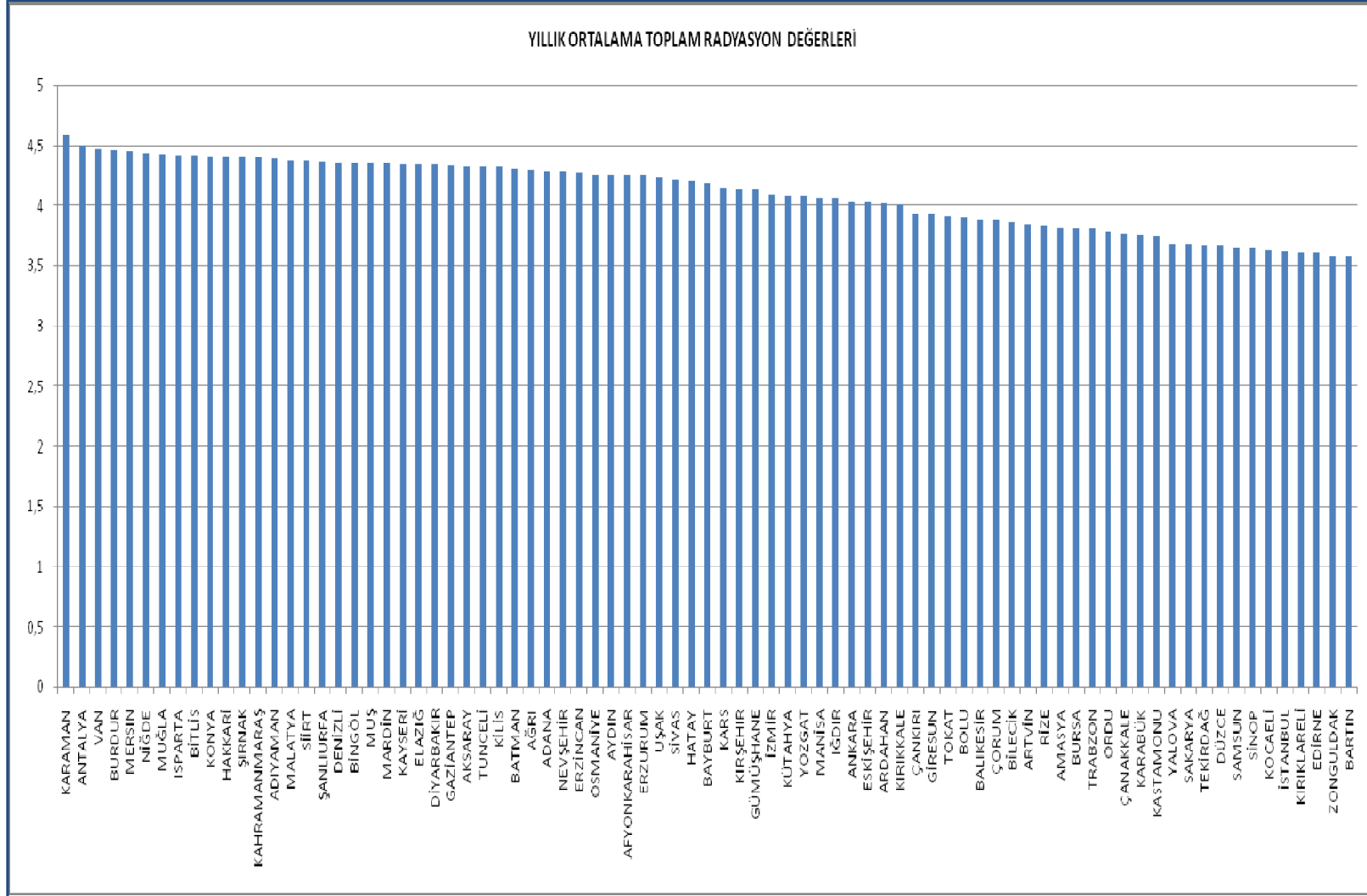
Şekil 3 Toplam radyasyon bileşenleri [19]

GEPA verilerinin oluşturulmasında her ne kadar direk ve difüz radyasyon değerleri hesaba katılmış olsa da; direk ve difüz radyasyon verilerinin illere göre dağılımlarına GEPA'da yer verilmemiştir. Daha önce de belirttiğimiz gibi GEPA'da yer alan bilgiler 81 ilin toplam radyasyon değerlerini ifade etmektedir.

Türkiye'de illere göre yıllık ortalama toplam radyasyon değerlerini gösteren değerler Tablo 1'de verilmiştir. Buna göre en yüksek değer 4,59 kWh/m²-gün ile Karaman'da iken; en düşük değer 3,58 kWh/m²-gün ile Bartın'dadır.

Tablo 1 Türkiye'de illere göre yıllık ortalama toplam radyasyon değerleri [18]

İL	ORTALAMA (kWh/m ² -gün)	İL	ORTALAMA (kWh/m ² -gün)	İL	ORTALAMA (kWh/m ² -gün)
ADANA	4,29	ANKARA	4,04	TRABZON	3,82
ANTALYA	4,51	KONYA	4,41	SAMSUN	3,66
MERSİN	4,45	ESKİŞEHİR	4,04	AMASYA	3,83
HATAY	4,21	YOZGAT	4,09	BAYBURT	4,19
KAHRAMANMARAŞ	4,40	SİVAS	4,22	SİNOP	3,66
BURDUR	4,47	KIRŞEHİR	4,14	GÜMÜŞHANE	4,14
ISPARTA	4,42	NİĞDE	4,44	GİRESUN	3,93
OSMANİYE	4,26	AKSARAY	4,33	RİZE	3,85
BALIKESİR	3,89	NEVŞEHİR	4,29	ORDU	3,79
BURSA	3,82	KAYSERİ	4,35	ARTVİN	3,86
BİLECİK	3,87	KARAMAN	4,59	ÇORUM	3,89
KIRIKLARELİ	3,62	KIRIKKALE	4,01	KASTAMONU	3,75
İSTANBUL	3,60	ÇANKIRI	3,93	KARABÜK	3,76
ÇANAKKALE	3,77	ARDAHAN	4,03	BARTIN	3,58
EDİRNE	3,62	MALATYA	4,38	ZONGULDAK	3,59
YALOVA	3,68	BİNGÖL	4,36	DÜZCE	3,67
TEKİRDAĞ	3,67	VAN	4,48	BOLU	3,91
KOCAELİ	3,64	HAKKARİ	4,41	TOKAT	3,92
SAKARYA	3,68	AĞRI	4,31	DİYARBAKIR	4,35
İZMİR	4,10	İĞDIR	4,07	ŞANLIURFA	4,37
MUĞLA	4,43	MUŞ	4,36	MARDİN	4,36
AYDIN	4,26	BİTLİS	4,42	GAZİANTEP	4,34
DENİZLİ	4,36	ERZİNCAN	4,28	ADIYAMAN	4,39
UŞAK	4,25	ELAZIĞ	4,35	SİİRT	4,38
MANİSA	4,07	KARS	4,15	KİLİS	4,33
KÜTAHYA	4,09	TUNCELİ	4,33	ŞIRNAK	4,41
AFYONKARAHİSAR	4,26	ERZURUM	4,26	BATMAN	4,32



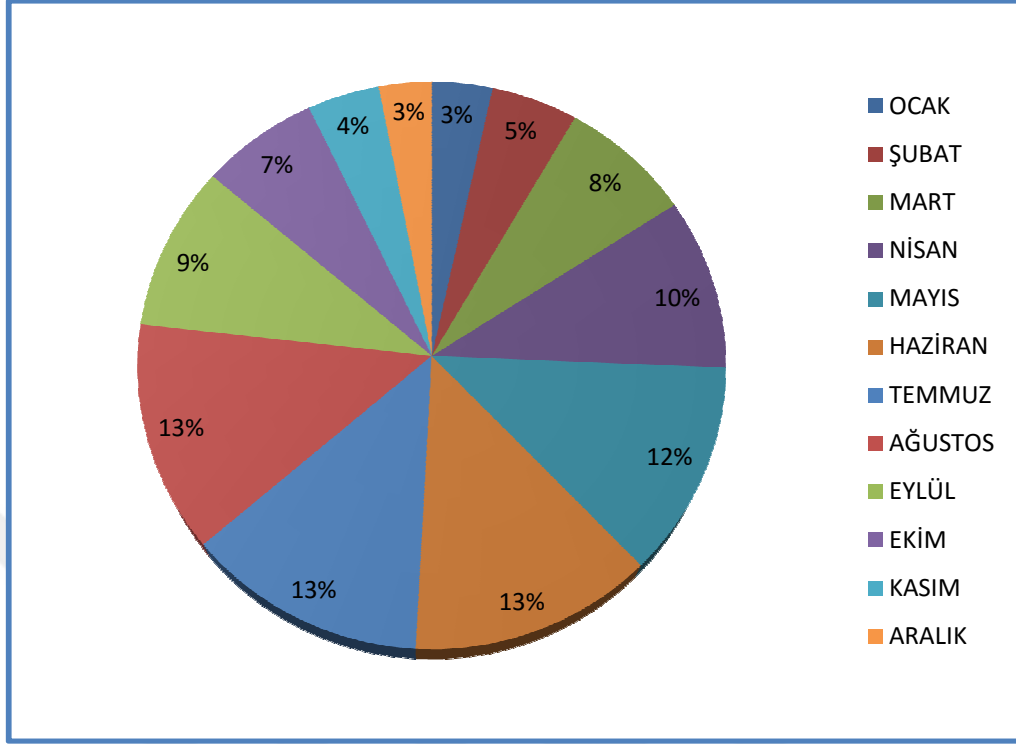
Şekil 4 Türkiye’de illere göre yıllık ortalama toplam radyasyon değerleri grafiği [18]

1.1.1.2 Türkiye’de Toplam Radyasyon Değerlerinin Yıl İçerisindeki Dağılımı

Toplam radyasyon değerleri illere ve bölgelere göre farklılık göstermekle birlikte, yıl içerisindeki aylara göre de farklılıklar göstermektedir. GEPA verileri incelendiğinde, 81 ilin aylara göre toplam radyasyon değerlerinin ortalamaları baz alınmış; toplam radyasyon ölçümlerinin yıl içerisinde Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında yüksek değerlerde olduğu görülmüştür. Tablo 2’de, 81 ilin aylara göre toplam radyasyon değerlerinin ortalamaları görülmektedir.

Tablo 2 Türkiye’de toplam radyasyon değerlerinin aylara göre dağılımı [18]

Ay	Ortalama (kWh/m ² -gün)
OCAK	1,70
ŞUBAT	2,44
MART	3,74
NİSAN	4,86
MAYIS	6,04
HAZİRAN	6,47
TEMMUZ	6,39
AĞUSTOS	6,49
EYLÜL	4,69
EKİM	3,33
KASIM	2,03
ARALIK	1,48



Şekil 5 Türkiye’de toplam radyasyon değerlerinin aylara göre dağılımı grafiği [18]

1.1.1.3 Türkiye’de Toplam Radyasyon Değerlerinin Bölgelere Göre Gösterilmesi

Tablo 1’de yer alan toplam radyasyon değerleri bölgelere ayrılmış, ortalama toplam radyasyon değerleri hesap edilmiştir. Tablo 3’de hesap edilmiş değerler görülmektedir.

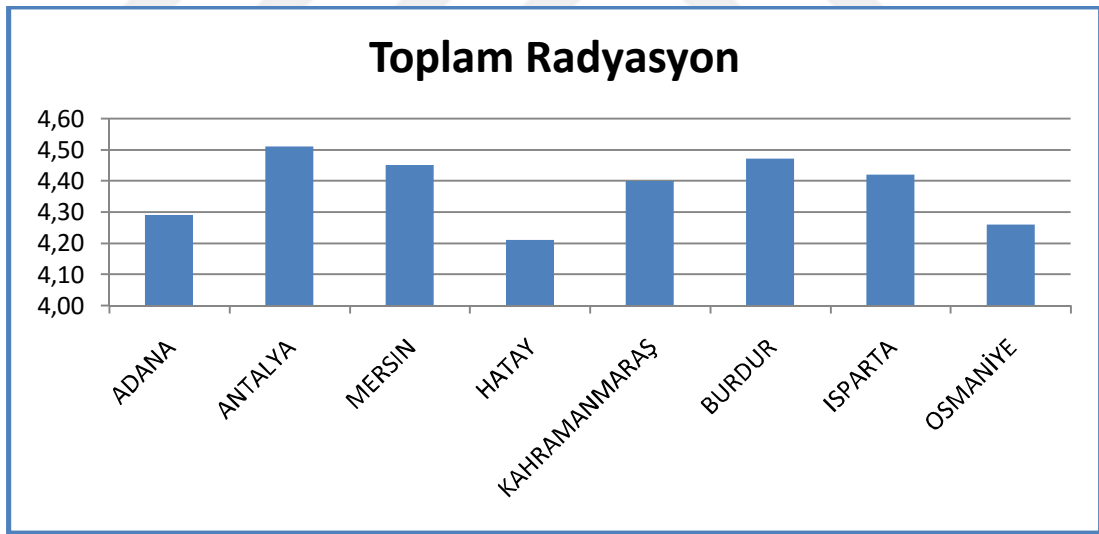
GEPA verileri baz alınarak, bölgelere göre ortalama toplam radyasyon değerlerinde 4,38 kWh/m²-gün ile en yüksek Akdeniz Bölgesi, 3,71 kWh/m²-gün ile en düşük Marmara Bölgesi hesap edilmiştir.

Tablo 3 Türkiye’de bölgelere göre ortalama toplam radyasyon değerleri [18]

Bölgeler	Ortalama (kWh/m ² -gün)
AKDENİZ BÖLGESİ	4,38
EGE BÖLGESİ	4,23
MARMARA BÖLGESİ	3,71
KARADENİZ BÖLGESİ	3,82
DOĞU ANADOLU BÖLGESİ	4,30
GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİ	4,36
İÇ ANADOLU BÖLGESİ	4,22

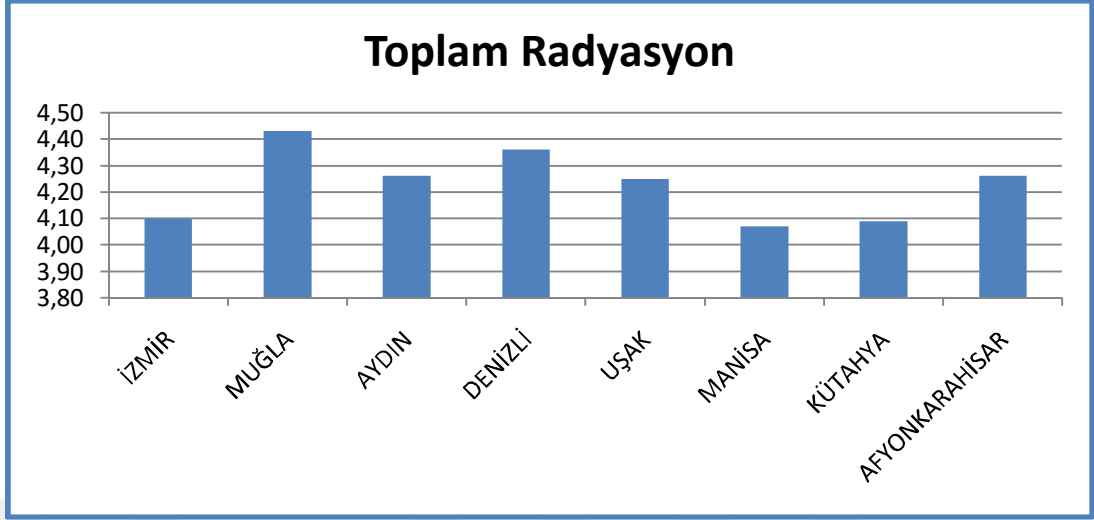
1.1.1.3.1 Akdeniz Bölgesinde Toplam Radyasyon Değerleri

Akdeniz Bölgesinde 8 il bulunmaktadır, bu illerin yıllık toplam radyasyon değerleri ortalaması 4,38 kWh/m²-gün’dür. En yüksek toplam radyasyon değeri 4,51 kWh/m²-gün ile Antalya’da, en düşük toplam radyasyon değeri ise 4,21 kWh/m²-gün ile Hatay’dadır.

**Şekil 6 Akdeniz Bölgesi toplam radyasyon değerleri [18]**

1.1.1.3.2 Ege Bölgesinde Toplam Radyasyon Değerleri

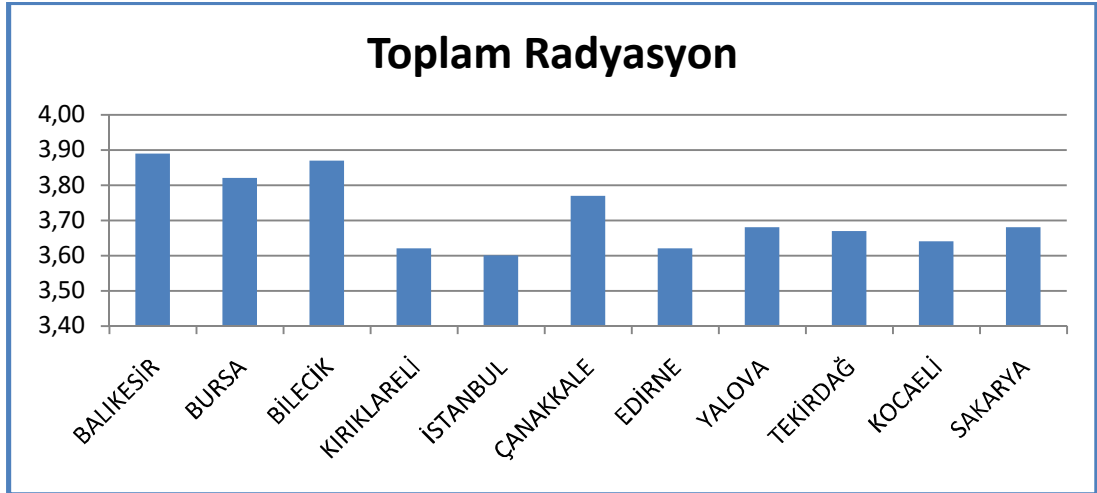
Ege Bölgesinde 8 il bulunmaktadır, bu illerin yıllık toplam radyasyon değerleri ortalaması 4,23 kWh/m²-gün’dür. En yüksek toplam radyasyon değeri 4,43 kWh/m²-gün ile Muğla’da, en düşük toplam radyasyon değeri ise 4,07 kWh/m²-gün ile Manisa’dadır.



Şekil 7 Ege Bölgesi toplam radyasyon değerleri [18]

1.1.1.3.3 Marmara Bölgesinde Toplam Radyasyon Değerleri

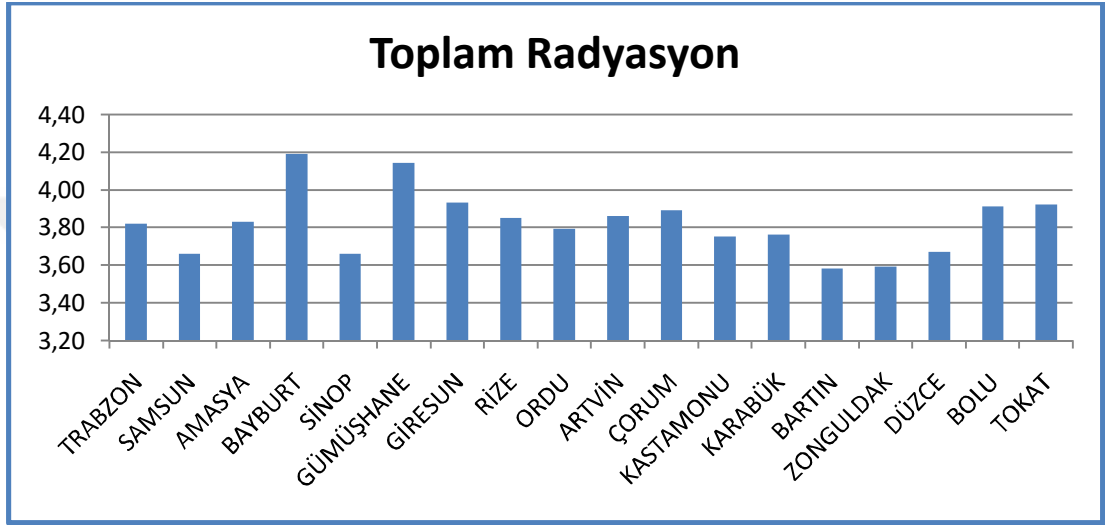
Marmara Bölgesinde 11 il bulunmaktadır, bu illerin yıllık toplam radyasyon değerleri ortalaması 3,71 kWh/m²-gün'dür. En yüksek toplam radyasyon değeri 3,89 kWh/m²-gün ile Balıkesir'de, en düşük toplam radyasyon değeri ise 3,60 kWh/m²-gün ile İstanbul'dadır.



Şekil 8 Marmara Bölgesi toplam radyasyon değerleri [18]

1.1.1.3.4 Karadeniz Bölgesinde Toplam Radyasyon Değerleri

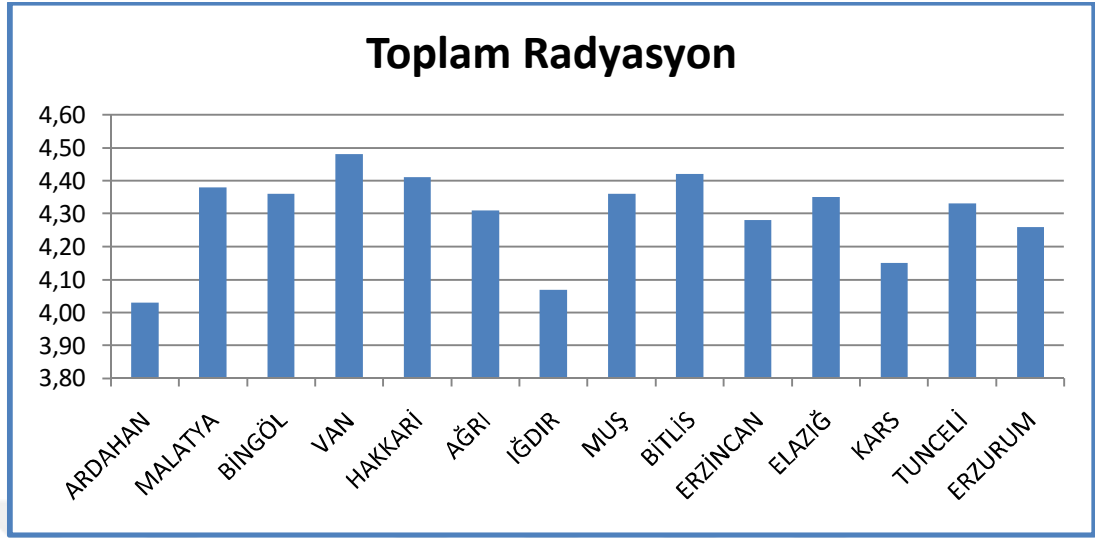
Karadeniz Bölgesinde 18 il bulunmaktadır, bu illerin yıllık toplam radyasyon değerleri ortalaması $3,82 \text{ kWh/m}^2\text{-gün}$ 'dür. En yüksek toplam radyasyon değeri $4,19 \text{ kWh/m}^2\text{-gün}$ ile Bayburt'da, en düşük toplam radyasyon değeri ise $3,58 \text{ kWh/m}^2\text{-gün}$ ile Bartın'dadır.



Şekil 9 Karadeniz Bölgesi toplam radyasyon değerleri [18]

1.1.1.3.5 Doğu Anadolu Bölgesinde Toplam Radyasyon Değerleri

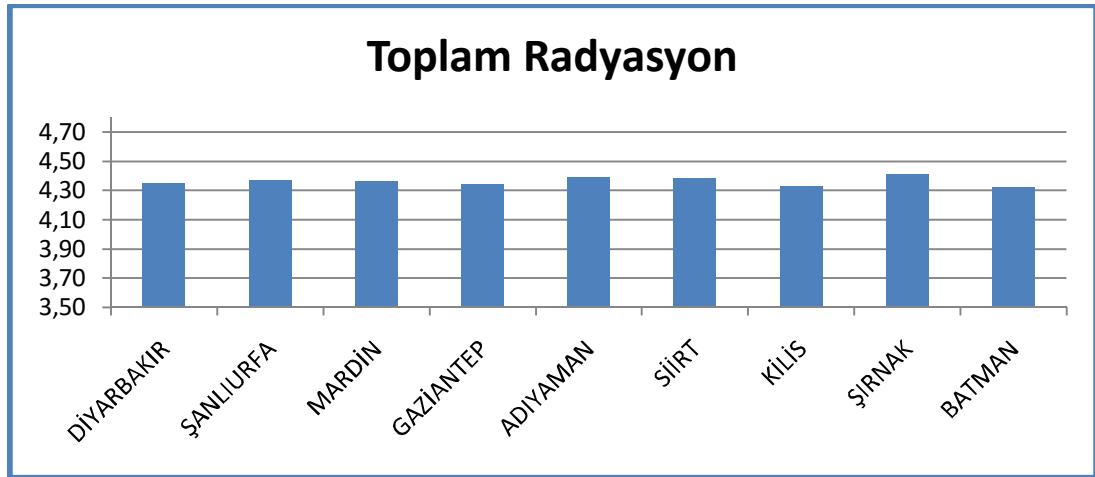
Doğu Anadolu Bölgesinde 14 il bulunmaktadır, bu illerin yıllık toplam radyasyon değerleri ortalaması $4,30 \text{ kWh/m}^2\text{-gün}$ 'dür. En yüksek toplam radyasyon değeri $4,48 \text{ kWh/m}^2\text{-gün}$ ile Van'da, en düşük toplam radyasyon değeri ise $4,03 \text{ kWh/m}^2\text{-gün}$ ile Ardahan'dadır.



Şekil 10 Doğu Anadolu Bölgesi toplam radyasyon değerleri [18]

1.1.1.3.6 Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Toplam Radyasyon Değerleri

Güneydoğu Anadolu Bölgesinde 14 il bulunmaktadır, bu illerin yıllık toplam radyasyon değerleri ortalaması 4,30 kWh/m²-gün'dür. En yüksek toplam radyasyon değeri 4,48 kWh/m²-gün ile Van'da, en düşük toplam radyasyon değeri ise 4,03 kWh/m²-gün ile Ardahan'dadır.

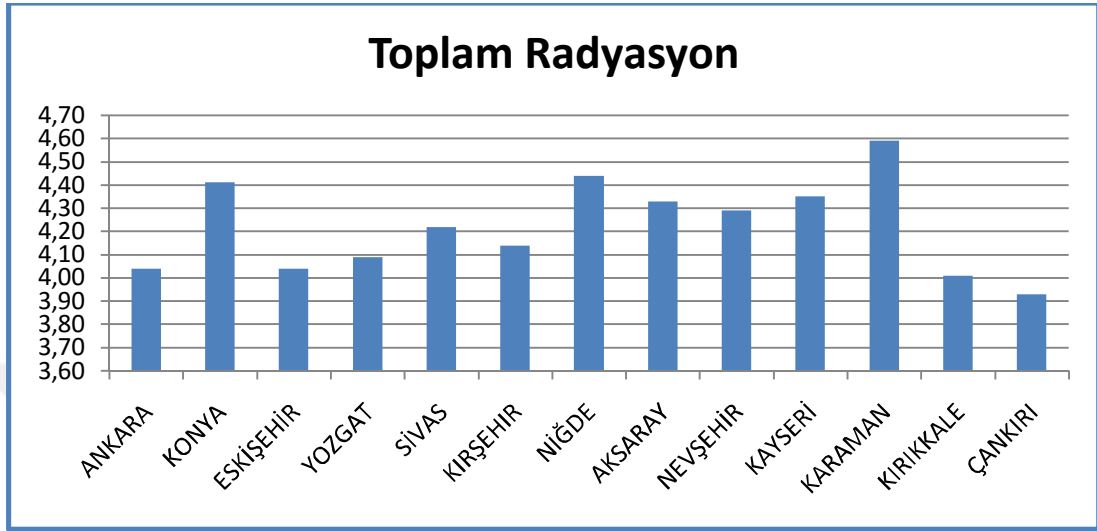


Şekil 11 Güneydoğu Anadolu Bölgesi toplam radyasyon değerleri [18]

1.1.1.3.7 İç Anadolu Bölgesinde Toplam Radyasyon Değerleri

İç Anadolu Bölgesinde 13 il bulunmaktadır, bu illerin yıllık toplam radyasyon değerleri ortalaması 4,22 kWh/m²-gün'dür. En yüksek toplam radyasyon değeri 4,59

kWh/m²-gün ile Karaman'da, en düşük toplam radyasyon değeri ise 4,93 kWh/m²-gün ile Çankırı'dadır.



Şekil 12 İç Anadolu Bölgesi toplam radyasyon değerleri [18]

1.1.2 GEPA Güneşlenme Sürelerinin Yorumlanması

Güneşlenme süresi, bir bölgede güneşin gökyüzünde görülebildiği süre olarak tanımlanabilir. Güneşlenme süresinin uzun olması, güneşten elde edilebilecek enerjinin daha fazla olması anlamına gelmektedir.

Güneşlenme süresini etkileyen 3 faktör bulunmaktadır. Bu faktörler; bulutluluk, bakı ve gündüz süresidir [20].

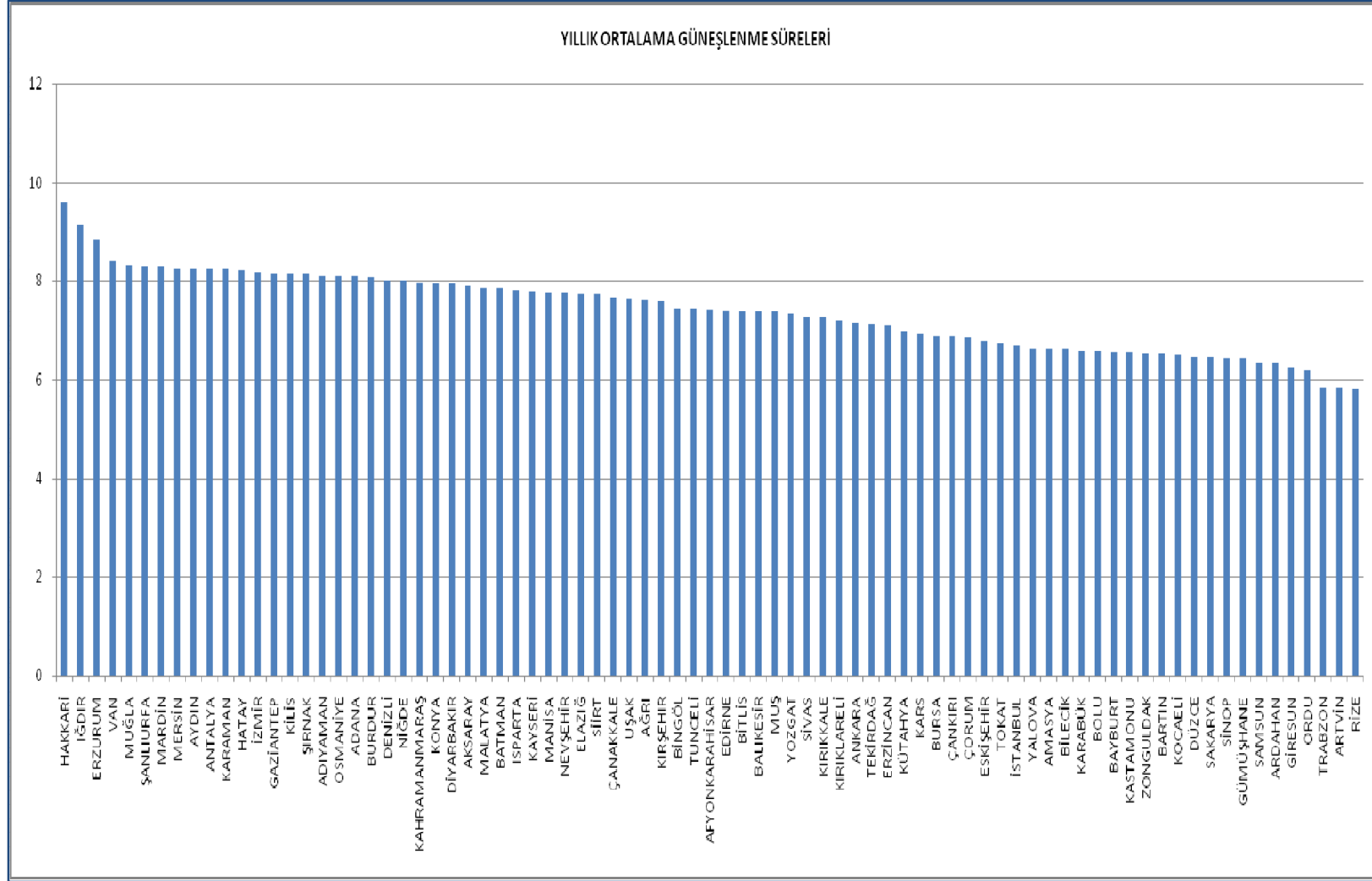
Ülkemizde yaz aylarındaki güneşlenme süresi ve güneş ışınlarının daha dik gelmesi, güneşten elde edilebilecek enerji miktarı da artırmaktadır.

1.1.2.1 Türkiye’de Yıllık Ortalama Güneşlenme Süreleri

GEPA’dan elde edilen veriler ile 81 il için yıllık ortalama güneşlenme süreleri hesap edilebilmektedir. Her il için veriler değerlendirildiğinde yıllık ortalama güneşlenme süresinin en yüksek değeri 9,62 saat ile Hakkari’de iken en düşük değeri 5,83 saat ile Rize’dedir. Tablo 4’de 81 il için hesap edilmiş yıllık ortalama güneşlenme süreleri görülmektedir.

Tablo 4 Türkiye’de yıllık ortalama güneşlenme süreleri [18]

İL	ORTALAMA (saat)	İL	ORTALAMA (saat)	İL	ORTALAMA (saat)
ADANA	8,09	ANKARA	7,16	TRABZON	5,84
ANTALYA	8,25	KONYA	7,94	SAMSUN	6,34
MERSİN	8,26	ESKİŞEHİR	6,79	AMASYA	6,65
HATAY	8,22	YOZGAT	7,35	BAYBURT	6,57
KAHRAMANMARAŞ	7,98	SİVAS	7,27	SİNOP	6,44
BURDUR	8,07	KIRŞEHİR	7,59	GÜMÜŞHANE	6,44
ISPARTA	7,83	NİĞDE	8,03	GİRESUN	6,26
OSMANİYE	8,10	AKSARAY	7,91	RİZE	5,82
BALIKESİR	7,36	NEVŞEHİR	7,77	ORDU	6,20
BURSA	6,89	KAYSERİ	7,79	ARTVİN	5,83
BİLECİK	6,64	KARAMAN	8,24	ÇORUM	6,88
KIRIKLARELİ	7,20	KIRIKKALE	7,26	KASTAMONU	6,56
İSTANBUL	6,70	ÇANKIRI	6,89	KARABÜK	6,58
ÇANAKKALE	7,67	ARDAHAN	6,33	BARTIN	6,51
EDİRNE	7,40	MALATYA	7,87	ZONGULDAK	6,52
YALOVA	6,65	BİNGÖL	7,45	DÜZCE	6,47
TEKİRDAĞ	7,14	VAN	8,41	BOLU	6,58
KOCAELİ	6,50	HAKKARİ	9,62	TOKAT	6,75
SAKARYA	6,46	AĞRI	7,62	DİYARBAKIR	7,94
İZMİR	8,18	İĞDIR	9,15	ŞANLIURFA	8,31
MUĞLA	8,33	MUŞ	7,36	MARDİN	8,31
AYDIN	8,26	BİTLİS	7,37	GAZİANTEP	8,16
DENİZLİ	8,03	ERZİNCAN	7,11	ADİYAMAN	8,11
UŞAK	7,64	ELAZIĞ	7,76	SİİRT	7,75
MANİSA	7,78	KARS	6,95	KİLİS	8,15
KÜTAHYA	7,00	TUNCELİ	7,44	ŞIRNAK	8,15
AFYONKARAHİSAR	7,41	ERZURUM	8,86	BATMAN	7,87



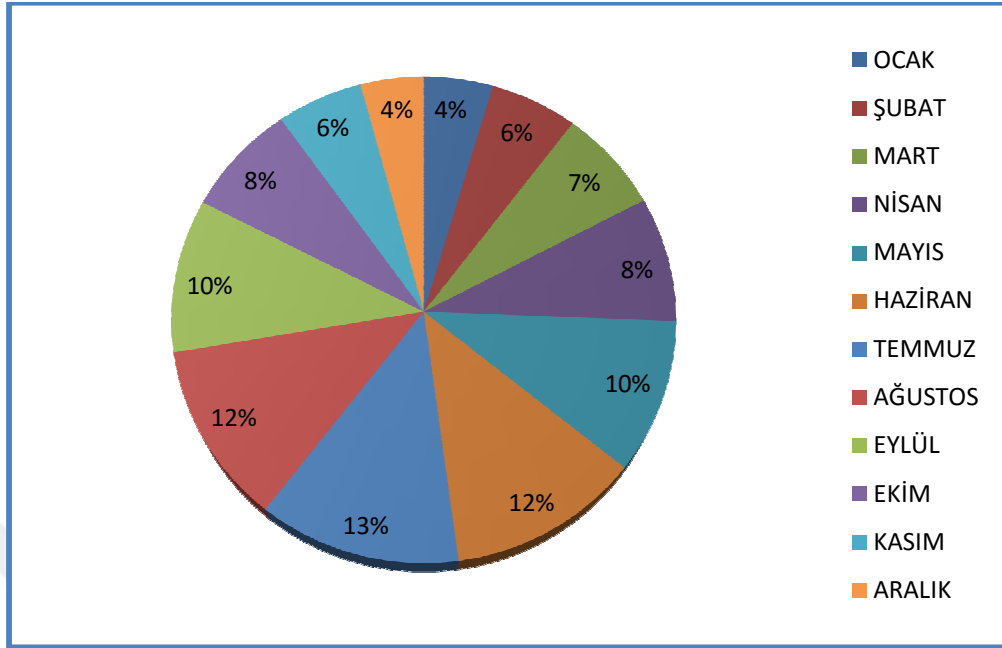
Şekil 13 Türkiye’de yıllık ortalama güneşlenme süreleri grafiği [18]

1.1.2.2 Türkiye’de Güneşlenme Sürelerinin Yıl İçerisindeki Dağılımı

Yıllık ortalama güneşlenme süreleri illere göre farklılık göstermekle birlikte, yıl içerisinde aylara göre de farklılıklar göstermektedir. GEPA verileri incelendiğinde, 81 ilin aylara göre toplam güneşlenme sürelerinin ortalamaları baz alınmış; güneşlenme sürelerinin yıl içerisinde Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında yüksek değerlerde olduğu görülmüştür. Tablo 5’de, 81 ilin aylara göre toplam güneşlenme sürelerinin ortalamaları görülmektedir.

Tablo 5 Türkiye’de güneşlenme sürelerinin yıl içerisindeki dağılımı [18]

Ay	Ortalama (saat)
OCAK	4,03
ŞUBAT	5,13
MART	6,15
NİSAN	7,37
MAYIS	9,02
HAZİRAN	10,67
TEMMUZ	11,13
AĞUSTOS	10,51
EYLÜL	9,05
EKİM	6,70
KASIM	5,04
ARALIK	3,69



Şekil 14 Türkiye’de güneşlenme sürelerinin aylara göre dağılımı grafiği [18]

1.1.2.3 Türkiye’de Güneşlenme Sürelerinin Bölgelere Göre Gösterilmesi

Tablo 4’de yer alan yıllık ortalama güneşlenme süreleri bölgelere ayrılmış, bölgelerin ortalama güneşlenme süreleri hesap edilmiştir. Tablo 6’da hesap edilmiş değerler görülmektedir.

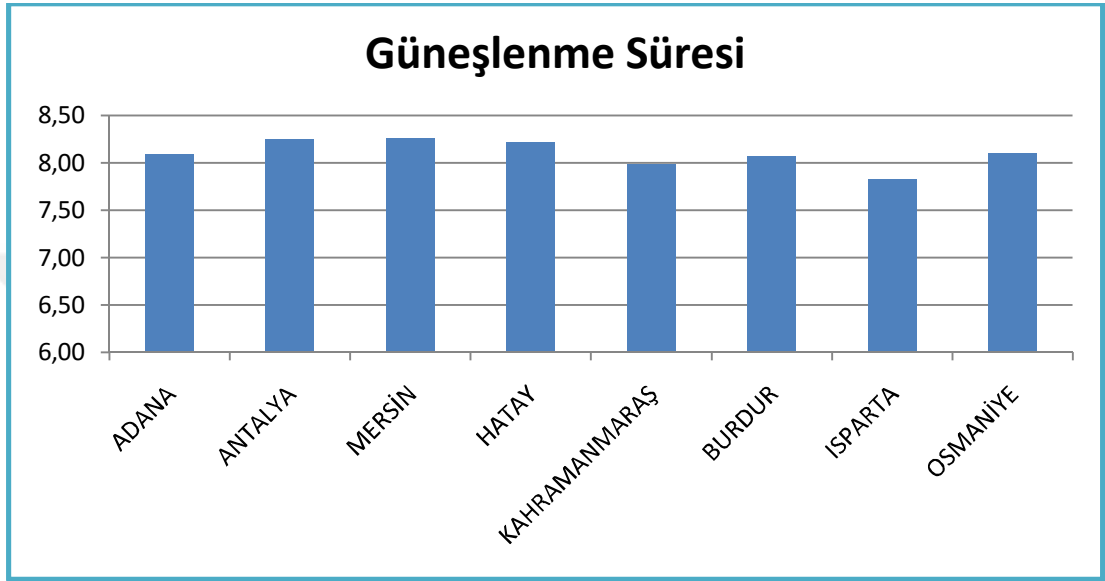
GEPA verileri baz alınarak, bölgelere göre yıllık ortalama güneşlenme sürelerinde 8,10 saat ile en yüksek Akdeniz Bölgesi, 6,40 saat ile en düşük Karadeniz Bölgesi hesap edilmiştir.

Tablo 6 Yıllık ortalama güneşlenme sürelerinin bölgelere göre gösterilmesi [18]

Bölgeler	Ortalama (saat)
AKDENİZ BÖLGESİ	8,10
EGE BÖLGESİ	7,83
MARMARA BÖLGESİ	6,96
KARADENİZ BÖLGESİ	6,40
DOĞU ANADOLU BÖLGESİ	7,81
GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİ	8,08
İÇ ANADOLU BÖLGESİ	7,54

1.1.2.3.1 Akdeniz Bölgesinde Güneşlenme Süreleri

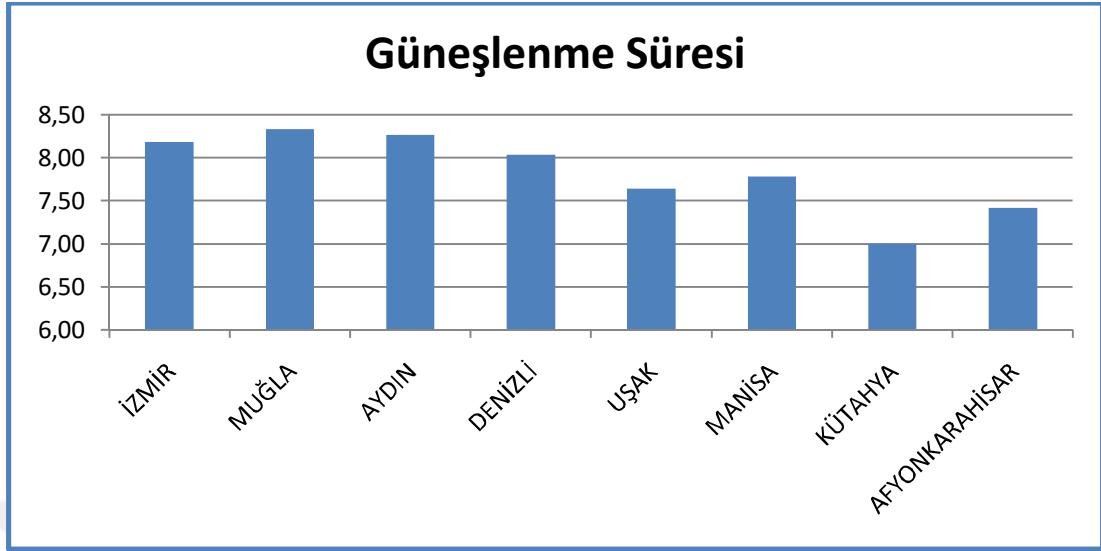
Akdeniz Bölgesinde 8 il bulunmaktadır, bu illerin yıllık güneşlenme süreleri ortalaması 8,10 saat'tir. En yüksek güneşlenme süresi değeri 8,26 saat ile Mersin'de, en düşük güneşlenme süresi değeri ise 7,83 saat ile Isparta'dadır.



Şekil 15 Akdeniz Bölgesi güneşlenme süresi değerleri [18]

1.1.2.3.2 Ege Bölgesinde Güneşlenme Süreleri

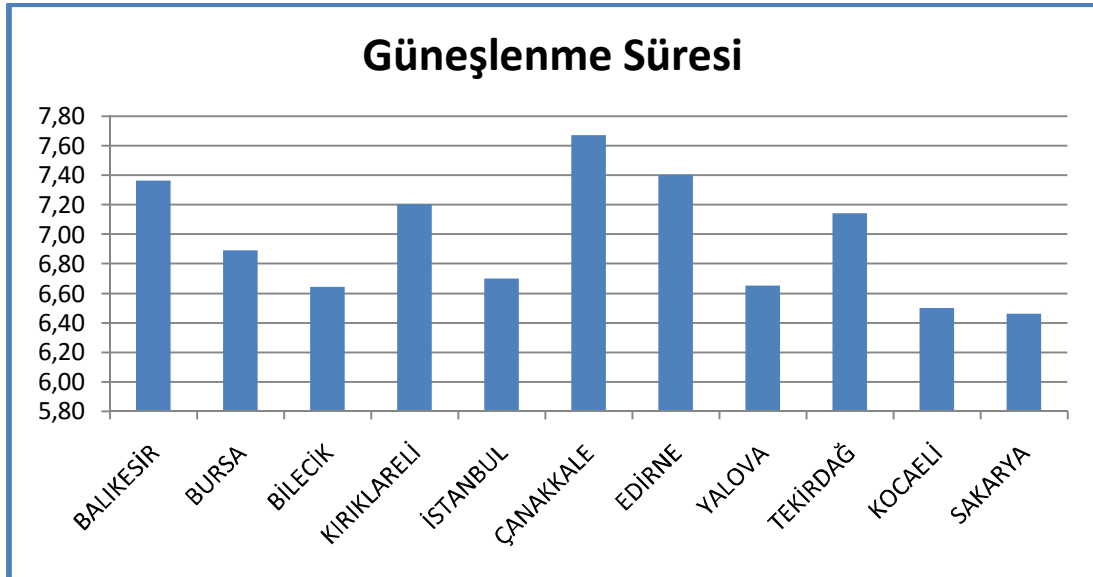
Ege Bölgesinde 8 il bulunmaktadır, bu illerin yıllık güneşlenme süreleri ortalaması 7,83 saat'tir. En yüksek güneşlenme süresi değeri 8,33 saat ile Muğla'da, en düşük güneşlenme süresi değeri ise 7,00 saat ile Kütahya'dadır.



Şekil 16 Ege Bölgesi güneşlenme süresi değerleri [18]

1.1.2.3.3 Marmara Bölgesinde Güneşlenme Süreleri

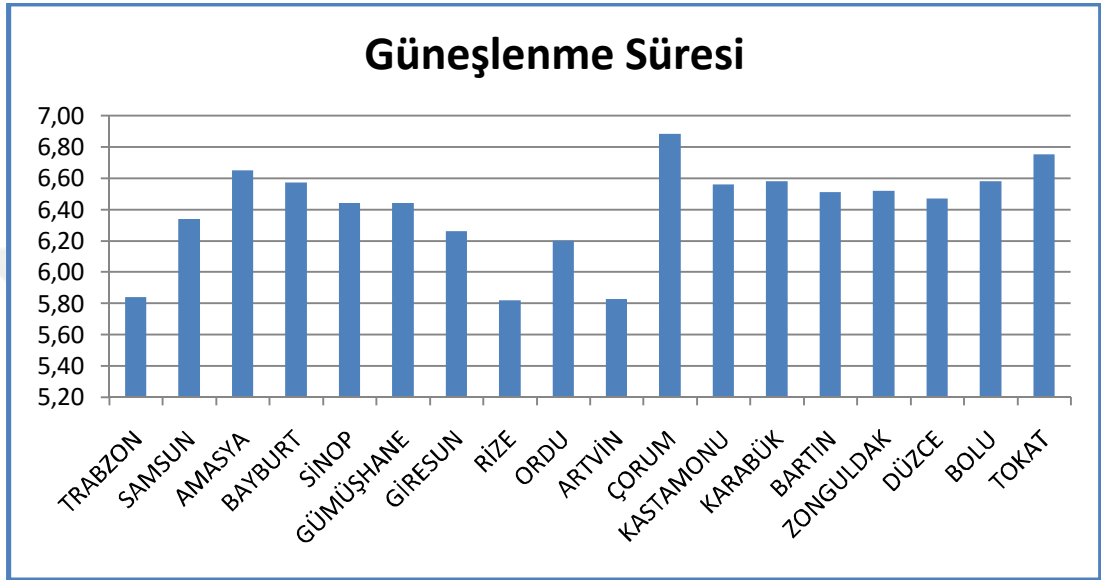
Marmara Bölgesinde 11 il bulunmaktadır, bu illerin yıllık güneşlenme süreleri ortalaması 6,96 saat'tir. En yüksek güneşlenme süresi değeri 7,70 saat ile Çanakkale'de, en düşük güneşlenme süresi değeri ise 6,46 saat ile Sakarya'dadır.



Şekil 17 Marmara Bölgesi güneşlenme süresi değerleri [18]

1.1.2.3.4 Karadeniz Bölgesinde Güneşlenme Süreleri

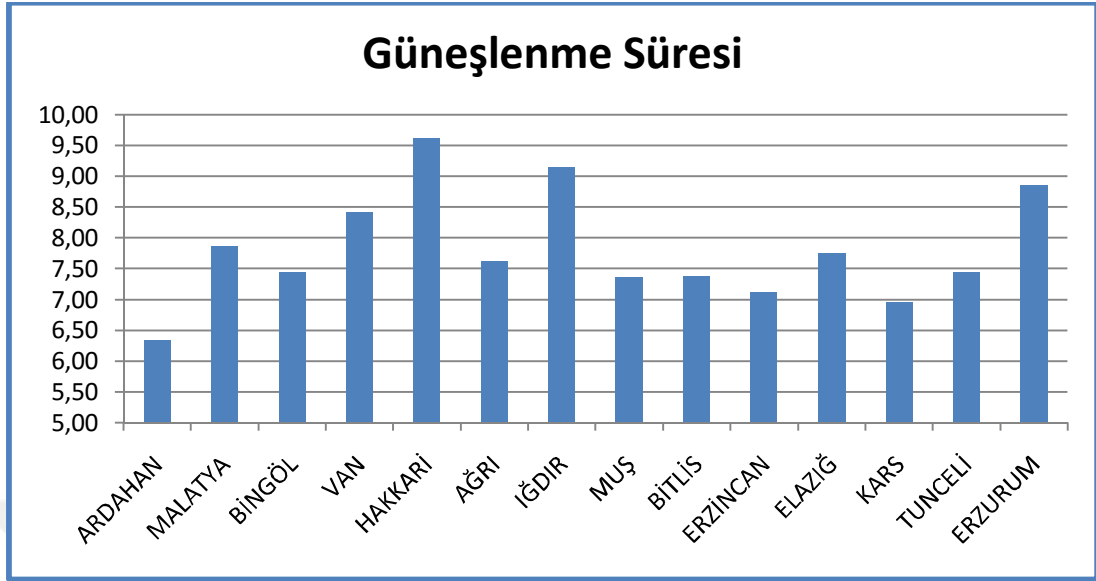
Karadeniz Bölgesinde 18 il bulunmaktadır, bu illerin yıllık güneşlenme süreleri ortalaması 6,40 saat'tir. En yüksek güneşlenme süresi değeri 6,88 saat ile Çorum'da, en düşük güneşlenme süresi değeri ise 5,83 saat ile Rize'dedir.



Şekil 18 Karadeniz Bölgesi güneşlenme süresi değerleri [18]

1.1.2.3.5 Doğu Anadolu Bölgesinde Güneşlenme Süreleri

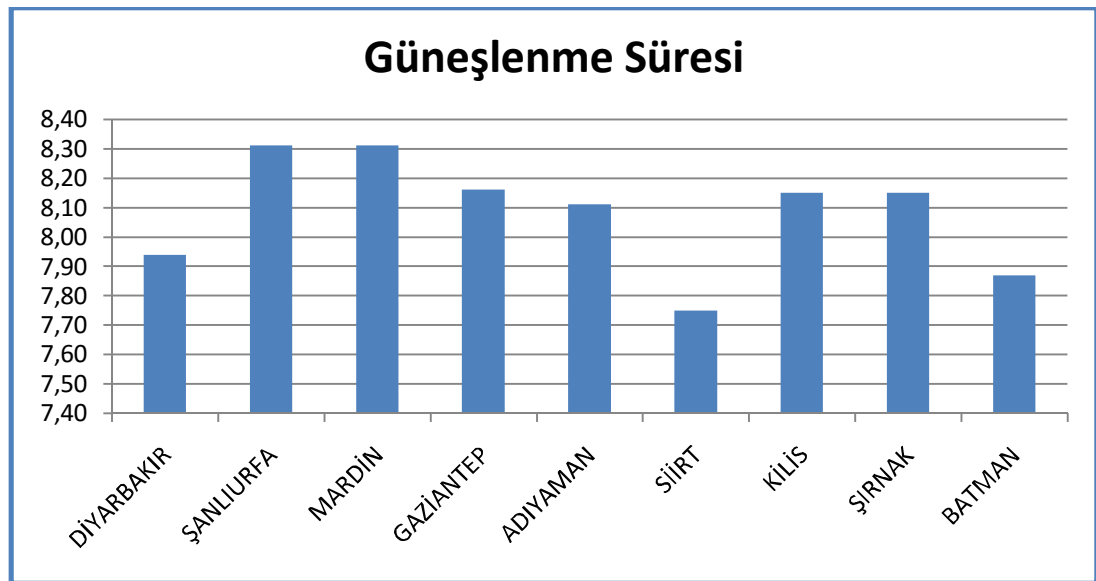
Doğu Anadolu Bölgesinde 14 il bulunmaktadır, bu illerin yıllık güneşlenme süreleri ortalaması 7,81 saat'tir. En yüksek güneşlenme süresi değeri 9,62 saat ile Hakkari'de, en düşük güneşlenme süresi değeri ise 6,33 saat ile Ardahan'dadır.



Şekil 19 Doğu Anadolu Bölgesi güneşlenme süresi değerleri [18]

1.1.2.3.6 Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Güneşlenme Süreleri

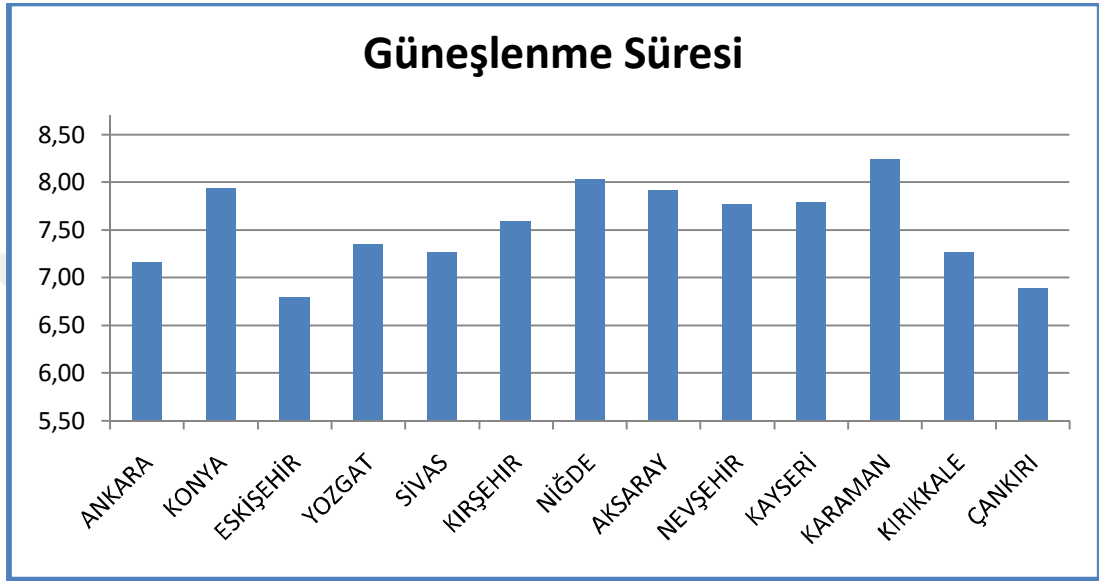
Güneydoğu Anadolu Bölgesinde 9 il bulunmaktadır, bu illerin yıllık güneşlenme süreleri ortalaması 8,08 saat'tir. En yüksek güneşlenme süresi değeri 8,31 saat ile Mardin ve Şanlıurfa'da, en düşük güneşlenme süresi değeri ise 7,75 saat ile Siirt'tedir.



Şekil 20 Güneydoğu Anadolu Bölgesi güneşlenme süresi değerleri [18]

1.1.2.3.7 İç Anadolu Bölgesinde Güneşlenme Süreleri

İç Anadolu Bölgesinde 13 il bulunmaktadır, bu illerin yıllık güneşlenme süreleri ortalaması 7,54 saat'tir. En yüksek güneşlenme süresi değeri 8,24 saat ile Karaman'da, en düşük güneşlenme süresi değeri ise 6,79 saat ile Eskişehir'dedir.



Şekil 21 İç Anadolu Bölgesi güneşlenme süresi değerleri [18]

İKİNCİ BÖLÜM

TURGUT ÖZAL ÜNİVERSİTESİ GÜNEŞ EVİ (TÜGEV)

Enerjinin tüketildiği yerde üretilmesi, enerji iletim ve dağıtım hatlarında meydana gelen kayıpların azaltılması bakımından çok önemli bir avantaj oluşturmaktadır. Bu açıdan son kullanıcıların kendi elektriğini üretmesi ve mümkün olduğunca bu üretimin yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması çok önemlidir. Enerjinin büyük kısmı yerleşim alanlarında tüketilmektedir, ancak özellikle şehirlerde son kullanıcıların kendi enerjisini rüzgârdan veya güneşten üretmesi çevresel şartlara bağlı olarak oldukça zor gözükmektedir. Her ne kadar şehirlerde güneş enerjisinin kullanımı rüzgâra göre daha pratik olsa da, evlerin ve apartmanların çatı sistemlerine bağlı olarak, güneş enerjisinden yeterli oranda istifadeyi engelleyen birçok etken bulunmaktadır. En başta, güneş takip sistemlerinin çatıların üzerine kurulması çok mümkün olmadığı için, sabit panellerin kullanımı gündeme gelmekte, bu kullanımda da çok büyük verim kaybı oluşmaktadır. Bununla beraber, bütün çatıların güney istikamete bakmayışı ve çatıların panelleri taşıyacak güçte olmayışı gibi ilave problemler de verimi düşürmektedir.

Son zamanlarda, yeni nesil yapılarda güneşten maksimum enerji elde etmeyi hedefleyen ve enerji üretimi ile çatı mimarisini beraber ele alan çalışmalar başlatılmıştır. Örneğin Columbia Üniversitesinde yapılan bir çalışmada bina çatılarına entegre edilmesi düşünülen PV paneller için yeni tip çatı tasarımı yapılmıştır. Söz konusu çatı tasarımı ile bina çatısının tamamının PV paneller ile kaplanması sağlanarak elektrik üretimi hedeflenmiş, diğer çalışmalardan ayrılan yönü ile PV panel altlarına döşenen su kanalları ile panellerin ısısının düşürülmesi sonucu verim artışı sağlanmıştır. Ayrıca PV panellerin soğutulması için kullanılan suyun ısınması sonrası, bina içerisindeki sıcak su ihtiyacının karşılanması hedeflenmiştir [21].

Colorado Üniversitesi ve Assiut Üniversitesinin birlikte yapmış olduğu diğer bir çalışmada ise Mısır'daki bina tasarımları ele alınmış olup, PV sistemlerin binalar ile bütünleşik ele alınmaları yönünde yeni mimari çalışmalara yer verilmiştir. PV panellerin yeni binalarda bütünleşik olarak optimum konumlandırılabilmesi için

değerlendirmeler yapılmış ve yeni tip bina tasarımları ile elektrik üretim verimlerinin artırılabilirliği sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte PV paneller ile bütünleşik yeni bina tasarımları için mimari programlarda kullanılacak araç kutusu geliştirilmiştir [22].

Akademik seviyede yapılan çalışmaların yanında endüstriyel alanda da PV panellerin binalar ile bütünleşik olarak ele alınmaları yönünde uygulamalar geliştirilmeye başlanmıştır. Örneğin ABD'de faaliyet gösteren Kraft isimli firmanın yarış atı yürütme platformları (evleri) için geliştirdiği güneş takip esasına dayalı döner çatı mimarisi ile kendi elektriğini üreten sistem kurulmuş ve normal sistemlere göre %33'e yakın verim artışı elde edilmiştir. Şekil 22'de görseline yer verilen sistemin çatısına güneşi takip eden 30kW panel yerleştirilmiştir. Ayrıca daha büyük çaplı sistemler için (çapı 18m) çalışmaları devam etmektedir [23].



Şekil 22 Kraft firmasının geliştirdiği döner çatı sistemi [23]

Benzer diğer bir çalışma da Şekil 23'de görseline yer verilen İtalya'da geliştirilmiş olan bir ev görülmektedir. Evin altına yerleştirilen 28 adet tekerlek ile güneşi takip etmesi hedeflenmektedir. Söz konusu evin çatısının da bina ile döndüğü düşünüldüğünde çatıda yer alan 24 adet PV panel ile güneş takibi esasına dayalı elektrik üretimi hedeflenmektedir [24].



Şekil 23 İtalya’da gerçekleştirilen benzer bir çalışma: Dönen ev [24]

İncelenen tüm çalışmalarda güneş enerjisinden maksimum verimi elde etmek hedeflenmektedir. Bu amaçla yeni mimari yöntemler ile akıllı evlerin ve yapıların yapımı hızla devam etmektedir.

Bu tez çalışmasında ise, yukarıda sunulan benzer çalışmalardan farklı olarak, çatı estetiğini bozmadan, bina ile bütünleşik olarak tasarlanmış olan PV panellerin güneşi iki eksende takip etmeleri sağlanmıştır. Geliştirilen elektromekanik sistem “Turgut Özal Üniversitesi Güneş Evi TÜGEV” olarak isimlendirilmiştir.

TÜGEV, güneş enerjisinden maksimum verim elde etmeyi hedefleyen yenilikçi çatı mimarisi ile güneşi takip edebilme kabiliyetine sahiptir. TÜGEV’le ilgili olarak gerçekleştirilen tasarım, prototip, kontrol ve güç izleme çalışmaları aşağıda ayrı başlıklar altında ele alınmış ve detaylandırılmıştır.

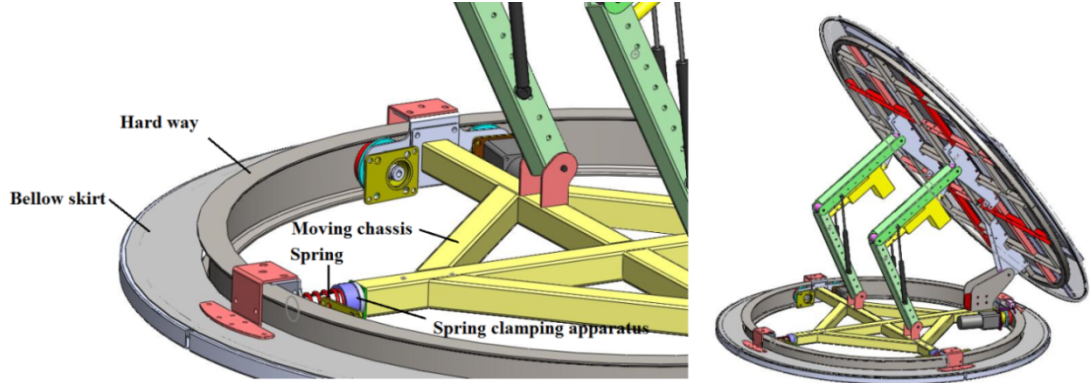
2.1 TASARIM

2.1.1 Tasarımın Amacı – Özgünlüğü

TÜGEV çalışmasını diğer çalışmalardan ayıran başlıca özelliği, yenilikçi döner çatı mekanik aksam (DÇMA) tasarımı sayesinde bina ile bütünleşik PV panellerin güneşi iki eksende takip edebilmesidir. Bu özellik binanın bir parçası olan çatının üzerinde gerçekleştirilmekte ayrıca yere ihtiyaç duyulmamaktadır.

Şekil 24’de DÇMA tasarımı görülmektedir. TÜGEV çalışmasında çatı olarak yer alan sistem sayesinde PV panellerin bina ile bütünleşik olmaları sağlanmıştır. Sistemin gün boyu programlanan aralıklarda çalışması ile üst hareketli diskin üzerine

yerleştirilen PV panellerin doğu-batı, kuzey-güney yönlerinde güneşe dik bakması ve güneşten maksimum verim elde edilmesi hedeflenmiştir.

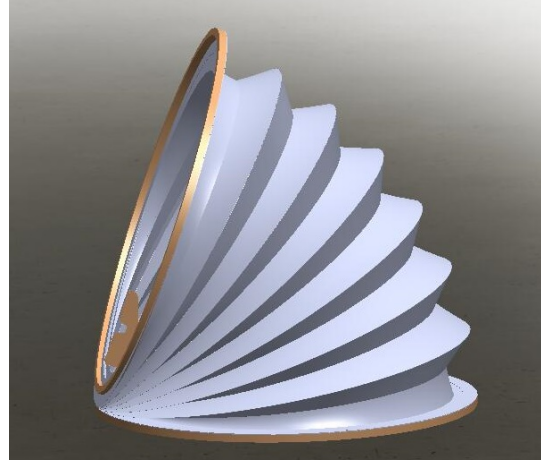


Şekil 24 DÇMA tasarımı

Şekil 24’de geliştirilen prototipin SOLIDWORKS ortamı kullanılarak oluşturulmuş üretim öncesi son tasarım hali görülmektedir. Sistemin modüler tasarlanması ile her çatı için uygulanabilir olması hedeflenmiştir. Ayrıca modüler parçaların uygulama yapılan yerde birleştirilmeleri neticesinde kolaylık sağlanması da düşünülmüştür.

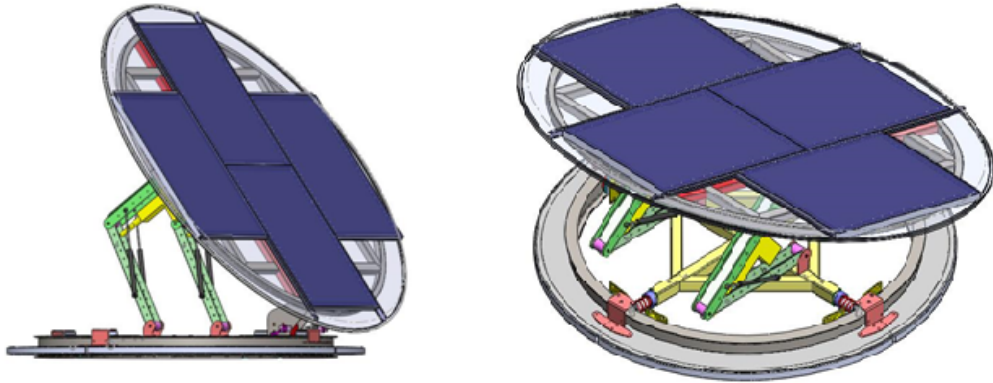
Şekil 24’de yer alan sabit yol tam daire formunda olup, iç yüzeyi ray tipi kanal formundadır. Sabit yol döner çatının taşıyıcısı konumunda bulunmakla birlikte sistemin montajı bu parçanın sabitlemesi ile yapılmaktadır. Hareketli şasenin dört adet koluna monte edilen tekerlek takımları ile sabit yol içerisinde doğu-batı arası açı değeri ayarlanmaktadır. Tekerlek takımlarından iki tanesi diğer ikisinden farklı tasarlanmıştır. Şekil 24’de detaylarına yer verilen hareketli tekerlek takımı ile sistemin sabit yol içerisine yerleştirilmesi ve hareketli şase sabit yol içerisinde çalışırken oluşması muhtemel aksel kaçıklıkların sisteme dâhil edilen yayla önlenmesi sağlanmıştır.

Sistemin dış unsurlardan korunması ve çatının yalıtımı için sisteme körük eklenmiştir. Şekil 25’de görülen körük ile sistemin görsel olarak tamamlanması ve elektromekanik sistemin dışarı ile bağlantısının kesilmesi sağlanmıştır.



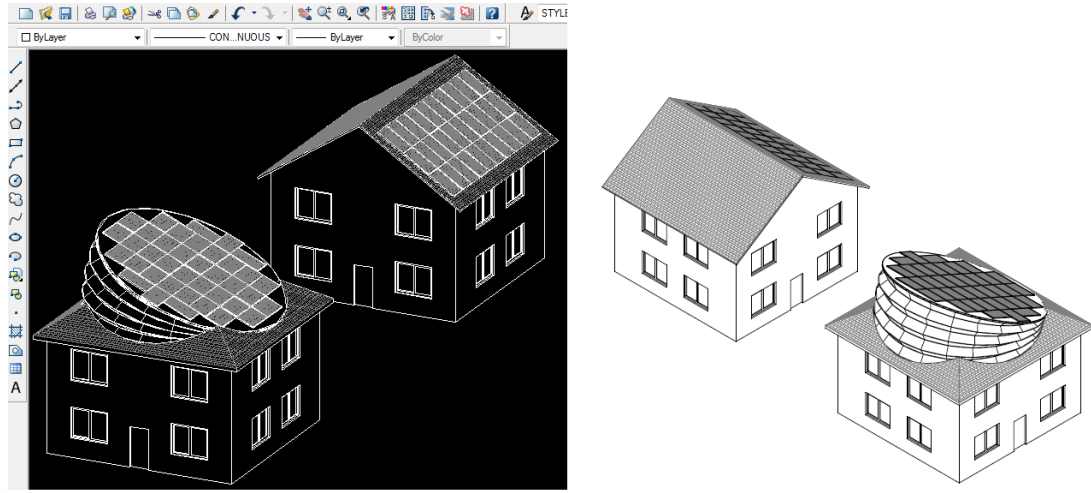
Şekil 25 Körük

TÜGEV çalışmasında çatıdaki alan baz alınarak tasarlanmış DÇMA üzerine yerleştirilmesi düşünülen 4 adet PV panelin yerleşim şekli Şekil 26'da görülmektedir.



Şekil 26 DÇMA üzerine PV panel yerleşim şekli

Tezin bu kısmında TÜGEV çalışmasında çatı olarak yer alacak DÇMA'nın mevcut çatı sistemleri ile temel seviyede karşılaştırılması da tasarımın amaçları arasında önemli bir yer teşkil etmektedir. Mevcut binaların çatılarında güneşe bakan kısımlara yerleştirilebilecek PV panellerin elektrik üretim değerleri ile DÇMA çatı sistemi üzerine yerleştirilebilecek PV panellerin elektrik üretim değerleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 27 Mevcut çatı sistemleri ile döner çatı sisteminin karşılaştırılması

Şekil 27’de 100m²’lik bir ev temel alınarak döner çatı sistemi ile mevcut çatının güney istikamete bakan tarafının PV paneller kullanılarak kaplanması uygulamaları görülmektedir. Her iki çatıda da kullanılan her biri 250W’lık PV panel ölçüleri 1640 x 990 x 35 mm’dir.

PV panellerin yerleşimi her iki çatı tasarımı için de maksimum sayıda olabilecek şekilde ayarlanmıştır. Döner çatı sistemde toplam 38 adet PV panel, mevcut çatıda ise 30 adet PV panel kullanılmıştır. Döner çatı sisteminde kurulu güç;

$$38 \times 250 = 9,5 \text{ kW olarak bulunmaktadır.} \quad (1)$$

Mevcut çatı da ise kurulu güç;

$$30 \times 250 = 7,5 \text{ kW olarak bulunmaktadır.} \quad (2)$$

Şekil 28’de yer alan Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemine bina ile bütünleşik döner çatı sistemi için kurulu güç Eşitlik (1)’den elde edilen değer olarak girilmiş, iki eksende güneşi takip edebilen PV sistem için yıllık ortalama üretim değerleri bulunmuştur.

PV Estimation Monthly radiation Daily radiation Stand-alone PV

Performance of Grid-connected PV

Radiation database: Climate-SAF PVGIS [What is this?]

PV technology: Crystalline silicon

Installed peak PV power: 9.5 kWp

Estimated system losses [0;100]: 14 %

Fixed mounting options:

Mounting position: Building integrated

Slope [0;90]: 36 ° Optimize slope

Azimuth [-180;180]: 0 ° Also optimize azimuth
(Azimuth angle from -180 to 180, East=-90, South=0)

Tracking options:

Vertical axis Slope [0;90]: 0 ° Optimize

Inclined axis Slope [0;90]: 0 ° Optimize

2-axis tracking

Horizon file: Dosya Seç Dosya seçilmedi

Output options

Show graphs Show horizon

Web page Text file PDF

Calculate [help]



Photovoltaic Geographical Information System

European Commission
Joint Research Centre
Ispra, Italy

Performance of Grid-connected PV

PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 39°57'6" North, 32°51'36" East, Elevation: 867 m a.s.l.,
Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF

Nominal power of the PV system: 9.5 kW (crystalline silicon)
Estimated losses due to temperature and low irradiance: 14.6% (using local ambient temperature)
Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.6%
Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%
Combined PV system losses: 28.5%

Month	2-axis tracking system			
	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	21.20	656	3.01	93.4
Feb	29.70	831	4.21	118
Mar	40.50	1250	5.89	183
Apr	45.40	1360	6.06	200
May	56.00	1740	8.49	263
Jun	62.60	1880	9.53	286
Jul	67.10	2080	10.40	322
Aug	63.00	1950	9.80	304
Sep	56.70	1700	8.61	258
Oct	42.00	1300	6.24	193
Nov	34.20	1030	4.88	146
Dec	21.80	676	3.13	97.1
Year	45.10	1370	6.75	205
Total for year		16500		2460

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh)


Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh)

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

Şekil 28 Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sisteminde 2 eksenle güneşi takip edebilen PV sistem için yıllık ortalama üretim değerleri [25]

Şekil 29'da mevcut çatı sistemi için kurulu güç Eşitlik (2)'den elde edilen değer ve çatı eğimi de 36° olarak girilmiş, sabit PV sistem için yıllık ortalama üretim değerleri bulunmuştur.



JRC
EUROPEAN COMMISSION

Photovoltaic Geographical Information System

European Commission
Joint Research Centre
Ispra, Italy

PV Estimation | Monthly radiation | Daily radiation | Stand-alone PV

Performance of Grid-connected PV

Radiation database: Climate-SAF PVGIS [What is this?]

PV technology: Crystalline silicon

Installed peak PV power: 7.5 kWp

Estimated system losses [0;100]: 14 %

Fixed mounting options:

Mounting position: Building integrated

Slope [0;90]: 36 ° Optimize slope

Azimuth [-180;180]: 0 ° Also optimize azimuth
(Azimuth angle from -180 to 180, East=-90, South=0)

Tracking options:

Vertical axis Slope [0;90]: 0 ° Optimize

Inclined axis Slope [0;90]: 0 ° Optimize

2-axis tracking

Horizon file: Dosya Seç Dosya seçilmedi

Output options

Show graphs Show horizon

Web page Text file PDF

[\[help\]](#)

Performance of Grid-connected PV

PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 39°57'6" North, 32°51'36" East, Elevation: 867 m a.s.l.,
Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF

Nominal power of the PV system: 7.5 kW (crystalline silicon)
Estimated losses due to temperature and low irradiance: 14.6% (using local ambient temperature)
Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.6%
Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%
Combined PV system losses: 28.5%

Month	Fixed system: inclination=36 deg., orientation=0 deg.			
	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	14.70	457	2.56	79.4
Feb	20.20	566	3.54	99.1
Mar	27.10	839	4.90	152
Apr	29.00	871	5.36	161
May	32.20	999	6.14	190
Jun	34.70	1040	6.68	200
Jul	36.70	1140	7.19	223
Aug	36.70	1140	7.22	224
Sep	34.40	1030	6.60	198
Oct	27.30	848	5.07	157
Nov	22.30	669	3.94	118
Dec	14.80	459	2.59	80.3
Year	27.50	838	5.16	157
Total for year		10100		1880

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh)
Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh)
Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m2)
Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m2)

Şekil 29 Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sisteminde sabit PV sistem için ortalama üretim değerleri [25]

Şekil 28’de girilen değerler için yıllık ortalama üretim değeri 16500 kWh, şekil 29’da girilen değerler için yıllık ortalama üretim değeri 10100 kWh olarak bulunmuştur. Elde edilen değerler kullanılarak döner çatı sistemi ile mevcut çatı sistemi arasındaki yıllık ortalama üretim farkı;

$$16.500 - 10.100 = 6400\text{kWh bulunur.} \quad (3)$$

Eşitlik (3)’de elde edilen değerlerin getirisini hesaplayabilmek için çatıların ilk kurulum maliyetlerini, PV panel maliyetlerini ve mekanik sistem kurulumu maliyetlerini hesaba katıp kendini amorti süresini ve 20 yıllık sürede artı getirisi hesaplanmıştır.

Tablo 7’de yer alan bilgilere göre her iki çatı sisteminin amorti sürelerini öğrenebilmek için kWh cinsinden yıllık ortalama üretim değerlerinin TL karşılığının hesaplanması gerekmektedir. Hesaplama Türkiye şartlarında kWh cinsinden ortalama birim fiyatı 0,35 TL olarak kabul edilmiş ve döner çatı sisteminin yıllık ortalama getirisi;

$$16.500 \times 0,35 = 5.670 \text{ TL bulunmuştur.} \quad (4)$$

Tablo 7 Çatıların maliyet açısından incelenmesi

Çatı Maliyet İncelemesi	Parametreler		
	Çatı Kurulum Maliyeti	PV Panel Maliyeti + Mekanik Sistem Kurulum Maliyeti	Toplam Maliyet
Döner Çatı Sistemi	5.000 TL	$24.700 + 25.000 = 49.700$ TL	54.700 TL
Mevcut Çatı Sistemi	20.000 TL	19.500 TL	49.500 TL

Aynı şekilde mevcut çatı sisteminin yıllık ortalama getirisi;

$$10.100 \times 0,35 = 3.535 \text{ TL bulunmuştur.} \quad (5)$$

Eşitlik (4) kullanılarak döner çatı sisteminin amorti süresini hesap edilecek olursa;

$$54.700 / 5.670 = 9,7 \text{ yıl olarak bulunmaktadır.} \quad (6)$$

Eşitlik (5) kullanılarak mevcut çatı sisteminin amorti süresi hesap edilecek olursa;

$$39.500 / 3.535 = 11,2 \text{ yıl olarak bulunmaktadır.} \quad (7)$$

Eşitlik (4) ve eşitlik (6) kullanılarak döner çatı sisteminin 20 yıllık sürede amorti yılları düşülerek getiri miktarı;

$$5.670 \times 10,3 = 58.401 \text{ TL olarak hesap edilmiştir.} \quad (8)$$

Eşitlik (5) ve eşitlik (7) kullanılarak döner çatı sisteminin 20 yıllık sürede amorti yılları düşülerek getiri miktarı;

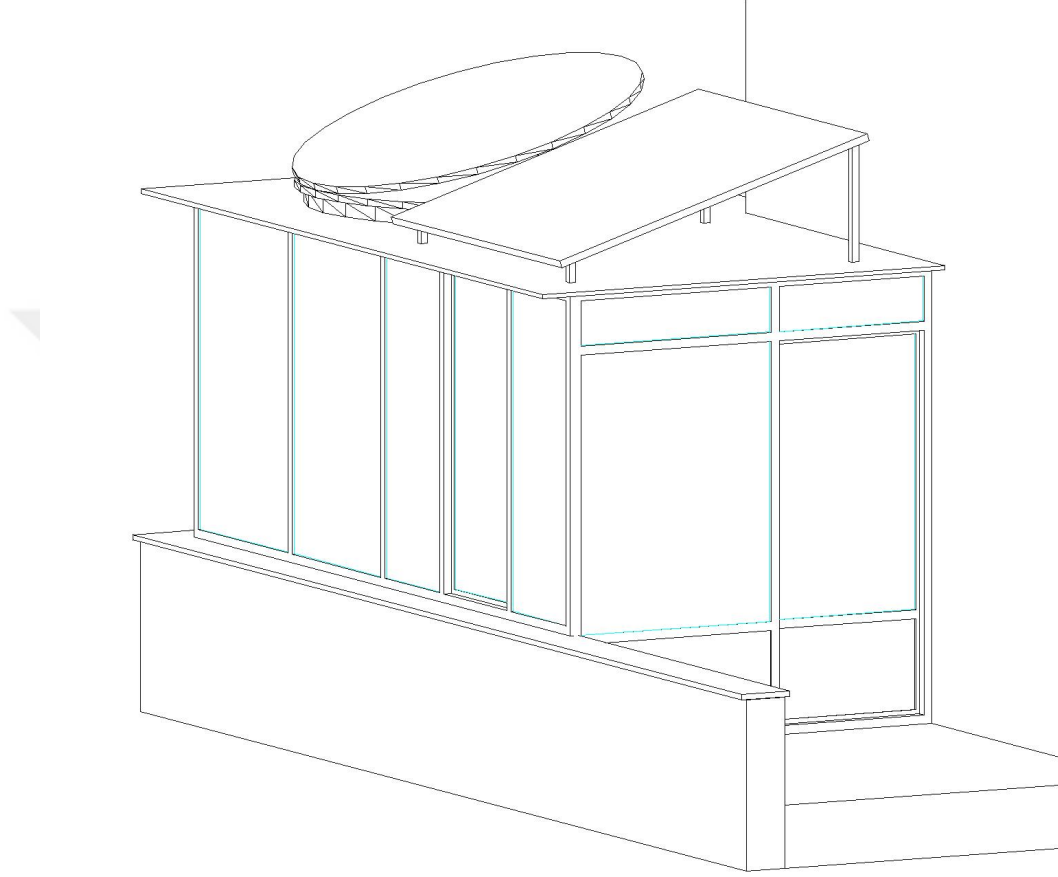
$$3.535 \times 8,8 = 31.108 \text{ TL olarak hesap edilmiştir.} \quad (9)$$

Temel seviyede yapılan karşılaştırmada döner çatı sisteminin mevcut çatılardan tasarım olarak üstün olduğu anlaşılmaktadır.

2.1.2 Tasarımın Hedefleri

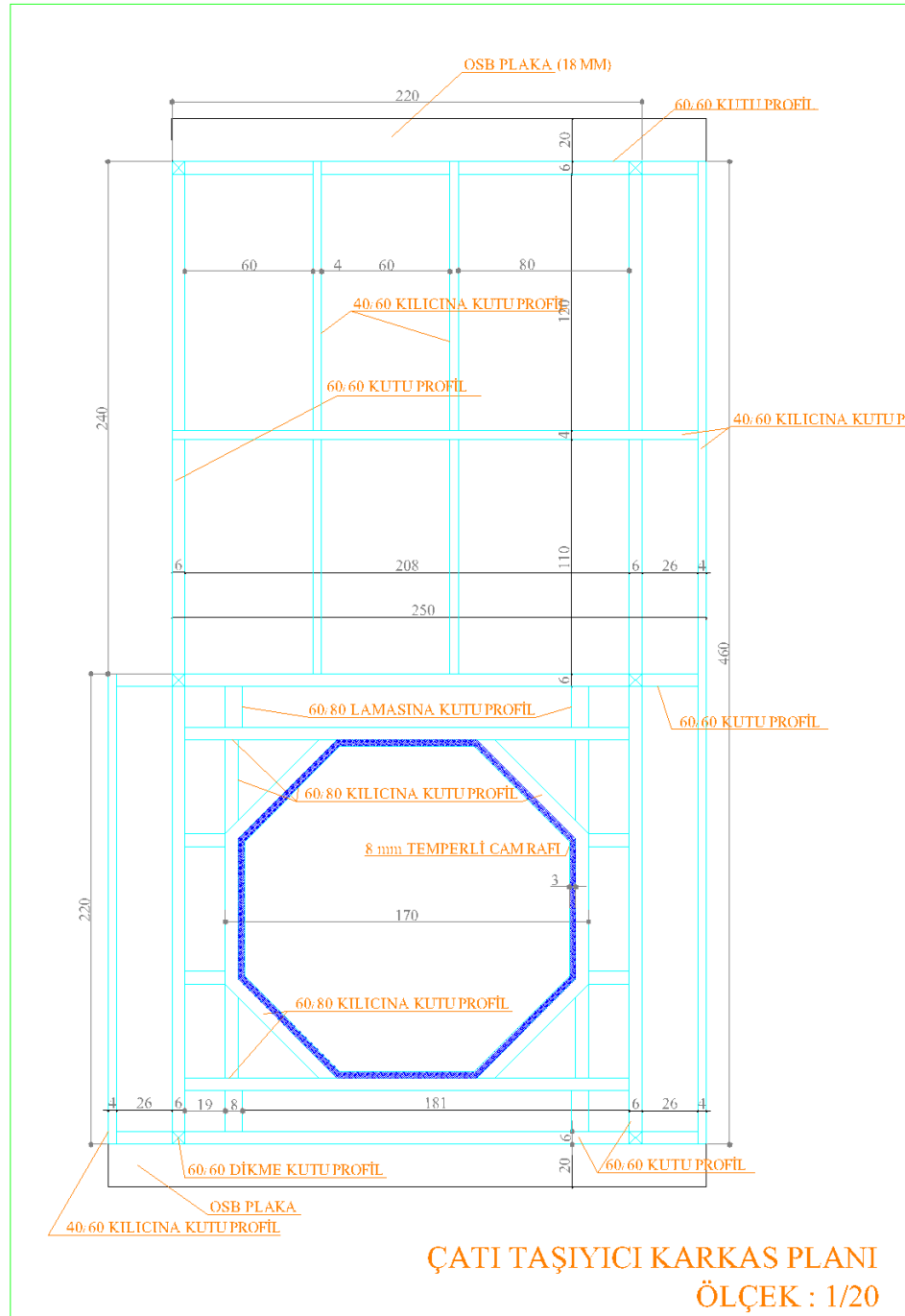
Tasarımın amaçları bölümünde tasarım detaylarına yer verdiğimiz DÇMA kurulumu için ayrıca bina tasarımı da yapılmıştır. Bina dikdörtgen olarak tasarlanmış

binanın yarısına döner çatı sistemi kurulumu, diğer yarısına da sabit PV panellerin kurulumu düşünülmüştür. Şekil 30'da TÜGEV çalışmasının 3D bina tasarımı görülmektedir.



Şekil 30 TÜGEV 3D bina tasarımı

TÜGEV bina tasarımının önemli kısımlarına ait çizimlere ekler bölümünde yer verilmiştir. Cephe ve kesit çizimleri yapılan TÜGEV bina tasarımı ile Şekil 30'da görülen yapının oluşturulması hedeflenmektedir.



Şekil 31 TÜGEV Çatı Taşıyıcı Karkas Planı

Tasarımın hedefleri arasında önemli bir yer teşkil etmesinden dolayı çatı taşıyıcı karkas sisteme tezin bu kısmında yer verilmiştir. DÇMA'nın çatıda konumlandırılacağı alan Şekil 31'de tasarımsal olarak görülmektedir. Demir profiller ile oluşturulmuş taşıyıcı karkas sitem sayesinde DÇMA'nın sağlam şekilde taşınması hedeflenmektedir. Ayrıca DÇMA'nın çatıda yer alacağı alan altına cam yerleştirilmesi

hedeflenmektedir. Bu sayede sistemin TÜGEV içerisinde izlenebilmesi düşünülmektedir.

2.1.3 Tasarımda Kullanılan Programlar ve Yöntem

DÇMA'nın tasarımı safhasında SOLIDWORKS programından yararlanılmıştır [26]. Tüm bileşenler ayrı ayrı tasarlanarak modülerlik hedeflenmiş, tüm bileşenlerin bir araya getirilmesi ile DÇMA meydana getirilmiştir.

TÜGEV bina tasarımında ve mevcut bina çatıları ile DÇMA karşılaştırılması çizimlerinde AutoCad programı kullanılmıştır [27]. Çizimlere ölçekli olarak tezde yer verilmiştir.

2.1.4 Tasarımın Sınai Hakları

TÜGEV çalışmasını diğer çalışmalardan ayıran DÇMA tasarımı hakları için TPE nezdinde patent başvurusunda bulunulmuştur. Patent başvuru evrağına ekler bölümünde yer verilmiştir.

2.2 PROTOTİP

Çalışmanın bu safhasında, tasarım bölümünde görsellerine yer verilen parçaların, mevcut üretim teknikleri kullanılarak prototip uygulamasında hayata geçirilmelerine değinilmiştir. Üretim önceliğinde tasarım sırası gözetilmiş olup, modüler olan parçaların birleştirilmelerinde de birleşim sıralarına riayet edilmiştir.

Yine çalışmanın bu safhasında kontrol amaçlı kullanılan endüstriyel ekipmanlara, PV sistemi oluşturan bileşenlere ve LED aydınlatma ekipmanlarına değinilmiştir.

2.2.1 TÜGEV'in Konumu ve Yeri

Şekil 32'de TÜGEV'in konum bilgileri ve TÖÜ Etlik Kampüsü içerisinde hangi yerde durduğu işaret ile belirtilmiştir. TÜGEV'in yeri tercihen seçilmiştir. TÖÜ Etlik Kampüsü içerisinde gün boyu güneşi görebilen güney yönünde prototip yapımı için yer belirlenmiştir. TÜGEV'in enlem bilgileri Şekil 32'da görülmektedir [28].



Şekil 32 TÜGEV'in konumu [28]

2.2.2 TÜGEV'in Yapısı

Şekil 30'da üç boyutlu tasarımsal görseline yer verilen TÜGEV'in yapısı iki ana unsurdan oluşmaktadır. Ekler bölümünde yer alan mimari çizimler incelendiğinde de görülen iskelet yapıyı oluşturan kutu profiller ve iskelet üzerine giydirme yapılan PVC cam kaplama TÜGEV'in yapısını oluşturan temel malzemelerdir. Yine mimari çizimler incelendiğinde görülen çatı kaplama, yalıtım malzemesi ve zemin kaplama da TÜGEV'in yapısında yer alan diğer malzemelerdir. TÜGEV prototip görselleri ekler bölümünde yer almaktadır.

2.2.3 DÇMA'nın Yapısı

DÇMA yapımı dört ana başlık altında ele alınmıştır. Bunlar:

- Sabit yol ve hareketli şase,
- Hareketi sağlayan yataklama, tekerlekler ve körük eteği,
- Üst hareketli yüzey ve mafsallar,
- Körüktür.

Bu sıra gözetilerek parçaların ayrı ayrı imalatları yapılmıştır. Tasarım bölümünde de belirtildiği gibi sistemin modüler olması DÇMA'nın başka çatılarda da uygulanabilirliğinin sağlaması yönünden önemlidir.

İmalat aşamasında lazer kesim, tezgahlarda metal işleme, metalleri kaynak yöntemleri kullanarak birleştirme ve demonte parçaların vidalar yardımı ile birleştirilmesi tekniklerinin tamamı kullanılmıştır. İmalatı gerçekleştirilen parçaların statik boya kullanılarak boyanmaları ve kimi metal parçaların da galvaniz kaplama yöntemi ile korozyondan korunmaları hedeflenmiştir [29].

2.2.3.1 Sabit Yol ve Hareketli Şase Yapımı

Sabit yolun 120 NPI profil kullanılarak oluşturulması işlemi, çapı 170cm olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Profil uygun ölçülerde kesilerek, büküm tezgahında bükülmüş ve uygun kaynak yöntemi ile ilk ve son noktaları birleştirilmiştir. Daha sonra hareketli şase, demir profillerin uygun ölçülerde kesilmeleri ve birleştirilmeleri neticesinde imal edilmiştir. Her iki ana parça uygun renkte boyanmıştır. İmalatı gerçekleştirilen sabit yol ve hareketli şase prototip görselleri ekler bölümünde yer almaktadır.

2.2.3.2 Hareketi Sağlayan Yataklama, Tekerlekler ve Körük Eteği

Sisteme hareket kabiliyeti kazandıran hareketli ve sabit tekerlek takımlarının imalatı lazer kesim, metallerin tezgahta işlenmesi ve metallerin kaynatılması yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her iki tekerlek takımında yer alan toplamda 8 adet tekerleğin imalatında poliüretan malzeme kullanılmıştır. Poliüretan malzeme kullanılmasının sebebi; tekerleklerin yükü taşıyıcı ana elemanlar olmasından dolayı dayanıklı bir malzemenin kullanılmasının gerekliliği ve sabit yol içerisinde tekerlek takımlarına tahrik sağlayan Redüktörlü DC motorların tahrikinin her hangi bir kaymaya sebebiyet vermeden yola iyi iletilebilmesinin gerekliliğidir. Poliüretan malzeme hem dayanıklılığı hem de esnekliği yönünden uygun malzeme olarak değerlendirilmiştir [30].

Yataklama ara elemanı, hareketli şase kısa koluna çekiç yardımı ile çakılmıştır. Hareketli şase kısa koluna çakılan yataklama ara elemanının olduğu taraflara hareketli tekerlek takımları yerleştirilmiş ve hareketli şase sabit yol içerisinde yataklanmıştır. Tasarım bölümünde değindiğimiz gibi hareketli tekerlek takımlarında yer alan yay ve yay gergi aparatı ile sistemdeki boşluklar alınmakta, hareketli şasenin sabit yol içerisinde rahat dönmesi sağlanmaktadır.

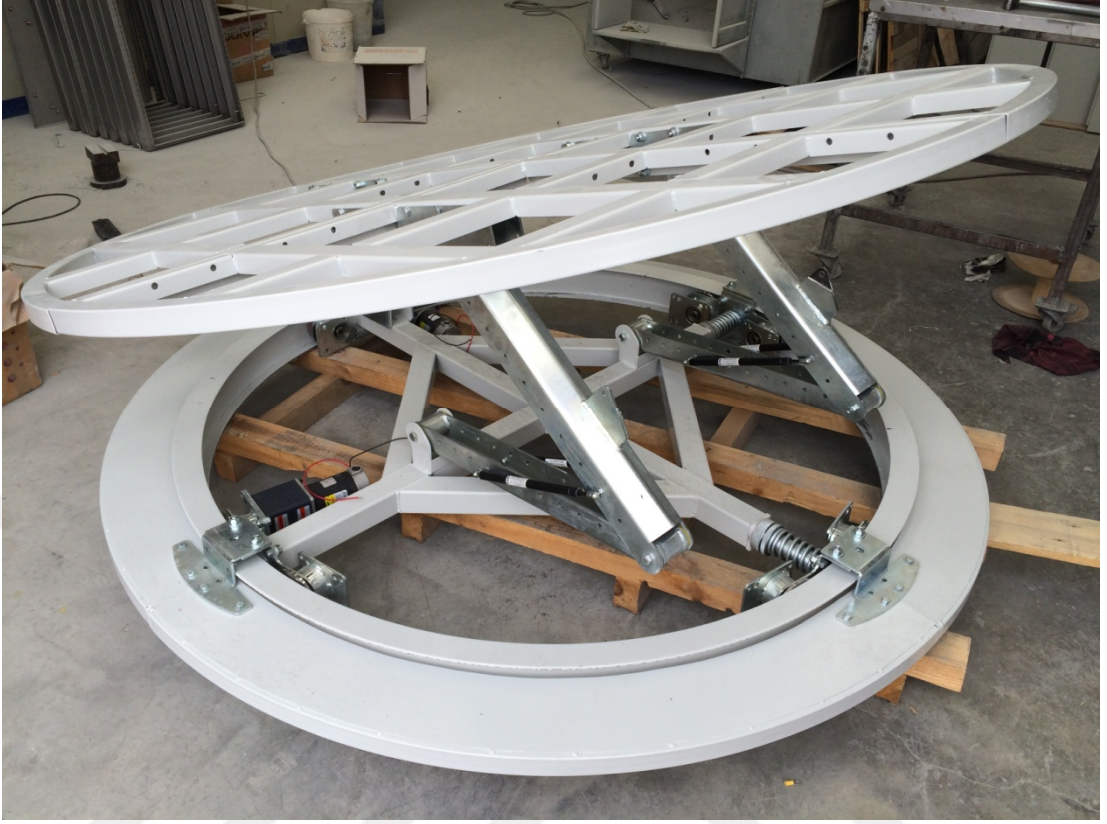
Körük eteğini meydana getiren 4 adet parçanın imalatında da lazer kesim, metallerin kaynatılması ve demonte parçalarının vidalar yardımı ile birleştirilmeleri yöntemleri kullanılmıştır. Elde edilen körük eteğinin montajı hareketli şase üzerinde yer alan tekerlek takımlarındaki uygun yerlerine monte edilmiştir. Bu sayede körük eteğinin hareketli şase ile birlikte dönmesi sağlanmış ve sistemde bütünlük elde edilmiştir.

Hareketli ve sabit tekerlek takımlarının imalat aşamalarını içeren görseller ekler bölümünde yer almaktadır.

2.2.3.3 Üst Hareketli Yüzey ve Mafsallar

PV panellerin yerleştirileceği kısım olan üst hareketli yüzey 200cm çapında, 3mm kalınlığındaki sac plakaların özel büküm yöntemleri ile imal edilmesi sonucu daire şeklinde meydana getirilmiştir. Diğer tüm parçalarda olduğu gibi tek parça değil 4 parça olarak imal edilen üst hareketli yüzey, vidalar yardımı ile birleştirilmek suretiyle bir bütün halini almıştır.

Üst hareketli yüzeyin hareketli şase ile bağlantısını sağlayacak ara bağlantı mafsalların imalatı için 5 mm sacdan lazer kesim yapılmış ve metal kaynak yöntemleri ile parçalar birleştirilmiştir. Mafsallar arasında yer alan havalı piston ve lineer aktüatörler için uygun delikler tasarım detaylarında işaretlenen yerlerinden delinmiştir. Şekil 33'de DÇMA'nın mekanik tüm bileşenlerinin bir araya getirilmiş hali görülmektedir.



Şekil 33 DÇMA

2.2.3.4 Körük

DÇMA'nın son bileşeni olan körük yanmaz, yırtılmaz kumaş kullanılarak imal edilmiştir. Çapı 200cm olacak şekilde dilim dilim kumaşların birleştirilmesi yöntemi ile; sistemin dış etkilerden korunması ve sistemin çatı kabiliyetinde olabilmesi için her türlü mevsim koşullarına dayanabilecek özellikte imal edilmiştir. Şekil 34'de körük montajı da yapılmış DÇMA'nın TÜGEV üzerinde yerleştirilmiş hali görülmektedir.



Şekil 34 DÇMA prototipinin TÜGEV üzerinde görülmesi

2.2.4 Güneş Panelleri

TÜGEV'de iki farklı tip güneş paneli kullanılmıştır. Bunlar:

- Polikristal güneş panelleri
- Monokristal güneş panelleridir.

Şekil 34'de polikristal güneş panelleri DÇMA üzerinde görülmektedir. Her biri 100W gücündeki paneller iki seri iki paralel bağlantı yapılarak kullanılmaktadır.

Şekil 35'de monokristal güneş panellerinin TÜGEV üzerinde nasıl konumlandırıldıkları görülmektedir. Her biri 80W olan panellerin sisteme paralel bağlanması sağlanmıştır.



Şekil 35 Monokristal güneş panellerinin TÜGEV üzerinde konumlandırılması

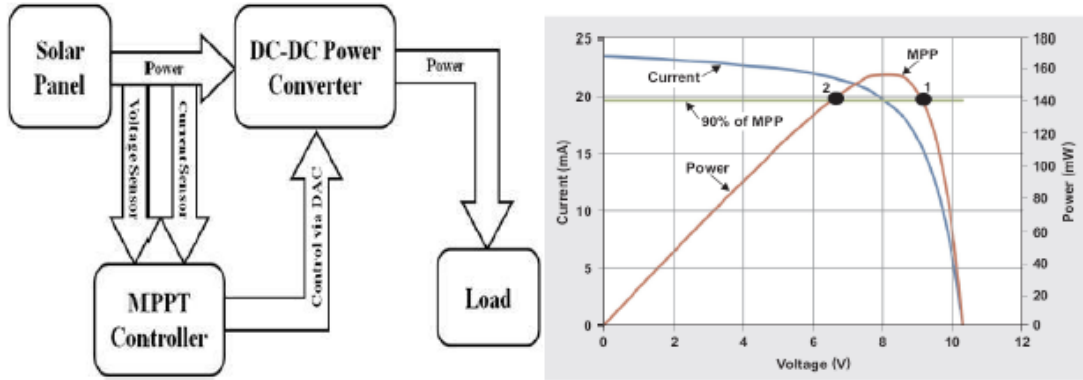
2.2.5 3000 W OffGrid Smart Evirici ve Şarj Cihazı

Birleşik aktarma anahtarlı iki bağımsız alternatif akım kaynağının bağlanabildiği bu evirici ile hem şebeke hattı hem de alternatif bir jeneratör hattı aynı anda bağlanabilmektedir. İki adet alternatif akım güç çıkışından biri ana güç çıkışı kesintisizlik fonksiyonuna sahip olup şebeke veya jeneratör geçişlerinde otomatik geçiş ile çıkış geriliminde herhangi bir bozukluğa uğramadan çalışmasına devam eder. İkinci güç çıkışı sadece eviricinin güç girişlerinden birisinde alternatif akım mevcutken çalışmaktadır. Bu güç çıkışına bağlanacak yüklerin akünün şarjını boşaltmayacak türde olmalıdır. Maksimum güç seviyesinin genellikle sınırlı bir süre için gerektiği durumlarda, Evirici yetersiz şebeke veya jeneratör gücünün derhal aküden alınan güçle telafi edilmesini sağlar [31].

TÜGEV çalışmasında kullanılan bu ekipmanla enerjisi hiç kesilmemesi gereken PLC'nin AC enerji beslemesi yapılmıştır. Aynı zamanda akü bankasının da bu cihazla bağlantıları yapılmıştır. Güneşin yeterli olmadığı durumlarda kullanıcı tarafından belirlenen voltaj aralıklarında akü bankasının şarjı bu cihaz tarafından yapılmaktadır. Bu sayede akü bankasının şarjı belirlenen eşik değerlerinden aşağıya düşmemekte belli bir değerin üstünde sabit kalması sağlanmaktadır.

2.2.6 MPPT Şarj Cihazı

MPPT cihazları PV ve batarya arasına yerleştirilen, yüksek frekanslı DC-DC dönüştürücülerdir. Ancak MPPT devreler PV tarafından üretilen çıkış geriliminin birparçasını tüketirler. MPPT işletme kaybı, bir MPPT cihazının dönüşüm verimi göstermektedir. En gelişmiş MPPT cihazlarının verimi %92-97 arasındadır. MPPT, PV kaynağının yükün çalışma geriliminden bağımsız olarak maksimum güç geriliminde çalışmasını sağlayarak PV'den yüke maksimum güç transfer etmesini sağlamaktadır. Şekil 36'da MPPT cihazının blok diyagramı ve çalışma grafiği görülmektedir



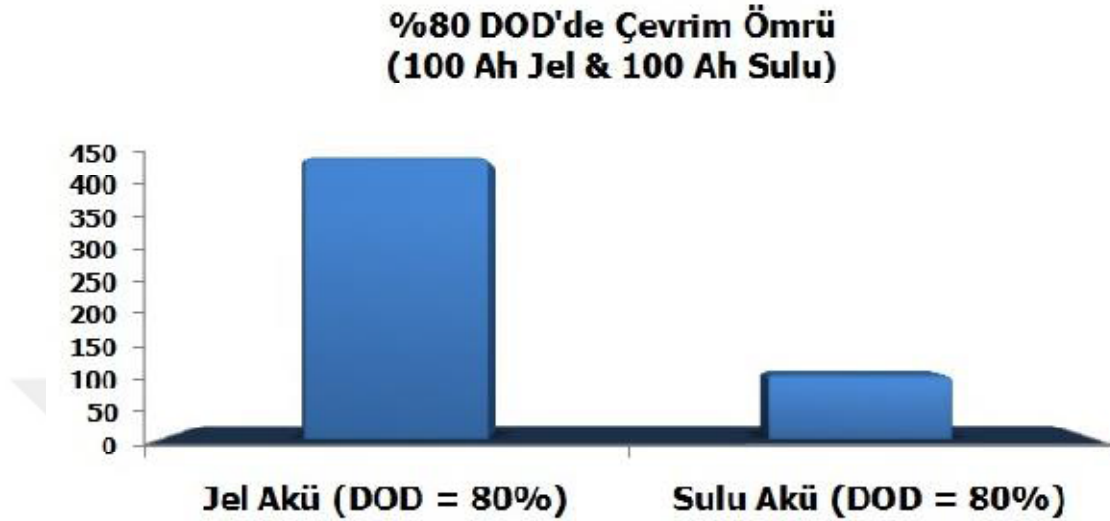
Şekil 36 MPPT Cihazının Blok Diyagramı ve Çalışma Grafiği [31]

2.2.7 Akü Bankası

Kurşun asit aküler, enerji depolama birimi gerektiren birçok sistemde yaygın olarak kullanılmaktadır. Farklı uygulamalarda yüksek performansa sahip akü ihtiyaçlarının artmasıyla birlikte jel aküler, standart sulu akülerin istenen performansı sağlayamadığı alanlarda geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Jel akülerde güvenlik nedeniyle sadece yüksek basınçta açılan özel valf sistemi bulunur ve bu sistem gazların aküden uzaklaşmasını engelleyerek su kaybını minimize eder [31].

Jel aküler bakımsız tip akülerdir, dolayısıyla jel akülere hiçbir şekilde saf su v.b. ilave edilmez. Jel akülerin avantajlarından biri de bünyesinde sıvı elektrolit bulundurmayışıdır. Bu nedenle herhangi bir şekilde elektrolitin akıp akünün bulunduğu ortama zarar verme ihtimali yoktur. Jel akülerde sülfürik asit belli bir oranda silika ile karıştırılarak jel kıvamı elde edilir, akü içindeki iyon transferi de bu jel elektrolit ortamında gerçekleşir. Kullanıcıların jel aküyü tercih etmelerindeki önemli etkenlerden biri jel akülerin kullanılabilir kapasitesidir. Sulu akülerde kullanılabilir kapasite maksimum %50 düzeyindeyken, jel akülerde bu değer %80'dir. Yani 100 Ah'lik bir sulu aküden 50 Ah kullanılabilirken, 100 Ah'lik jel akünün rahatlıkla 80 Ah'lik dilimi kullanılabilir. Jel akülerin sahada geniş birkullanım alanı bulmasının en önemli etkeni jel akülerin çevrim ömrüdür. Jel aküler sulu akülerle kıyaslandığında, aynı kullanım koşullarında jel akülerin 4-5 kat arası daha yüksek ömrü vardır. Şekil 37'de %80 oranında deşarj edilen bir sulu aküyle, jel akünün kıyaslaması verilmiştir. Sulu akünün çevrim ömrü 100 iken jel

akünün çevrim ömrü 450'dir, yani akünün %80'ini deşarj etmek koşuluyla jel akü 450 kere deşarj ve şarj edilebilir [31].



Şekil 37 Jel Akü İle Sulu Akü Arasındaki Çevrim Ömrü Avantajı [31]

TÜGEV'de 6 Adet 12V 40Ah Deep Cycal (Jel) Akü kullanılmıştır. Aküler gün içersinde güneşin yeterli olduğu durumlarda MPPT üzerinden, güneşin yetersiz olduğu durumlarda da şarj cihazı üzerinden şebeke enerjisi kullanılarak şarj edilmektedir.

2.2.8 Akü Bankası Güç İzleme Monitörü

Akü bankası güç izleme monitörü ile gerçek zamanlı olarak aküler üzerindeki gerilim ve doluluk oranı takip edilebilmektedir. Akü bankası üzerindeki şarj ve deşarj akımlarının kontrolü bu monitörle izlenebilmektedir. Akü bankası güç izleme monitörü kendine ait haberleşme protokolü ile şarj cihazı ile haberleşmektedir. Bu sayede akülerin optimum şarj ve deşarj durumları ayarlanmakta, şarj cihazının gerekli konfigürasyonları yapılabilmektedir.

2.2.9 PLC

TÜGEV ana kontrol birimi olarak Siemens S7 1200 PLC kullanılmıştır. S7 1200 mikro PLC ve SIMATIC HMI Basic panellerin basit ve hızlı programlaması, haberleştirilmesi ve devreye alınmasını sağlar. Mikro PLC'nin merkezine ünitesine esnek genişleme opsiyonları sağlayacak şekilde farklı tipte I/O ve haberleşme

modülleri takılabilir. Sistem; projelendirme yazılımı, kontrolörler ve HMI üniteleri arasında kolay bağlantı ve haberleşme için PROFINET portuna sahiptir [32].

2.2.10 HMI (Human Machine Interface)

HMI Panel (Human Machine Interface), PLC sistemleri kullanılarak gerçekleştirilmiş otomasyon sistemi ile kullanıcı arasında etkileşim sağlayan ünitelerdir. Türkçe karşılığı olarak çoğunlukla operatör paneli tabiri kullanılmaktadır [33].

Bir HMI panelin temel görevi operatörden aldığı emirleri otomasyon sistemine iletmek, otomasyon sisteminden aldığı proses verilerini de ekranında görüntülemektir. Otomasyon sisteminin ölçeğine göre veriler birkaç sayfada gösterilebileceği gibi, onlarca ana ve alt sayfadan oluşan karmaşık bir yapı da görülebilir [33].

TÜGEV çalışmasında Siemens HMI Basic Color kullanılmıştır. PLC ile haberleşebilen HMI üzerinden döner çatı sistemi otomatik ya da manuel olarak kontrol edilebilmektedir. Döner çatı sisteminin açılma değerleri HMI üzerinden izlenebilmektedir.

2.2.11 Haberleşme Modülü

TÜGEV çalışmasında yer alan PLC, HMI ve sisteme dahil olabilen diğer komponentler arasında haberleşme Ethernet protokolü üzerinden sağlanmaktadır. Tüm bu cihazlar Ethernet terminali üzerinden haberleşmektedirler.

2.2.12 Kontrol Panosu

Kontrol panosu, döner çatı sistemi kontrol ekipmanlarının tamamını üzerinde barındıran ekipmandır. PLC ile kontrol edilen tüm röleler ve kontaktörler kontrol panosu içerisinde yer almaktadır. HMI ve PLC de kontrol panosu içerisinde yer alan diğer komponentlerdir. Şekil 38’de kontrol panosu görülmektedir.



Şekil 38 Kontrol panosu

2.2.13 LED Aydınlatma Ekipmanları

TÜGEV çalışmasında başlıca yük olarak LED aydınlatma ekipmanları yer almaktadır. TÖÜ koridoruna yerleştirilen LED armatürler ve bu armatürleri kontrol etmeye yarayan sürücüler LED aydınlatma ekipmanlarını oluşturmaktadır. Şekil 39'da TÖÜ koridoruna yerleştirilen LED armatürler görülmektedir.



Şekil 39 LED Armatürler

Şekil 39'da yer alan armatürlerin gücü LED sürücüler tarafından gerilimleri değiştirilerek ayarlanmaktadır. Sabit gerilimde sabit akım çeken SMD LED dizileri ile armatürlerin güçleri kolaylıkla ayarlanabilmektedir. LED armatürler içerisinde iki farklı SMD LED dizisi bulunmaktadır. Gerektiğinde bir LED dizisi sistemden çıkarılabilmekte, bu sayede akülerin deşarj sürelerinin uzaması sağlanmaktadır.

2.3 KONTROL

TÜGEV çalışmasını diğer çalışmalardan ayıran başlıca özelliği, yenilikçi DÇMA sayesinde güneşi takip esasına dayalı PV sistem ile elektrik üretebilmesidir. Aynı zamanda üretilen DA enerjisinin, tüketimi noktasında evirici ya da farklı bir ara ekipmana ihtiyaç duyulmadan LED ekipmanlar ile tüketilmesi sağlanmaktadır. TÜGEV çalışmasının bu safhasında takip sisteminin hangi esaslar ile sağlandığı, TÜGEV bileşenlerinin kontrollerinin nasıl yapıldığı bu bölümde detaylandırılmıştır.

2.3.1 Kontrolün Amacı

PV sistemlerin güneşi takip esasına dayalı elektrik üretimi yapabilmesi akademik ve endüstriyel alanda uzun süredir üzerinde çalışılan konulardan birisidir. Bundan dolayı astronomik bilgilere dayalı hesaplamaların endüstriye uygulanmasında epey yol alınmıştır. Matematiksel hesaplamalar ile Güneş ışınlarının mevsimlere, aylara, günlere ve hatta saatlere göre bilenen enlem açısına göre hangi açıda yeryüzüne geldiği hesap edilebilmektedir [5].

Konya Selçuk Üniversitesinde yapılan bir çalışmada, Güneş açılarının Konya'ya yılın günlerinde ve saatlerinde hangi açılarda geldiği hesap edilmiştir. Yapılan bu hesaplamalar ile PV sistemin güneşi iki eksende takip etmesi sağlanmıştır. Bu sayede elektrik üretiminde verim artışı elde edilmiştir [7].

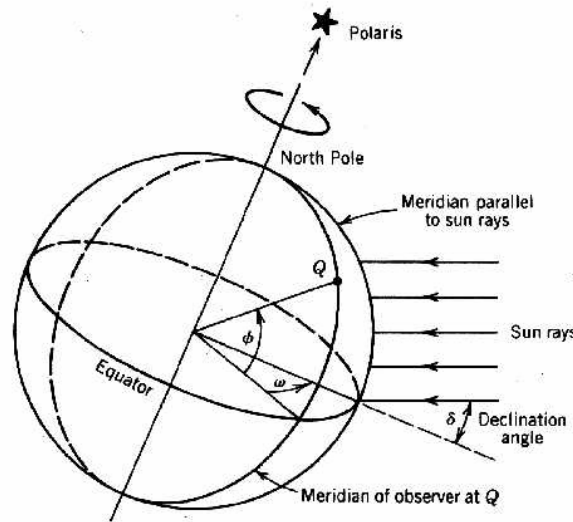
TÜGEV çalışmasında kontrolün amacı, bina ile bütünleşik PV panellerin verim artışı için yenilikçi döner çatı sisteminin güneşi iki eksende takip edebilmesidir. Aynı zamanda üretimi yapılan DA enerjisinin MPPT ile optimum seviyede akülere şarj ve deşarjının sağlanmasıdır. TÜGEV çalışmasında yük olarak yer alan LED aydınlatma ekipmanlarının da gün içerisinde istenilen saatlerde, istenilen yük miktarında devrede olma ya da olmama kontrollerinin sağlanmasıdır.

2.3.2 Güneş Açılarının Hesap Edilmesi

Döner çatı sisteminin iki ekseninde güneşi takip edebilmesi için dört adet açı değerinin hesap edilmesi gerekmektedir. Bu açı değerleri:

- Deklinasyon açısı (δ),
- Zenit açısı (ψ),
- Panel yükseklik açısı (α),
- Azimut açısıdır (γ).

Deklinasyon açısı; güneş ışınları ve dünya arasında ki açısal ilişkiler bakımından en önemli olanıdır. Güneş ışınlarının aylar ve mevsimlere göre dünyaya geliş açısı olup ayrıca diğer bir tanımlamayla da güneş ışınlarının ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır. Deklinasyon açısının diğer adı “sapma açısıdır”. Deklinasyon açısı dünyanın kendi eksenini ve yörünge düzlemi ile yaptığı 23,45 derecelik açıdan kaynaklanır. (Eğer dünya dönme ekseninde eğik olmasaydı deklinasyon açısı daima “sıfır” olurdu) [34].



Şekil 40 Deklinasyon açısının gösterimi [34]

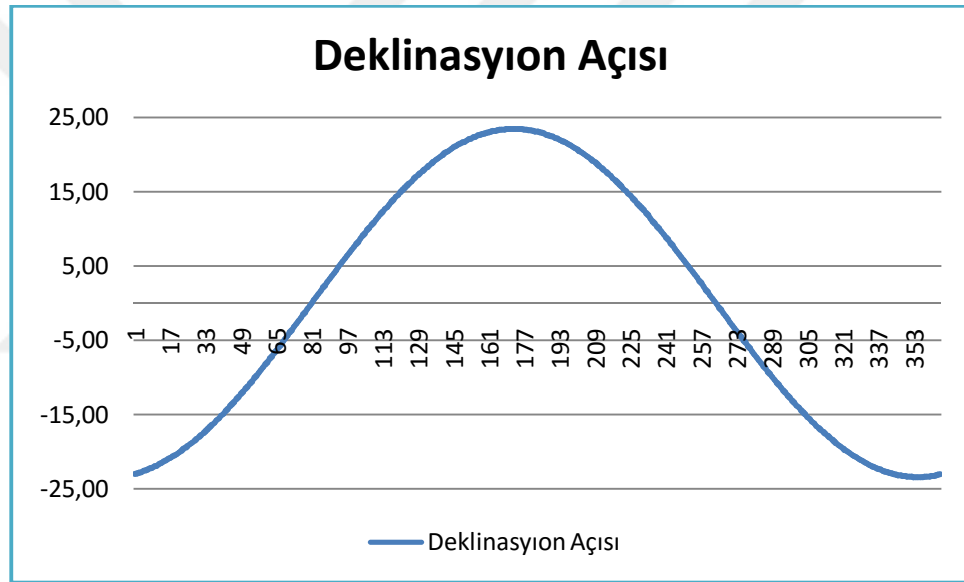
Deklinasyon açısı; $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$ açıları arasında yer alır bu açılarının arasında yer almasının sebebi ise dünyanın etrafında döndüğü kutupsal eksen, uzayda kendi yörünge düzlemine $66,55^\circ$ lik bir açıyla sabitlenmesindedir. ($90^\circ - 66,55^\circ = 23,45^\circ$) Daha detaylı açıklamak gerekirse; yörünge düzlemi ile dünyanın ekvator

düzlemi arasında ki bu açı yaz ortasında (21 Haziran) en yüksek ($23,45^\circ$), kış ortasında (21 Aralık) ise en düşük ($-23,45^\circ$) açısal değerdedir. Ekinoks noktalarında ise (21 Mart ilkbahar ekinoksu, 22 Eylül sonbahar ekinoksu) deklinasyon açısı “sıfır” olur. Deklinasyon açısının yaklaşık değeri Cooper denkleminden;

$$\delta = (23.45 \times \sin(360 \times (284 + n) / 365)) \text{ hesaplayabiliriz [34].} \quad (10)$$

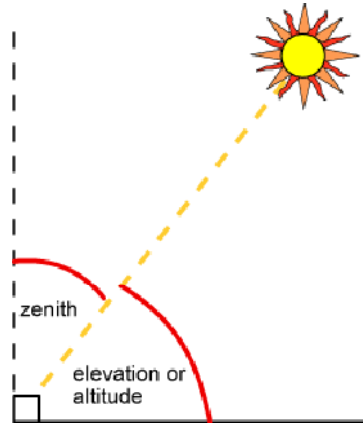
Eşitlik (10)'da yer alan " n " yıl içerisindeki gün sayısını ifade etmektedir. " n " değeri 1 Ocak için 1 alınıp yılın diğer günleri için bir artırılarak hesap edilir. Örneğin 10 Şubat için gün sayısı;

$$n = 31 + 10 = 41 \text{ olarak bulunur.} \quad (11)$$



Şekil 41 Deklinasyon Açısı Grafiği

Zenit açısı doğrudan güneş ışınımı ile yatay düzlemin dikey arasındaki açıdır. “ ψ ” simgesi ile gösterilir. Zenit açısı, diğer bir deyişle güneş ışınlarının yatay düzleme geliş açısıdır [34].



Şekil 42 Zenit açısının gösterimi [34]

Zenit açısı, güneşin doğuşu ve güneşin batışı sırasında 90° iken, güneş ışınlarının dik geldiği durumda sıfırdır. Zenit açısı diğer açılara bağlı olarak;

$$\cos(\psi) = \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\delta) \cos(\omega) \text{ denkleminde hesaplayabiliriz [34]. (12)}$$

Eşitlik (12)'de yer alan " φ " enlem açısını ifade etmektedir. Enlem açısı, yeryüzündeki herhangi bir noktayı dünya merkezine birleştiren doğrunun, dünyanın ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır. Kuzey yön pozitif olmak üzere -90° ile 90° arasında değişir ($-90^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$). Enlem açısı herhangi bir bölge için atlastan okunabilir. Türkiye, $36-42^\circ$ kuzey enlemleri ($26^\circ-45^\circ$ doğu boylamları) arasında yer alır [34].

TÜGEV kontrolünde gerekli hesaplamalarda bu değer Ankara için yaklaşık 40° alınmıştır [28].

Denklem 12'de yer alan " ω " saat açısını ifade etmektedir. Saat açısı, Güneş ışınlarının bulunduğu boylam ile göz önüne alınan yerin boylamı arasındaki açıdır. Saat açısı, güneş boylamının göz önüne alınan yerin boylamı ile kesiştiği güneş öğlesinden itibaren önce ise (-), sonra ise (+) olarak alınır. Güneş öğlesinde, güneş saati (GS)12'dir. Güneş öğle vakti ile ilgili zaman arasındaki saat farkı, 15 sabit sayısı ile çarpılarak güneş saat açısı bulunur. Bu sabit sayı, dünyanın güneş etrafında bir defa dönüşü sırasında kat ettiği 360° 'lik açının 24'e bölünmesi ile elde edilmiştir. Başka bir ifade ile bu katsayı, dünyanın güneş çevresinde 1 saatte yaptığı açıdır. Bir saat 15 boylama eşittir. Güneş açıları güneş öğlesine göre simetriklerdir. Saat 12'de " ω " açısı 0° olurken. Saat 13' de $+15^\circ$, saat 11'de -15° olur [34].

Zenit açısı hesap edildikten sonra panellerin güneşe dik bakmaları için gerekli yükseklik açısı;

$$\alpha = \sin^{-1} [\cos(\delta) \cos(\varphi) \cos(\omega) + \sin(\delta) \sin(\varphi)] \quad [34]. \quad (13)$$

Azimet açısı, güneş-dünya doğrultusunun yatay düzlemdeki izdüşümünün, kuzey-güney doğrultusu ile yapmış olduğu açıdır. Güneyden doğuya doğru (-), batıya doğru (+) olarak kabul edilir. Diğer bir ifade ile azimet açısı, herhangi bir bölgede ve zamanda, güneşe doğru varsayılan doğrunun, yatay düzlemdeki izdüşümü ile güney doğrultusu arasındaki açıdır. Azimet açısı, gün uzunluğunun 12 saatten fazla olması durumunda, günün bazı saatlerinde 90°'den fazla olur. Güneye doğru azimet açısı;

$$\gamma = \sin^{-1} [\cos(\delta) \sin(\omega) / \cos(\alpha)] \text{ denklemleri ile hesap edilir [34].} \quad (14)$$

2.3.3 Algoritmanın Geliştirilmesi

TÜGEV çalışmasında yer alan yenilikçi döner çatı sistemin Güneşi iki ekseninde takip edebilmesi için PLC sistemine özel algoritma geliştirilmiştir. Yenilikçi döner çatı sistemin PLC ile kontrol edilebilmesi için endüstriyel ekipmanlar kullanılmıştır. Bunlar;

- Eğim sensörü,
- Tekerlekli enkoder,
- Sınır anahtarlarıdır.

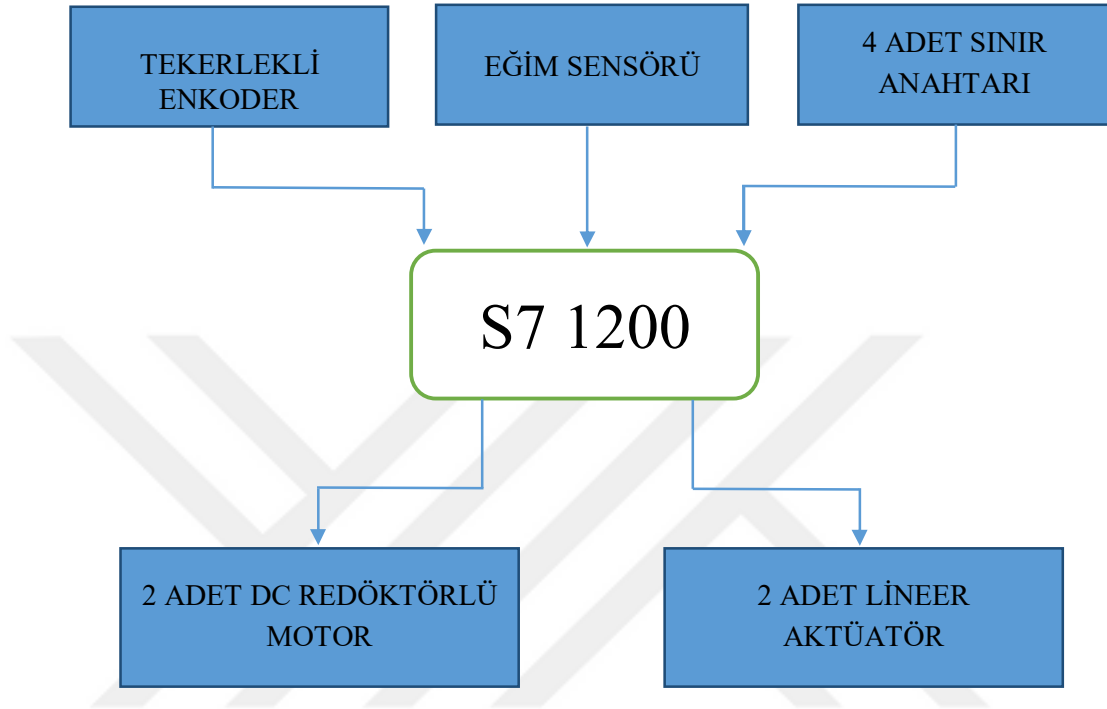
Eğim sensörü ile üst hareketli diskin yükseklik açısının ayarlanması, tekerlekli enkoder ile de hareketli şasenin azimet açısının ayarlanması sağlanmıştır. Döner çatı sisteminde her iki açı değerinin istenilen aralıkta kalması için emniyet amaçlı sınır anahtarları kullanılmıştır.

Döner çatı sistemin optimum şekilde güneşi iki ekseninde takip edebilmesine imkan sağlayan, endüstriyel ekipmanların da sisteme dahil edilmesini içeren TÜGEV için özel bir algoritma oluşturulmuştur. Oluşturulan algoritma ekler bölümünde yer almaktadır.

2.3.4 PLC Programlama

Şekil 43'de PLC ile çevre birimlerin ilişkisi görülmektedir. PLC giriş terminallerinde eğim sensörü, tekerlekli encoder ve sınır anahtarları yer almaktadır.

PLC çıkış terminallerinde ise 2 adet Redüktörlü DC Motor ve 2 adet Lineer Aktüatör yer almaktadır.



Şekil 43 PLC ve çevre birimler

Şekil 43'de yer alan tekerlekli enkoder PLC'nin 0/I giriş terminallerine iki giriş olarak bağlanmıştır. Her iki giriş PLC'de hızlı sayıcı olarak tanımlanmıştır. Girişlerden birincisi, hareketli şasenin batıya doğru hareket etmesi ile sayıcı değerini artırmaktadır. Girişlerden ikincisi ise, hareketli şasenin doğuya doğru hareket etmesi ile sayıcı değerini azaltmaktadır. Bu sayede azimut açısı değerinin PLC'de tanımlanması sağlanmaktadır.

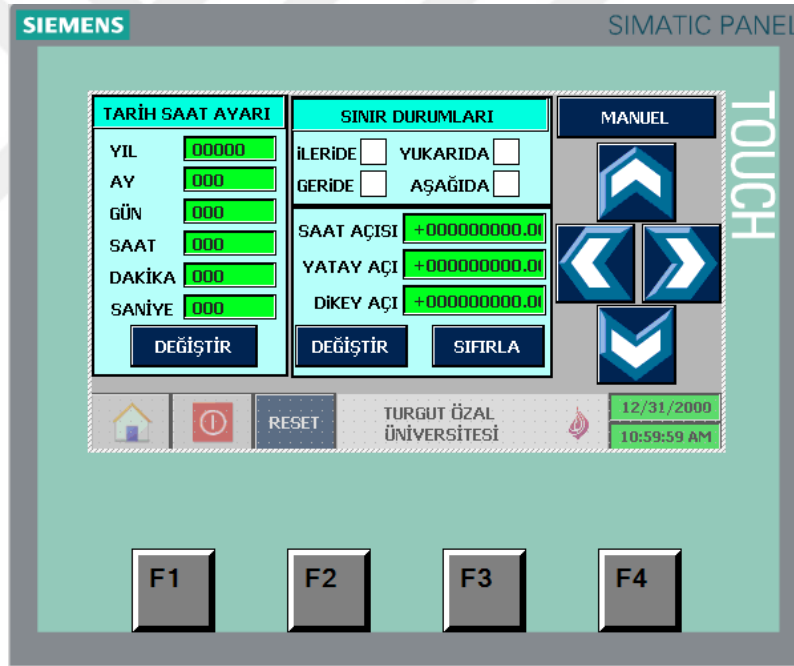
Şekil 43'de yer alan diğer çevre birimi eğim sensörüdür. Eğim sensörü yapısı itibari ile analog çıkış (0-10V DC) vermektedir. Eğim sensörü PLC'nin analog girişine bağlanmıştır. Gerekli kalibrasyon ayarları ile eğim sensöründen okunan gerilim değeri PLC'de açı değerine çevrilmiştir.

Şekil 43'de yer alan sınır anahtarları döner çatı sisteminde; doğu sınırı, batı sınırı, üst hareketli disk alt sınırı ve üst sınırı olmak üzere yerleştirilmiştir. Sınır anahtarları normalde kapalı kontaklar üzerinden PLC üzerinde 0/I girişlerinden okunmaktadır.

Tüm girişleri ve çıkışları anlamlı kılan veriler, PLC üzerinde gerçek zamanlı olarak her 15 dakikada bir hesap edilmektedir. Diğer bir ifade ile; her 15 dakikada bir PLC güneş açısı değerlerini hesaplamakta, bu sayede değerler üretmektedir. Üretilen bu değerlere göre döner çatı sistemin yatayda ve dikeyde güneşe göre gerçek zamanlı konumu ayarlanmaktadır. PLC çıkış terminallerine bağlı röleler üzerinden sürülen DC Redüktörlü Motorlar ve Linear Aktüatörler döner çatı sistemin konumunu sürekli üretilen değerlere göre ayarlamaktadır. Ekler bölümünde PLC program bloklarına yer verilmiştir.

2.3.5 HMI Programlama

Şekil 44'de TÜGEV için oluşturulmuş operatör paneli görülmektedir.



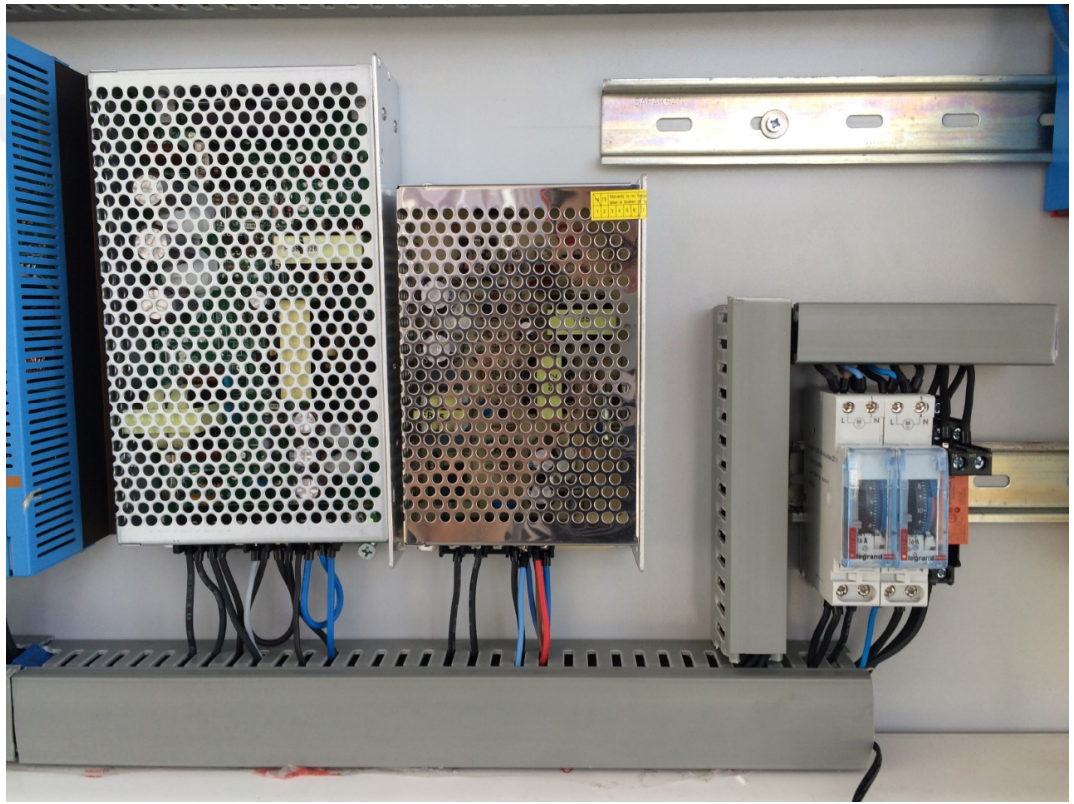
Şekil 44 HMI ara yüzü

HMI ile döner çatı sistemi manuel ve otomatik olarak çalıştırılabilmekte, HMI üzerinden döner çatı sistemi ekipmanları kontrol edilebilmektedir. Sistemin kalibrasyonunun yapılması, sistemin yeniden başlatılmasında tarih ve saat bilgilerinin girilmesi, sistemin manuel olarak ok işaretleri ile gösterilen yönlerde hareket ettirilebilmesi HMI üzerinden yapılabilmektedir. Aynı zamanda manuel ya da otomatik modda sistemin yatayda ve dikeyde hangi açılarda olduğu, ayrıca sınır

anahtarlarının durumları HMI üzerinden izlenebilmektedir. HMI ayar parametrelerini korumak için şifrelenmiştir. Kullanıcı ismi ve şifresi ile HMI parametrelerinin değişimi sağlanabilmektedir.

2.3.6 LED Aydınlatma Kontrolü

şekil 45'de LED aydınlatma kontrolü için kullanılan DC-DC konvertörler ve zaman saatleri görölmektedir.



şekil 45 Led kontrol ekipmanları

şekil 45'de yer alan DC-DC konvertörler ile 24V paralel bağlı akü gerilimi 15V'a düşürölmekte ve LED besleme gerilimleri sabitlenmektedir. Bu sayede LED'lerin sabit akımda çalışmaları sağlanmaktadır.

şekil 45'de yer alan zaman saatleri ile şekil 39'da yer alan armatürler içerisindeki iki farklı LED dizisi günün belirlenen zamanlarında devreye alınıp devreden çıkartılmaktadır. PV panellerin elektrik üretiminin fazla olduğu saatlerde her iki LED dizisi devreye alınıp daha fazla aydınlanma sağlanmaktadır. Aynı

şekilde günün istenilen saatlerinde aydınlanma şiddeti, üretilen elektrik miktarına göz önünde bulundurularak manuel olarak ayarlanabilmektedir.

2.4 GÜÇ İZLEME

Tezin bu bölümünde TÜGEV için oluşturulan enerji yönetim sisteminin izlenmesi hedeflenmiştir. TÜGEV çatısında yer alan PV panellerden üretilen elektriğin tüketim modlarına, akü bankası izleme monitörü üzerinden okunan değerler ile değinilmiştir. Akü bankasının şarj ve deşarj eşik değerlerinin izlenmesi, gün içinde LED armatürlerin beslenmesi için gerekli akım değerlerinin izlenmesi ve sistemin farklı modlarda çalıştırılmasına görselleri ile yer verilmiştir.

Ayrıca döner çatı sistemin ürettiği güç değerlerinin izlenmesi hedeflenmiştir. Döner çatı sistemin otomatik modda ve sabit açı değerinde ürettiği gerilim ve akım değerlerinin grafiklerine değinilmiş, iki durumun verim açısından karşılaştırılmaları yapılmıştır.

2.4.1 PV Panellerden Üretilen Elektriğin TÜGEV İçin Gerekli Enerjiyi Sağladığı Durumun İncelenmesi

Şekil 46'da akü şarj kesim noktasında TÜGEV yüklerinin PV paneller üzerinden beslendiği görülmektedir. LED armatürlerin ve diğer yüklerin PV panellerde üretilen elektrik ile beslendiği, akü bankası gerilim değerinin şarj kesim noktasında olmasından anlaşılmaktadır.



Şekil 46 Şarj kesim ve yük besleme modu

2.4.2 PV Panellerden Üretilen Elektrikğin TÜGEV İçin Gerekli Enerjiyi Sağlayamadığı ve Yüklerin Şarj Cihazı Üzerinden Şebekeden Beslenmesi Durumunun İncelenmesi

TÜGEV enerji yönetim sisteminin bu modda çalıştırılması sırasında, şarj cihazının akü bankasını şarj etme fonksiyonu kapatılmıştır. Bu sayede TÜGEV yüklerinin PV paneller ve akü bankası üzerinden ne kadar yük çektiğinin izlenmesi hedeflenmiştir. Şekil 47’de TÜGEV yüklerinin şarj cihazı üzerinden beslenmesi görülmektedir.



Şekil 47 Şebeke üzerinden yük besleme modu

Şekil 47’de görülen 6A değeri, TÜGEV yüklerinin düzenli olarak sistemden çektikleri akım değeridir. Sistemin bu modda çalıştırılabilmesi için akü bankası gerilim değerinin deşarj eşik değerinden aşağıda olması gerekmekte, bundan dolayı sistem aynı zamanda aküleri şarj etme moduna geçmektedir. Fakat şarj cihazı üzerinde yapılan konfigürasyon ayarları ile akü şarj özelliği kapatılmış, sadece TÜGEV yüklerinin çektiği akım değeri izlenmiştir.

2.4.3 PV Panellerden Üretilen Elektrikğin TÜGEV İçin Gerekli Enerjiyi Sağlayamadığı, Yükler İle Birlikte Akü Bankasının Şarj Kesim Noktasına Kadar Şarj Cihazı Üzerinden Şebekeden Beslenmesi Durumunun İncelenmesi

TÜGEV enerji yönetim sisteminin bu modda çalıştırılması sırasında, şarj cihazının akü bankasını şarj etme fonksiyonu açılmıştır. Bu sayede TÜGEV yükleri

ile birlikte; akü bankasının deşarjı durumunda, şarjı için ne kadar yük çektiğinin izlenmesi hedeflenmiştir. Şekil 48’de şarj cihazı üzerinden, TÜGEV yükleri ile birlikte akü bankasının şarj beslemesi görülmektedir.



Şekil 48 Şebeke üzerinden yük besleme ve akü bankasının şarj kesim noktasına kadar şarj edilmesi modu

Şekil 48’de okunan 7.5A değeri, TÜGEV yüklerinin ve akü bankası şarj akım değerinin toplamını ifade etmektedir. Şekil 47’de yer alan modda TÜGEV yüklerinin 6A yük çektiği tespit edilmişti. Şekil 48’de okunan 6A değerinden sonraki 1.5A değeri akü bankasının anlık şarj akımıdır. Bu değer şarj cihazı üzerinden konfigüre edilebilmekte istenilen değere ayarlanabilmektedir. Ayarlanan bu değer ile akü bankası şarj kesim noktasına kadar şarj edilmektedir.

2.4.4 Şarj Cihazının PLC Beslemesinde UPS Modunda İzlenmesi

TÜGEV enerji yönetim sisteminin bu modda çalışması, şebeke enerjisinin kesilmesine bağlıdır. PLC’yi besleyen enerjisinin kesilmemesi istenmektedir. Bundan dolayı şarj cihazının gerekli konfigürasyon ayarları yapılarak AC girişindeki enerjinin kesilmesi durumunda UPS modunda çalışmaktadır. Şekil 49’da TÜGEV enerji yönetim sisteminin UPS modunda çalışması görülmektedir.

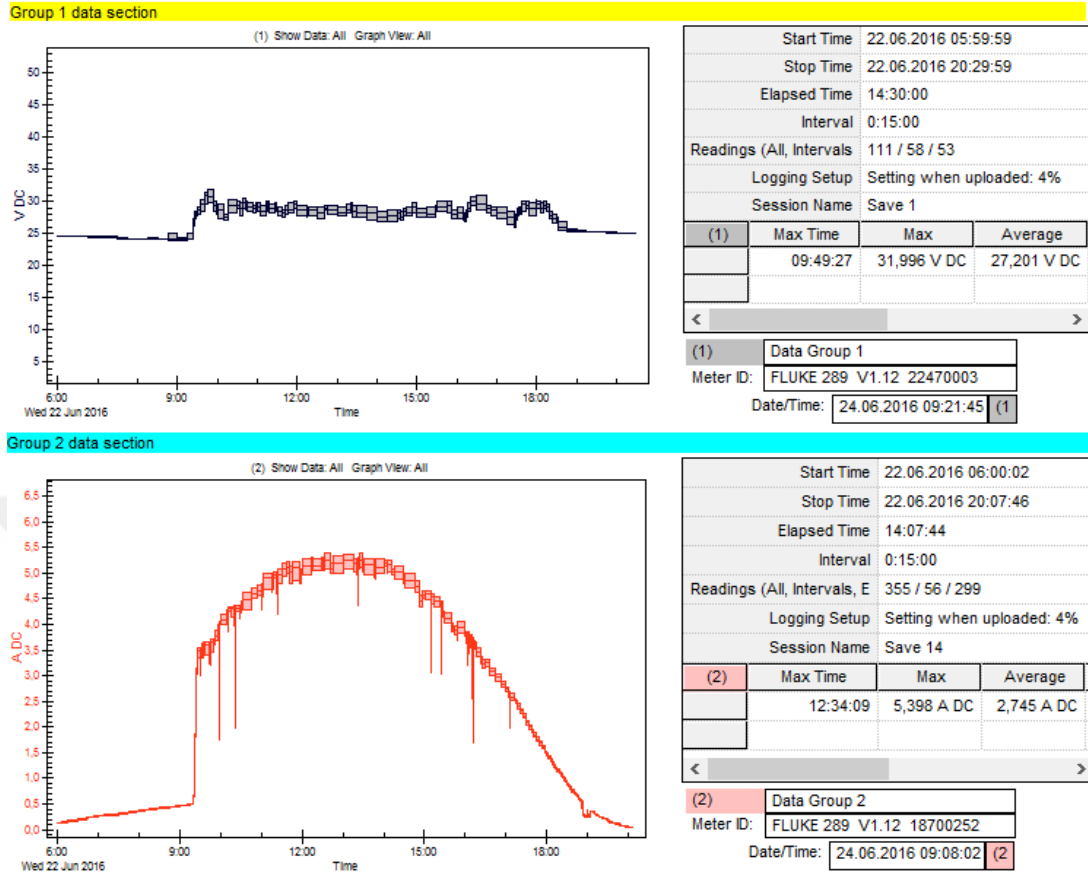


Şekil 49 UPS modu

Şekil 49'daki akü bankası güç izleme monitöründe görülen -1.7A değeri yükün aküden ve invertör üzerinden beslendiğini göstermektedir. Sistemin bu şekilde çalışması durumunda tüm enerji akülerden karşılanmaktadır. Şarj cihazının şebeke girişi olmadığı müddetçe sistem bu hali ile PV panellerden üretilen anlık değerlerle, üretilen değerlerin yetmediği durumlarda da aküler üzerinden beslenmektedir. Şekil 49'da görülen -1.7A değeri en küçük yük değeri olup, TÜGEV yüklerinin devreye girmesi ile akülerden çekilen akım artacaktır.

2.4.5 Döner Çatı Sisteminin Sabit Açılı Değerinde ve Otomatik Modda Ürettiği Güç Değerlerinin Karşılaştırılması

Şekil 50'de döner çatı sisteminin sabit açılı değerinde ürettiği akım ve gerilim değerleri grafikleri görülmektedir.

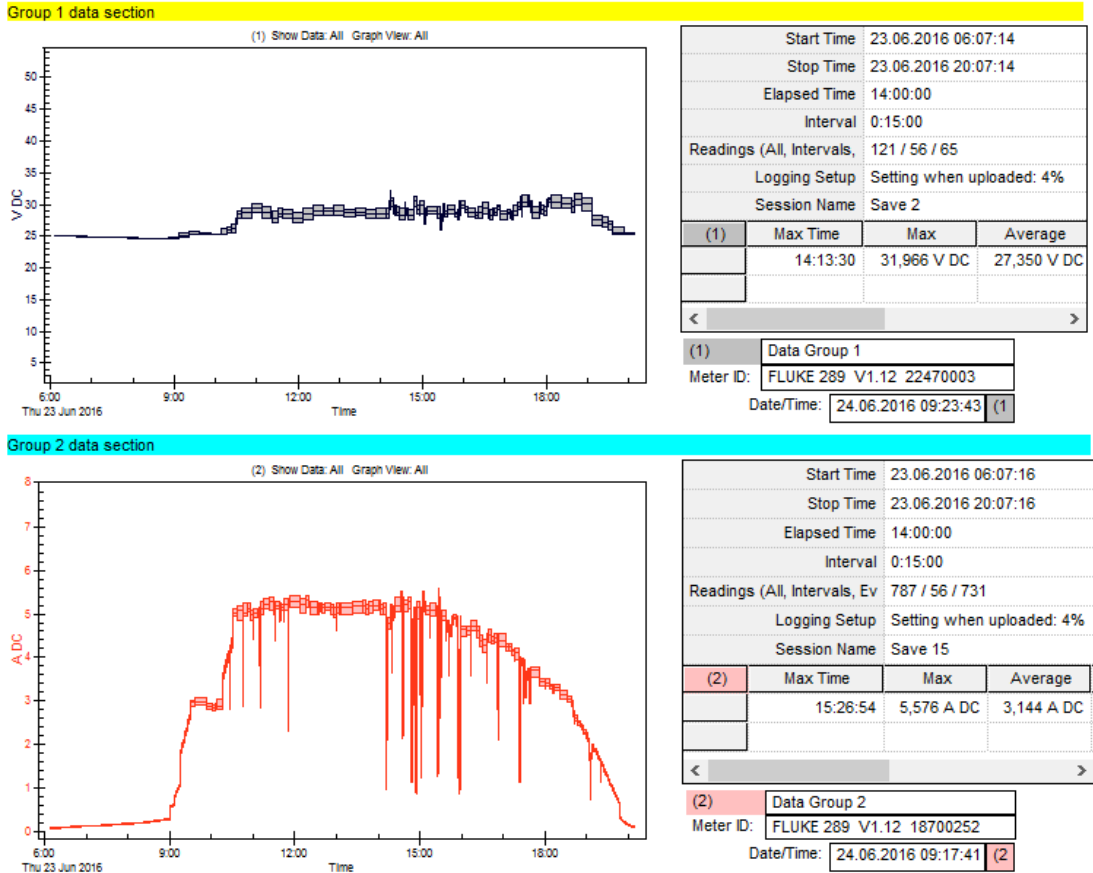


Şekil 50 Sabit açI değerinde üretilen akım ve gerilim değerleri grafikleri

Şekil 50'de yer alan ortalama akım ve gerilim değerleri alınarak bir günlük güç hesabı, güç formülünden;

$$P = 27,201 \times 2,745 = 74,667 \text{ (W)} \text{ olarak hesap edilir.} \quad (15)$$

Şekil 51'de döner çatı sisteminin otomatik modda ürettiği akım ve gerilim değerleri grafikleri görülmektedir.



Şekil 51 Otomatik modda üretilen akım ve gerilim değerleri grafikleri

Şekil 51’de yer alan ortalama akım ve gerilim değerleri alınarak bir günlük güç hesabı, güç formülünden;

$$P = 27,350 \times 3,144 = 85,989 \text{ (W)} \text{ olarak hesap edilir.} \quad (16)$$

Eşitlik (15) ve (16)’da yer alan ortalama güç değerleri kullanılarak döner çatı sisteminin otomatik modda, sabit açı değerinden ne kadar fazla güç ürettiği;

$$P_{fazlalık} = 85,989 - 74,667 / 74,667 = \%15 \text{ olarak hesap edilebilir.} \quad (17)$$

2.5 TÜGEV PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ VE KARŞILAŞILAN ZORLUKLAR

Tasarımı yapılan tüm detayların prototipleri sorunsuz bir şekilde hayata geçirilmiştir. Mimari çizimleri yapılan TÜGEV istenilen ölçülerde ve tasarımsal detaylarına bağlı kalınarak inşa edilmiştir. TÜGEV’in yenilikçi çatısı olarak tasarlanan döner çatı sisteminin prototipi yapılmış, tasarımda gösterilen yerine monte edilmiştir. PLC yazılımı ile döner çatı sisteminin kontrolü istenilen kriterlere uygun

olarak sorunsuz bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçümlerde döner çatı sisteminin otomatik modda, sabit açı değerine göre %15 daha fazla güç değeri ürettiği hesap edilmiştir. TÜGEV’de Güneşten elde edilen enerjinin kullanımı için tasarlanan LED ekipmanları sorunsuz bir şekilde devreye alınmıştır. İstenilen saat aralıklarında 3 farklı modda çalıştırılmıştır. Güneşten elde edilen fazla enerji akü bankasında depo edilmiştir.

LED armatürlerin içerisindeki farklı LED dizilerinin devreye alınmasında otomatik modun olmayışı bir eksiklik olarak görülmektedir. İlerleyen çalışmalarda akü seviyesinin otomatik okunması sonucu, manuel olan farklı LED dizilerinin devreye alınması işleminin otomatığe çevrilemesi düşünülmektedir.

Yine sistemde rüzgar hızını algılayıcı bir sensörün bulunmayışı rüzgarın hızının ölçülememesine neden olmaktadır. Rüzgarın hızlı estiği durumlarda döner çatı sisteminin yükseklik açı değerinin minimuma getirilmesi çatının mukavemetini artırması yönünden önem arz etmektedir. Bu işlemin bu tez çalışmasında sağlanamaması bir eksiklik olarak görülmektedir. Sistemde ana kontrol birimi olan PLC’nin bulunuyor olması, ileride rüzgar sensörü eklemesine olanak oluşturmaktadır.

SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında; büyük bir laboratuvar olan TÜGEV'in kurulumu belirlenen tasarım ve hedefler doğrultusunda hayata geçirilmiştir. Yapılan bu çalışma ile:

1. Güneşi iki ekseninde takip edebilen PV sistemin, bina çatıları ile bütünleşik ele alınması, yapılan özel tasarımla hayata geçirilmiştir. Sistemi meydana getiren parçaların tümü demonte olarak tasarlanıp imal edilmiştir. Bu sayede sistemin diğer çatılar için de uygulanabilir olması hedeflenmiştir. Yapılan özel tasarımın sinai hakları için gerekli kuruluşlara başvurular yapılmıştır.
2. Yenilikçi döner çatı sisteminin güneşi iki ekseninde takip edebilmesi için PLC yazılımı hazırlanmıştır. Güneş açılarının hesap edilmesinde kullanılan tüm eşitlikler PLC yazılımında modüller olarak tasarlanmıştır.
3. Sistemin otomatik ve manuel modda çalışmasına ve PLC üzerinde hesap edilen değerlerin anlık izlenebilmesine imkan sağlayan operatör paneli yazılımı yapılmıştır. Yazılım sayesinde, PLC üzerinde üretilen değerlerin anlık olarak HMI üzerinde okunabilmesi sayesinde sistemin herkesçe anlaşılabilir olması sağlanmıştır.
4. Yenilikçi döner çatı sisteminin, çatılarda yer alan sabit PV sistemlere göre %15 fazla güç ürettiği yapılan güç izleme çalışmaları ile tespit edilmiştir. Bu sayede sistemin amorti süresinin kısaldığı yapılan hesaplamalarla gösterilmiştir.
5. Üretilen DC elektriğin invertör kullanımı olmadan LED armatürler ile koridor aydınlatmasında kullanılması ile olası kayıplar önlenmiştir. TÖÜ koridorlarından birisi TÜGEV'den üretilen enerji ile aydınlatılmıştır.
6. TÜGEV içinde enerji yönetim sistemi oluşturulmuş, farklı modlarda güç izleme çalışmaları yapılmıştır.

TÜGEV prototipinin hayata geçirilmesi, PV sistemlerin binalar ile bütünleşik ele alınmalarına yenilikçi döner çatı sistemi ile farklı bir açıdan bakma imkanı oluşturmuştur. Yapılan çalışmaların tümü büyük bir eğitim seti olarak tasarlanmış ve yeni çalışmalara imkan hazırlanmıştır.

KAYNAKÇA

1. **Bayar, U. ve Atılğan, A. İ.** (2015). “Yeşil Ev Tasarımı ve Enerji Analizi İçin Uygulama Örneği”, *Engineer and The Machinery Magazine*, Aralık, Issue 671, 41-52.
2. **Matrawy, K. K., Mahrous, A. F. ve Youssef, M. S.** (2015). “Energy Management And Parametric Optimization of An İntegrated PV Solar House”, *Energy Conversion and Management*, 377-383.
3. **García-Domingo, B., Torres-Ramírez, M., De La Casaa, J., Aguilera, J. ve Terrados, F. J.** (2014). “Design of the back-up system in Patio 2.12 photovoltaic installation”, *Energy and Buildings*, 130-139.
4. **Lazaroiu, G. C., Longo, M., Roscia, M. ve Pagano, M.** (2015). “Comparative Analysis of Fixed and Sun Tracking Low Power PV Systems Considering Energy Consumption”, *Energy Conversion and Management*, Mart, 143-148.
5. **Mousazadeh, H., Keyhani, A., Javadi A., Mobli, H., Abrinia, K. ve Sharifi, A.** (2009). “A Review Of Principle and Sun-Tracking Methods for Maximizing”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews Solar Systems Output*, 1800-1818.
6. **Eke, R. ve Senturk, A.** (2012). “Performance Comparison of A Double-Axis Sun Tracking Versus Fixed PV System”, *Solar Energy*, 2665-2672.
7. **Sungur, C.** (2009). “Multi-Axes Sun-Tracking System With PLC Control for Photovoltaic Panels in Turkey”, *Renewable Energy*, 1119-1125.
8. **Kapsalis, V. ve Karamanis, D.** (2015). “On The Effect of Roof Added Photovoltaics on Building’s Energy Demand”, *Energy and Buildings*, Aralık, 195–204.
9. **Jeong, K., Hong, T., Ban, C., Koo C., ve Park H. S.** (2015). “Life Cycle Economic and Environmental Assessment for Establishing The Optimal Implementation Strategy of Rooftop Photovoltaic System in Military Facility”, *Journal of Cleaner Production*, Kasım, 315-327.
10. **Wiginton, L. K., Nguyen, H. T. ve Pearce J. M.** (2010). “Quantifying Rooftop Solar Photovoltaic Potential for Regional Renewable Energy Policy”, *Computers, Environment and Urban Systems*, Temmuz, 345-357.
11. **Lukač, N., Seme, S., Žlaus, D., Štumberger, G., ve Žalik, B.** (2014). “Buildings Roofs Photovoltaic Potential Assessment Based on Lidar (Light Detection and Ranging) Data”, *Energy*, Mart, 598-609.
12. **Varınca, K. B. ve Varank, G.** (2005). “Güneş Kaynaklı Farklı Enerji Üretim Sistemlerinde Çevresel Etkilerin Kıyaslanması ve Çözüm Önerileri”, *Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi*, İçel, 24-25 Haziran.
13. **ISPRES 2009.** (2009). *Research and Development on Renewable Energies A Global Report on Photovoltaic and Wind Energy*, Aralık.
14. **Varınca K. B. ve Gönüllü, M. T.** (2006). Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma, *I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi*, 21-23 Haziran, Eskişehir.
15. **Gümüş, B. ve Tüzün, M. N.** (2009). Kentlerde Enerji Verimliliği, Van İlinin Enerji Üretim Potansiyeli ve Elektrik Enerjisi Problemleri, *Van Kent Sempozyumu*, 1-3 Ekim, Van, 301-320.

16. **Özcan, E. S.** (2013). “Dünyada ve Türkiye’de Güneş Enerjisi”, *Bilim ve Teknik Dergisi*, Temmuz, 54-59.
17. **Url-1**, <<http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Aciklamalar.aspx>>, alındığı tarih: 04.05.2016.
18. **Url-2**, <<http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>>, alındığı tarih: 04.05.2016.
19. **Çiftçi, M.** (2015). *Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Yerel Yönetimlerde Kullanımının Swot Analizi. Örnek: Bursa Gürsu Belediyesi* (Yüksek Lisans Tezi). Sosyal Bilimler Enstitüsü, Türk Hava Kurumu Üniversitesi.
20. **Url-3**, <<http://www.ders-notlari.com/2015/02/guneslenme-suresi-nedir.html>>, alındığı tarih: 04.05.2016.
21. **Yin, H. M., Yang, D. J., Kelly, G., ve Garant, J.**(2013). “Design and Performance of A Novel Building Integrated PV/Thermal System for Energy Efficiency of Buildings” *Solar Energy*, Ocak, 184-195.
22. **Amr, M. A. Y., Zhiqiang, J. Z. ve Rabee, M. R.** (2015). “Design of Optimal Building Envelopes With Integrated Photovoltaics”, *Building Simulation*, 353-366.
23. **Url-4**, <<http://www.kraft-horsewalker.com/us/about-us/kraft-solar.php>> , alındığı tarih: 04.05.2016.
24. **Url-5**, < <http://www.domain.com.au/news/rotating-solar-house-hot-property-20130606-2nsad>>, alındığı tarih: 04.05.2016.
25. **Url-6**, < <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php> >, alındığı tarih: 03.02.2016
26. **Url-7**, < <http://www.solidworks.com> >, alındığı tarih: 05.05.2016
27. **Url-7**, <<http://www.autodesk.com/products/autocad/overview>>, alındığı tarih: 06.05.2016.
28. **Url-8**,<<https://yandex.com.tr/harita/11503/ankara/?ll=32.824959%2C39.971870&z=18&text=ankara&sll=32.862543%2C39.946343&sspn=0.326843%2C0.122083&ol=g eo&ouri=ymapsbm1%3A%2F%2Fgeo%3Fll%3D32.854%252C39.921%26spn%3D0.493%252C0.350%26text%3DT%25C3%25BCrkiye%252C%2520Ankara&l=sat&whatshere%5Bpoint%5D=32.824594%2C39.971837&whatshere%5Bzoom%5D=18>>, alındığı tarih: 06.05.2016.
29. **Url-9**, < <http://www.teknikport.com/2012/04/galvaniz/>>, alındığı tarih: 06.05.2016.
30. **Url-10**, <<http://www.decopol.com.tr/sss-8b9/poliuretanin-genel-ozellikleri>>, alındığı tarih: 06.05.2016.
31. **Şık, M.** (2014). *Akıllı Şebeke Uygulamalarına Yönelik Küçük Ölçekli Bir Şebeke Prototipinin Geliştirilmesi ve Kontrolü* (Yüksek Lisans Tezi). Fen Bilimleri Enstitüsü, Turgut Özal Üniversitesi
32. **Url-11**,<http://www.siemens.com.tr/web/1277-11671-1-1/siemens_urunler__cozumler/siemens_urunler__cozumler/endustriyel_otomasyon_sistemleri_-_simatic/simatic_s7-1200?>, alındığı tarih: 07.05.2016.
33. **Url-12**, <<http://www.plcogren.com/plc-genel-bilgiler/hmi-panel-nedir/>>, alındığı tarih: 07.05.2016.

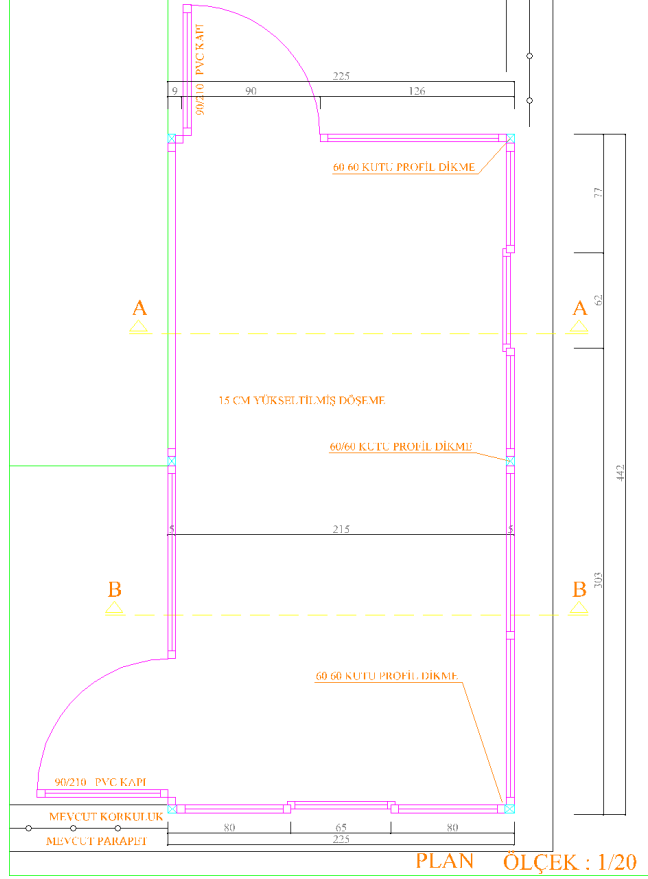
34. Url-12, < http://akhisarmyo.cbu.edu.tr/db_images/file/gunes-enerjisi-1-1283TR.pdf>, alındığı tarih: 06.06.2016.



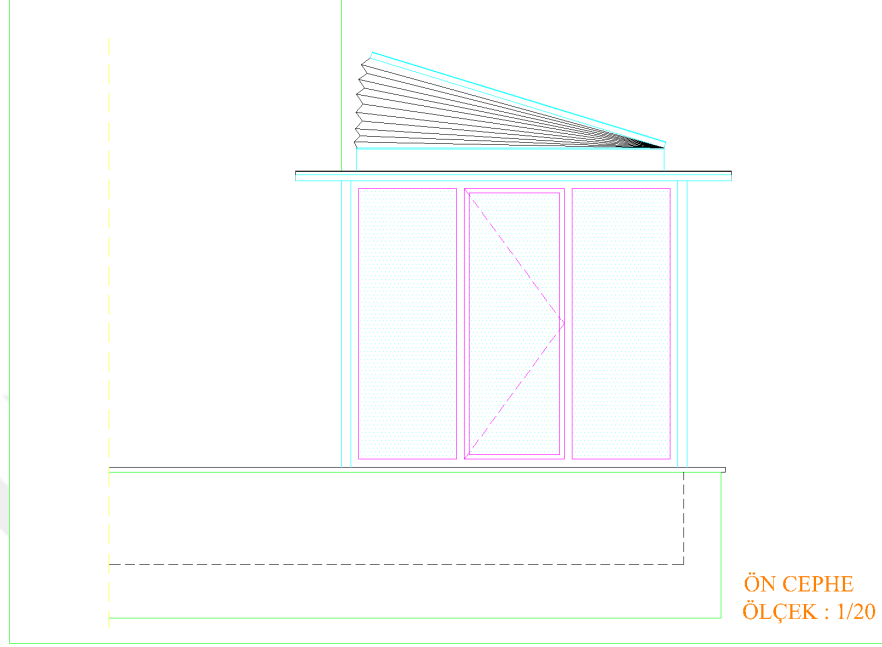
EKLER

5.1 TÜGEV MİMARİ ÇİZİMLER

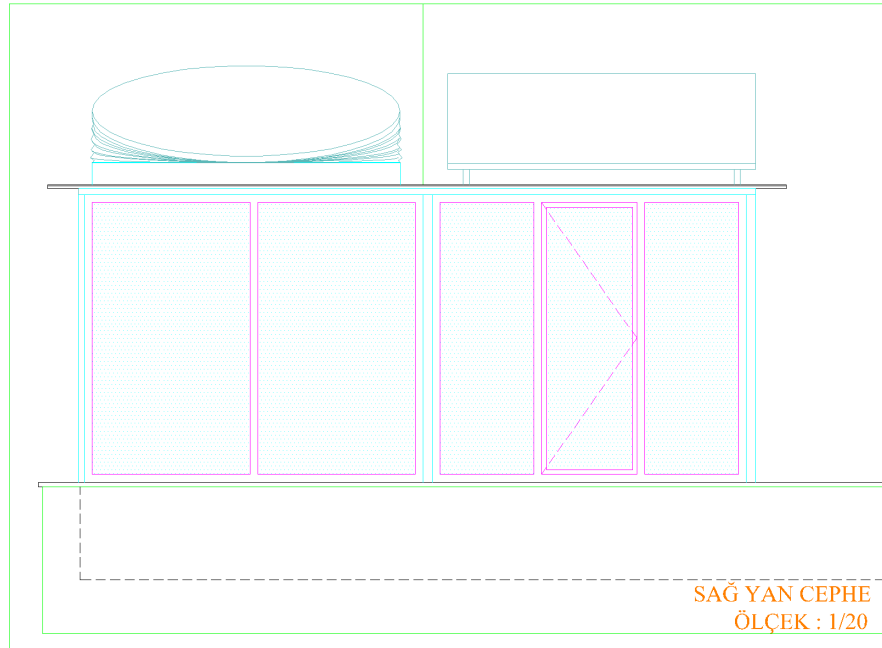
5.1.1 Plan



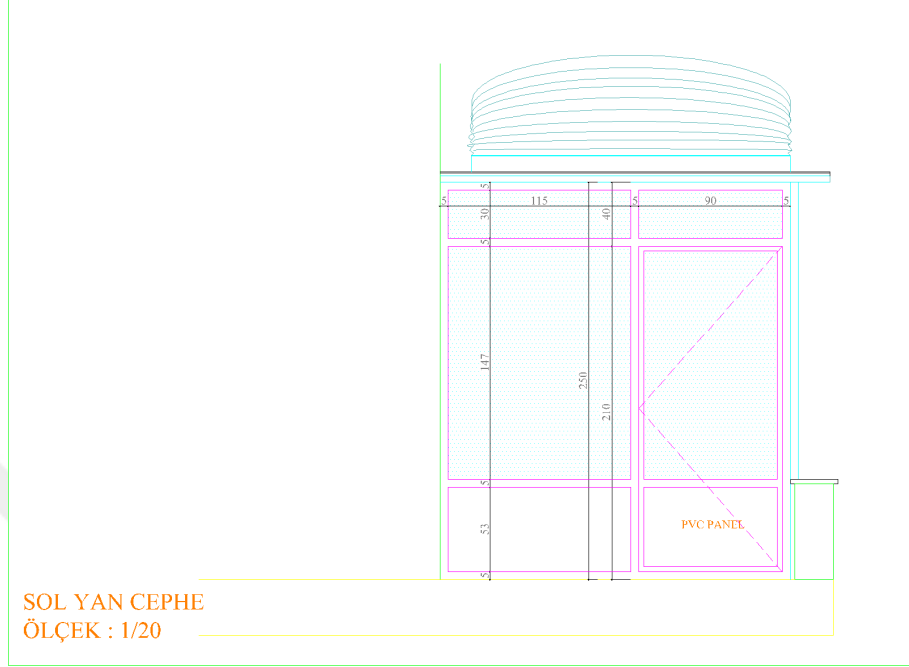
5.1.2 Ön Cephe



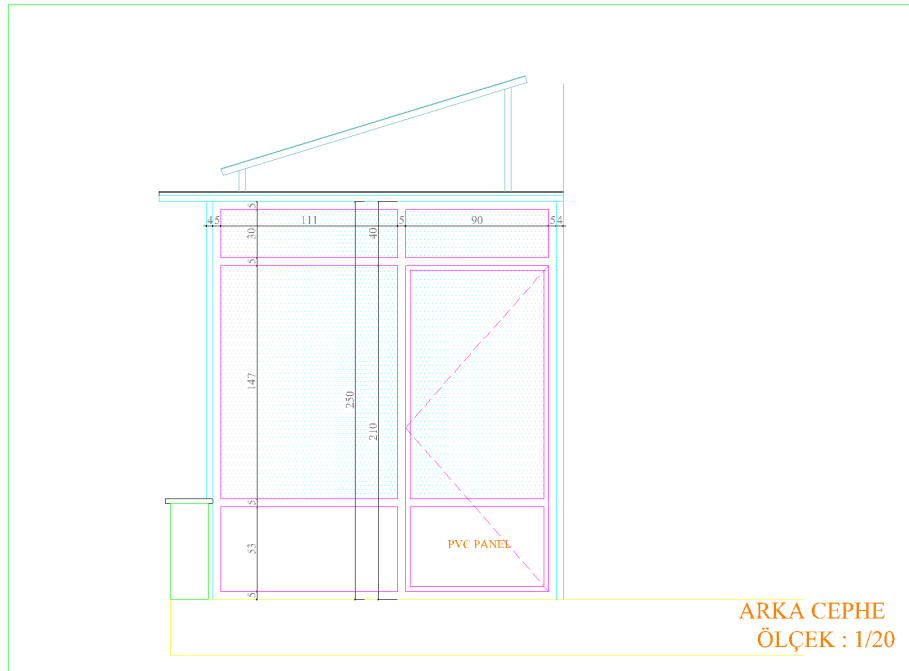
5.1.3 Sağ Yan Cephe



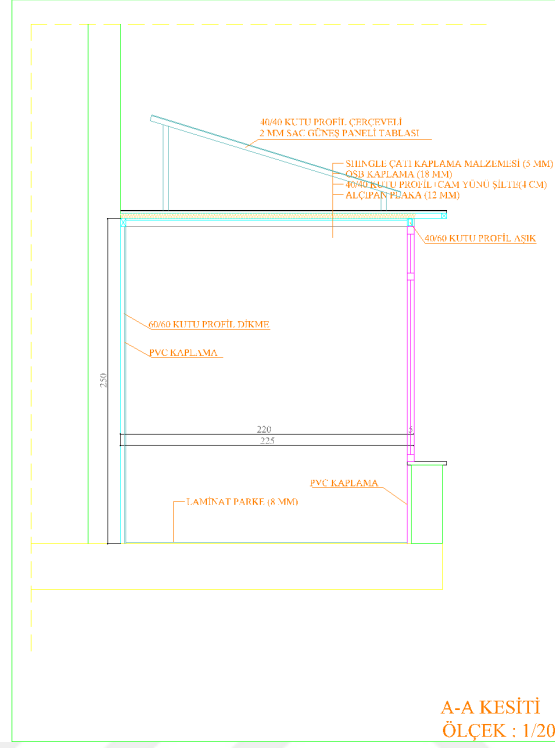
5.1.4 Sol Yan Cephe



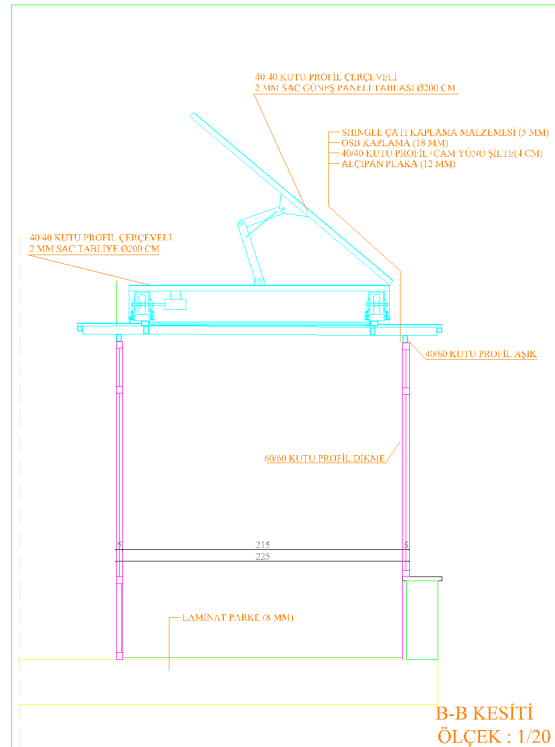
5.1.5 Arka Cephe



5.1.6 A-A Kesiti



5.1.7 B-B Kesiti (Temsili Tasarım Kesiti)



5.2 TASARIM PATENT BAŞVURU EVRAĞI



2015/17604



2015-GE-492461

31.12.2015

TÜRK PATENT ENSTİTÜSÜ

PATENT BAŞVURU FORMU

P201

1. BAŞVURU BİLGİSİ

Başvuru Şekli/Ana Başvuru Numarası	Yeni Başvuru
Erken Yayın Talebi	Var
Buluş Başlığı	PV GÜNEŞ PANELİ İÇİN HAREKETLİ MONTAJ KARKAS YAPILANMASI
Türkçe Çeviri Süre Talebi	Yok
Referans No	
Patent Sınıfı	
Tarifname Dili	TUR
Tarifname	6 Sayfa
İstem	7 Adet
Özet	1 Sayfa
Resim	4 Sayfa

2. BAŞVURU SAHİBİ

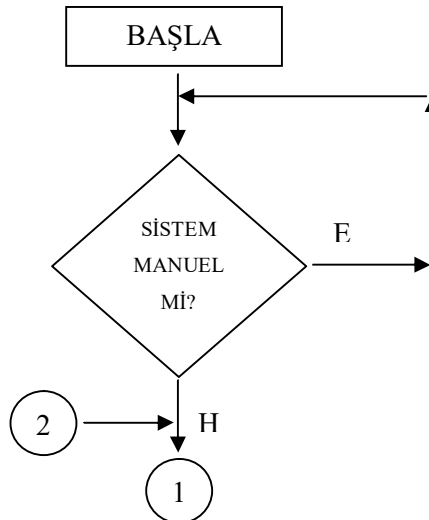
Adı-Soyadı/Unvanı	TURGUT ÖZAL ÜNİVERSİTESİ		
Adres	Gazze Cad. No:7 Etilik-Keçiören 06010 Ankara ANKARA TR.		
Uyruğu	TR	Sahip Türü	Tüzel
TC Kimlik/Vergi Numarası	8700352008	Sahip Profili	Üniversite

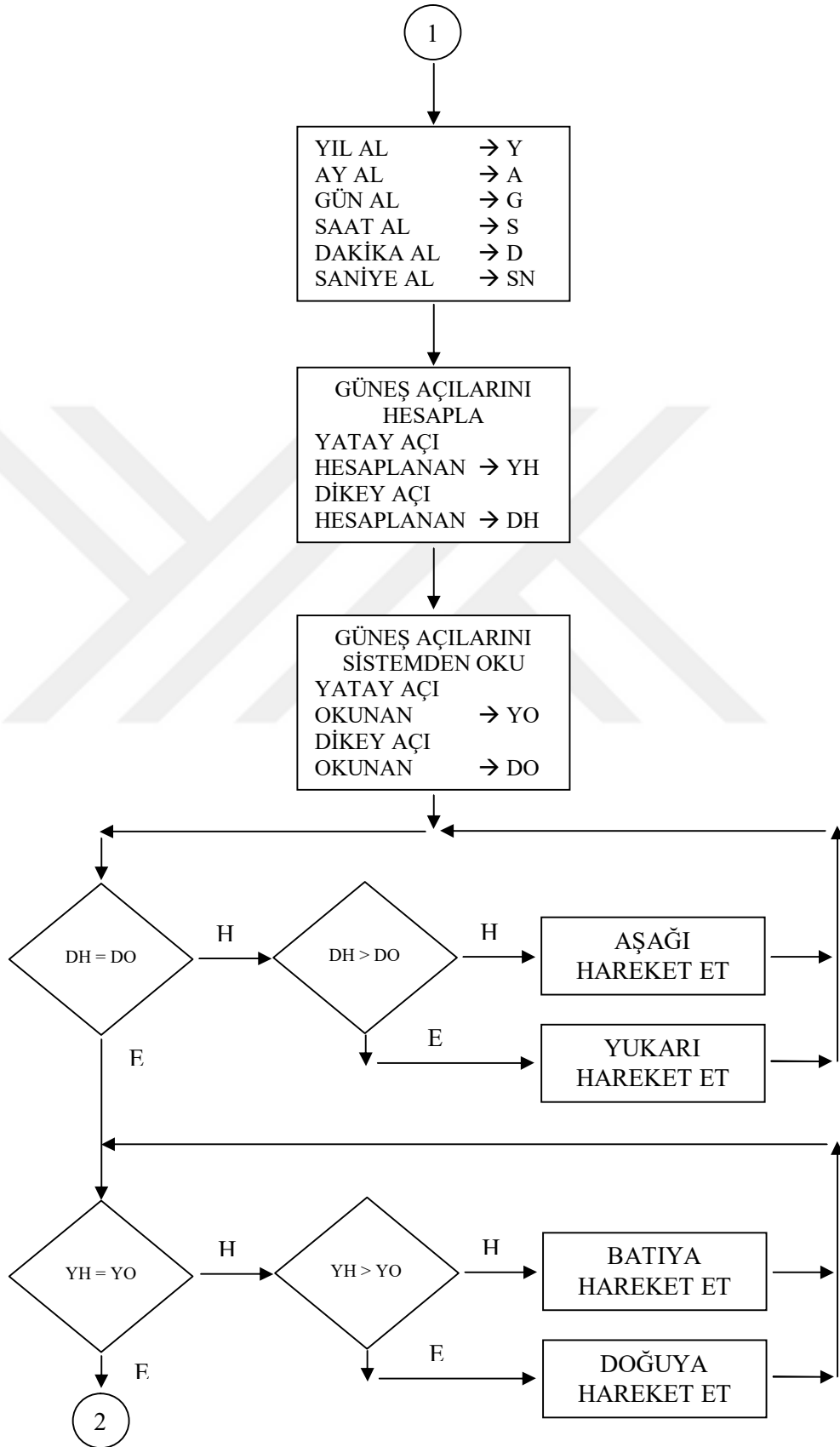
3. BULUŞ SAHİBİ

Adı-Soyadı	VEDAT KIRAY		
Adres	Gazze Cad. No:7 Etilik-Keçiören 06010 Ankara TR.		
TC Kimlik Numarası	12866174016	Sahip Profili	Üniversite
Uyruğu	TR	Beyan	Hizmet İlişkisi

4. RÜÇHAN BİLGİLERİ			
Rüçhan Çeşidi	Ülke	Sergi Adı / Başvuru Numarası	Tarih
5. PATENT VEKİLİ			
Vekil Bilgisi	P(1400) BAHİR BALLI (SADE DAN. PATENT ARGE HIZM. TIC. LTD. ŞTİ.)		
6. ÖDEME BİLGİSİ			
***Talep BAHİR BALLI tarafından 31.12.2015 00:57:28 tarihinde elektronik olarak imzalanarak TPE kayıtlarına alınmıştır. ***Evrak ve (5) adet eki orijinalinin aynıdır ve imza geçerlilik kontrolünden başarıyla geçmiştir.(TPE Bilgi İşlem)			
7. FATURA BİLGİSİ			
Fatura Kesilecek TC - Vergi Numarası	7360636868 SADE DAN. PATENT ARGE HIZM. TIC. LTD. ŞTİ.		
8. DİĞER BAŞVURU SAHİPLERİ (Başvuru Sahibinin Birden Fazla Olması Durumunda Bilgiler Bu Alanda Yer Alacaktır)			
9. DİĞER BULUŞ SAHİPLERİ (Birden Fazla Buluş Sahibi Olması Durumunda Bilgiler Bu Alanda Yer Alacaktır)			
1) (mül) T.C.NO(51169055226) SALİM KÖMÜR / Gazze Cad. No:7 Edik-Kaçitören 06010 Ankara ANKARA TR / Hizmet Bşkisi			
10. DİĞER RÜÇHAN BİLGİLERİ (Birden Fazla Rüçhan Olması Durumunda Bilgiler Bu Alanda Yer Alacaktır)			

5.3 KONTROL ALGORİTMASI





5.4 PLC PROGRAM BLOKLARI

TUGEV SON > PLC_1 [CPU 1212C AC/DC/Rly] > Program blocks > Main [OB1]

PLC programming

Block interface

Block title: "Main Program Sweep (Cycle)"

- ▶ Network 1: Real Time
- ▶ Network 2: Tarih Zaman Ayarı
- ▶ Network 3: Gun Sayisi Hesabi
- ▶ Network 4: Deklinasyon Acisinin Hesap edilmesi
- ▶ Network 5: Zenit ve Azimut Acı Değerlerinin Hesap Edilmesi
- ▶ Network 6: Control Blogu
- ▶ Network 7: Encoder Hızı Sayıcı Blogu
- ▶ Network 8: Yatay Açının Kaydedilmesi
- ▶ Network 9: Dikey Açının Scalası
- ▶ Network 10:

Portal view Overview Main N_fonk Z&A PLC_1

TUGEV SON > PLC_1 [CPU 1212C AC/DC/Rly] > Program blocks > Main [OB1]

PLC programming

Monitoring on/off rface

Block title: "Main Program Sweep (Cycle)"

Comment

Network 1: Real Time

Comment

RD_SYS_T DTL

EN ENO

RET_VAL 0 "Değerler". Retval1

OUT "Değerler".RDSys DTL# 2016-06-17...

Network 2: Tarih Zaman Ayarı

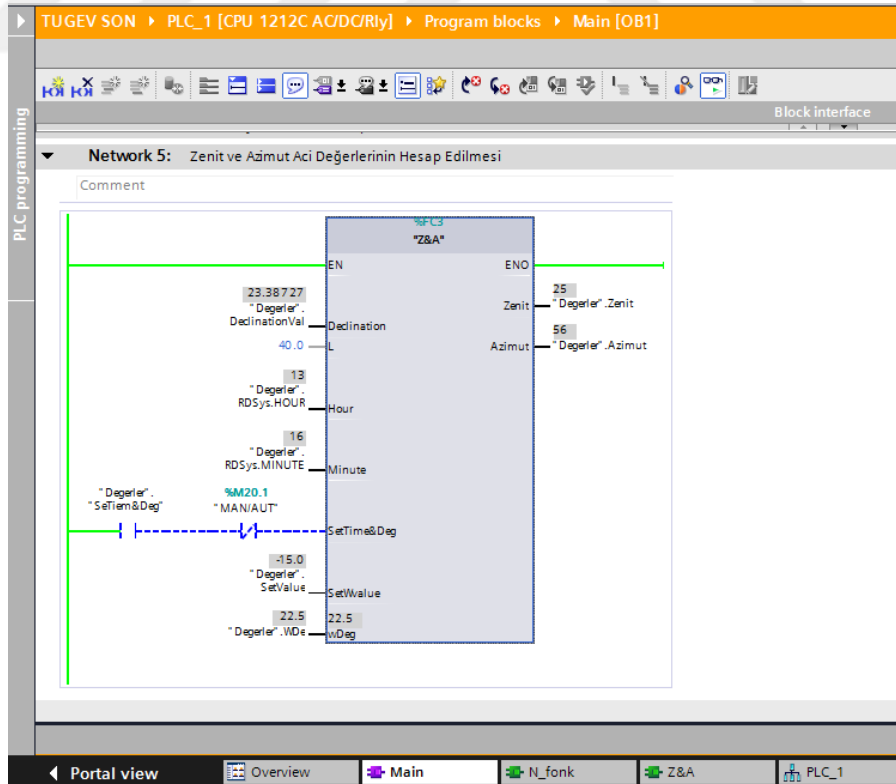
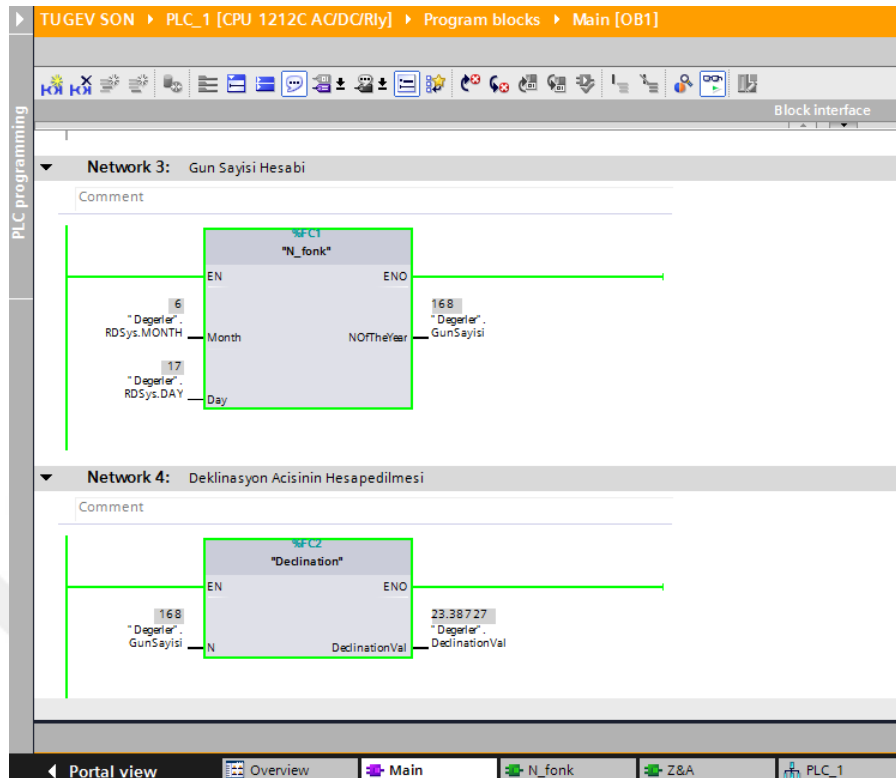
Comment

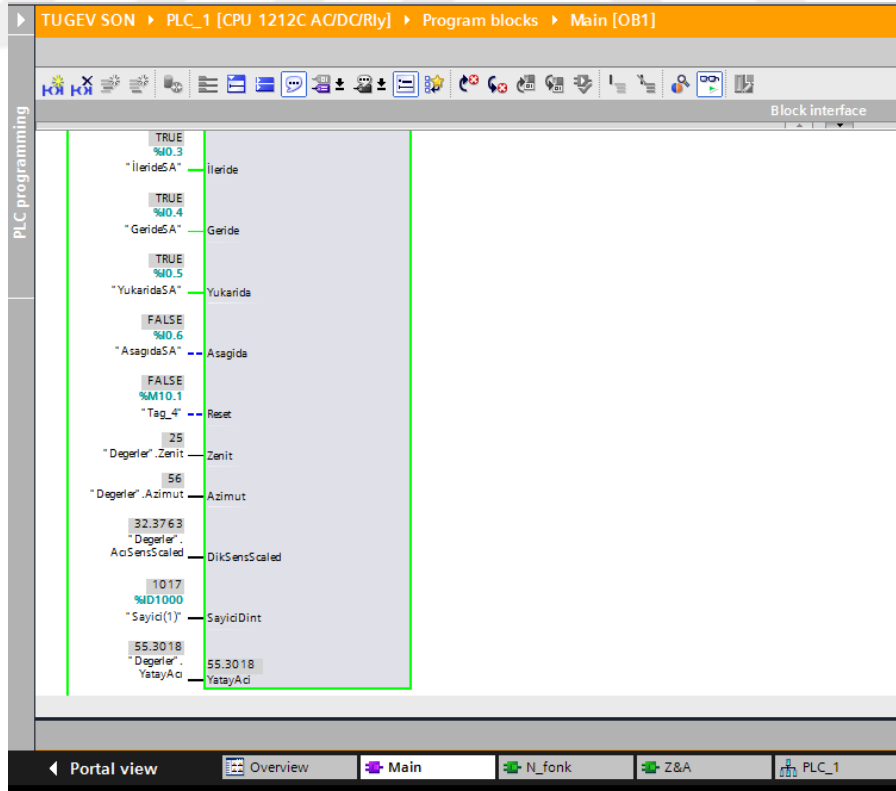
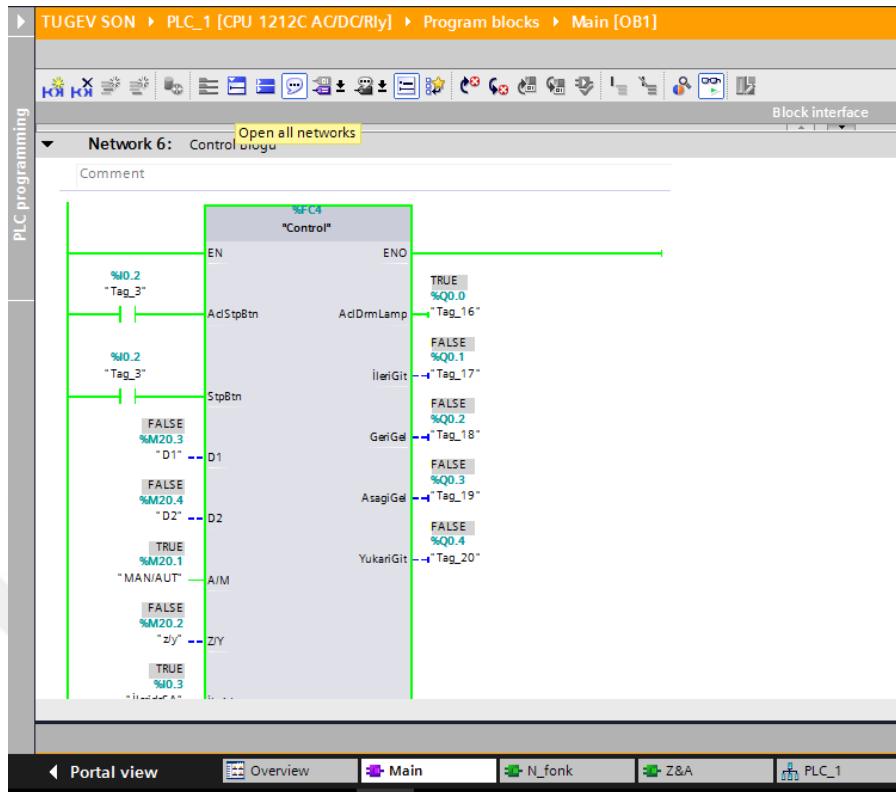
%M500.0 "d/T Degistir" %M20.1 "MAN/AUT" WR_SYS_T DTL

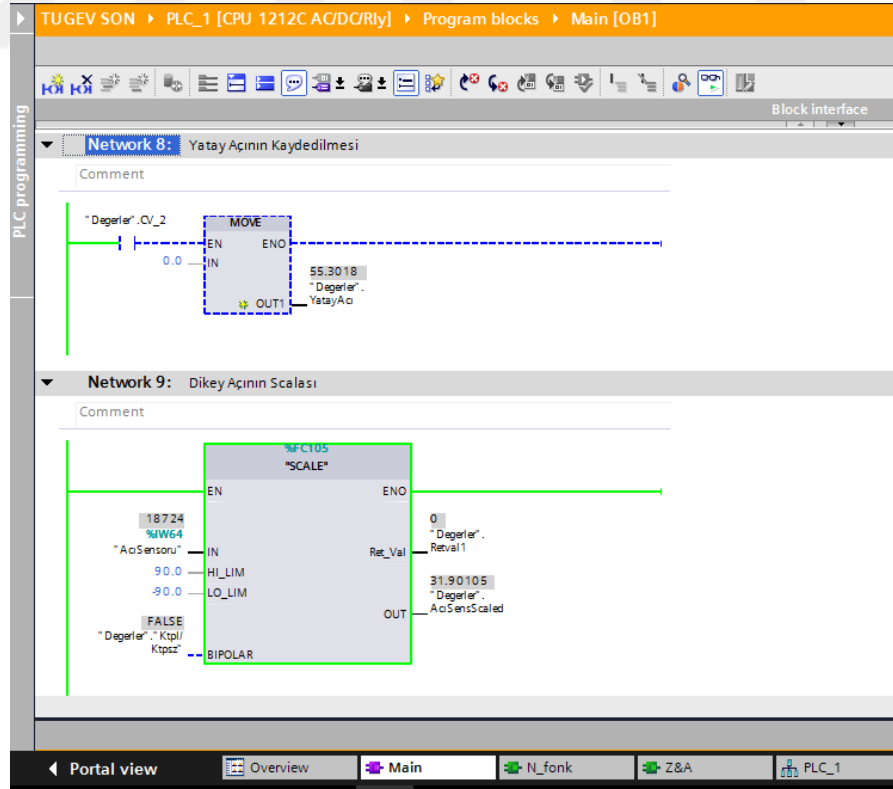
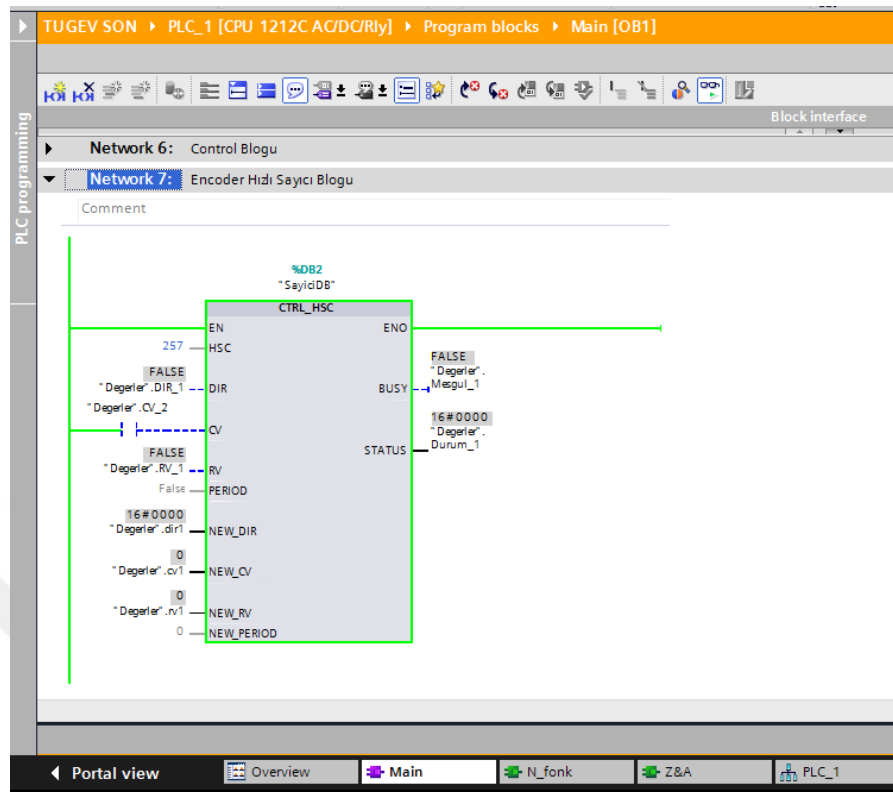
EN ENO

"Değerler".WRITESys IN RET_VAL "retval" %MW300

Portal view Overview Main N_fonk Z&A PLC_1







**5.5 TEZ ÇALIŞMASININ IV. EUROPEAN CONFERENCE on
RENEWABLE ENERGY SYSTEMS'DE SÖZLÜ SUNUM OLARAK
KABUL ALAN MAKALESİ**

**SUN TRACKING SYSTEM WITH ROTATING ROOF DESIGN
AND PROTOTYPE STUDY**

Vedat KIRAY^{1*}, Salim KOMUR

¹Turgut Ozal University, Engineering Faculty, 06010, Ankara, Turkey.

Abstract

In this study, a prototype application which addresses the PV panels that are being used by mounting on the roofs of the separate houses and apartments as an integrated subject with the roof design. In the developed prototype, a rotating roof system and a disc carrying the PV panels over it, is used. While the rotating roof adjusts its position according to the position of sun, disc carrying the PV panels adjusts its position in up and down direction and it is always provided that the PV panels shall face to the sun vertically. Paid attention to have a modular design in order to apply the subject electro-mechanic system on different size of roofs.

Keywords: Sun tracking systems, PV panels, rotating roof, smart building.

1. Introduction

It is known that PV panels mounted on the solar tracking systems are much more efficient than the fixed panels [1]. However, to mount the Solar tracking systems on the building roofs seem nearly impossible due to the weight problem, mechanical problems and in terms of aesthetical view. Since the roofs protect the building from hot, cold, rain, snow weight, etc. it is not subject to waive the roof usage with the purpose of use in sun tracking systems. In this article, a design and prototype study is presented in which integratedly a roof and a sun tracking system is being considered. In the developed prototype, a rotating roof system and a disc carrying the PV panels over it is used. While the rotating roof adjusts its position according to the position of sun, disc carrying the PV panels adjusts its position in up and down direction and it is always provided that the PV panels shall face to the sun vertically.

In the literature, there are some studies similar to the presented study. For example, in a sun house model developed in Italy, it is aimed to track the sun with 28 each wheels mounted under the house. When it is considered that the roof of the subject house is being rotated with the building, power production with high efficiency based on the sun tracking system with 24 each PV panels on the roof is being realized [2].

In another example study, a company manufacturing equipment on race horse breeding in Germany, has established a system which produces its own power with the rotating roof architecture based on the sun tracking principle developed for race horse walking platforms (houses) and efficiency with the percentage of 33% compared to the fixed systems has been obtained. On the roof of the system, 30kW panel which is able to track the sun between east-west on single axis along with the roof has been mounted [3].

In addition to these studies, there are so many studies aiming to exploit more from the sun in the cities and buildings [4-14].

In this article, a design has been developed in which a rotating roof system different from the other studies is used and which enable the PV panels integrated in this system to track the sun in two axes. Furthermore, it is being aimed to provide an aesthetical view which may conform to all kind of house architectures.

Electro-mechanical structure of the designed roof system has been discussed in chapter two.

In chapter three, a comparison between the subject design and the current roof top PV systems have

* **Corresponding Author:** vkiray@turgutozal.edu.tr

been presented.

In the conclusion part, advantages which may be provided by the developed design and some possible disadvantages have been discussed.

2. Electro-Mechanical Structure of The Rotating Roof

In the realized design and prototype study, rotate around its own axis feature has been provided to the building roof and always to face the sun vertically has been maintained for the disc which have been mounted to carry the PV panels on this rotating roof (Fig. 1).

It is aimed to have operation of the system during the day with programmed intervals and to vertically face the sun on east-west, north-south direction of the PV panels mounted on the disc with upward movement and obtain maximum efficiency from the sun.



Figure 1. Prototype of sun tracking system with rotating roof.

In Fig. 2, final design before the production of the prototype created by using SOLIDWORKS environment is shown [15]. In order to have modular design of the system it is aimed to make it applicable for all roofs. Furthermore, it is being considered to provide ease by mounting the modular parts on the application place.

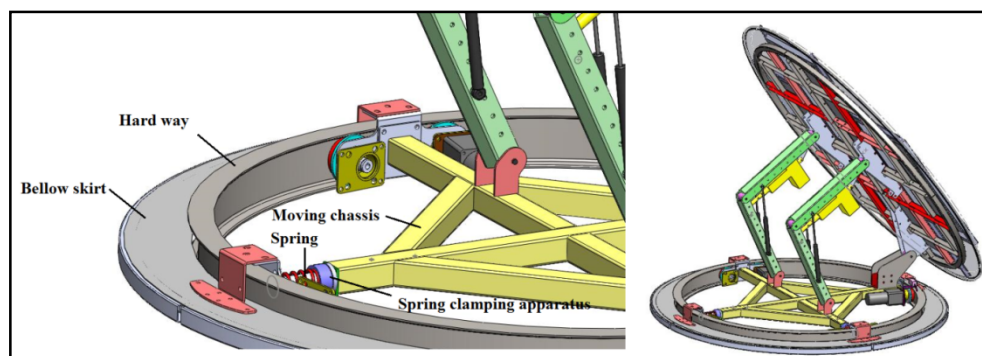


Figure 2. Electro-mechanical structure of the prototype with rotating roof.

System is design to independently adjust two different angle values (azimuth and altitude). 2 each DC motors with reducer have been used to adjust the azimuth angle between east-west of sun. Again in the system, 2 each linear actuators moving the upward moving disc in order to adjust the north-south height angle independent from the azimuth angle have been used. Weight of the linear actuators due to the upward moving disc is being lightened by 4 each air piston located as auxiliary equipment to adjust the height angle value and accuracy to catch the height angle value has been provided.

The hard way shown in Fig. 2 is in full circle form and inner surface is in rail type channel. Hence the hard way is in the position of the carrier of the rotating roof, mounting of the system is being made with fixation of this part. Azimuth angle between east-west inside the hard way is being adjusted with the wheel sets mounted on four arms of the moving chassis. Two each of the wheel

sets have been designed differently than the other two. Mounting of the system inside the hard way is being provided with the movable wheel sets which of the details are given in Figure 1 and to avoid the possible axial leaks during the operation inside the hard way of the movable chassis with the spring included in the system.

Encoder with wheel has been used providing feedback to the system for the adjustment of the rotating roof azimuth angle. Wheel encoder mounted on the hard way is transmitting the distance taken by the roof as a feedback to the electronic system (angle value) and the taken distance is being known by this way. Height angle value of the upper moving disc is being transmitted to the electronic system as a feedback with the angle sensor. Furthermore, 4 each limit switch has been used for security. 2 of them are located on the hard way and other 2 of them are located on the joints of the upper moving disc so as to define the limits.

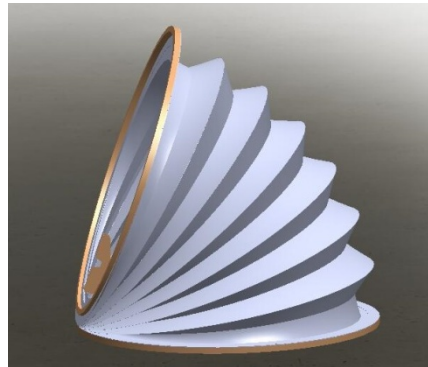


Figure 3. Bellow.

Bellow has been added to the system to protect the system from exterior elements and for the insulation of the roof. Visual completion of the system with the bellow system shown in Fig. 3 and to disconnect the electro-mechanical system from outer environment have been provided.

3. Comparison of The Rotating Roof System With The Existing Roof in Basic Level

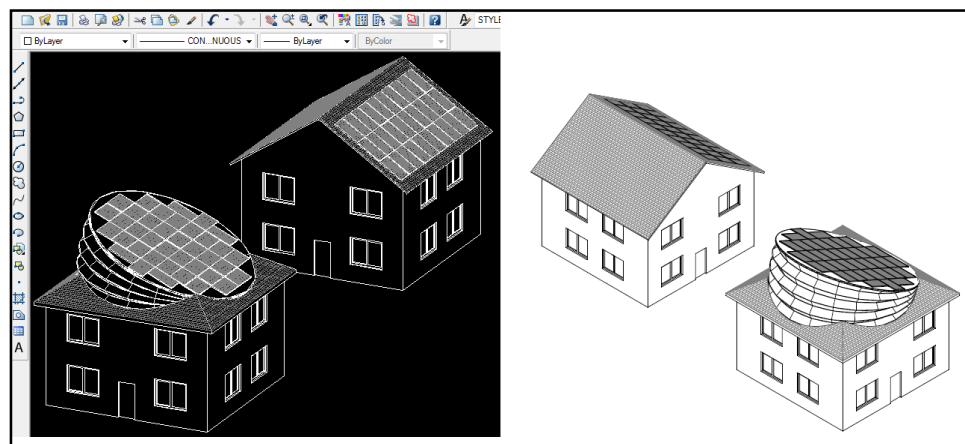


Figure 4. Evaluation of the panels with the rotating roof system and existing roof system in the same building in Auto-Cad environment [16].

Coating application by using PV panels of the side of the existing facing south and the rotating roof system by taking basis a 100 m² house is being shown in Fig. 4. Dimensions of the PV panels of each 250W used on both roofs are 1640×990×355mm [17].

Mounting of the PV panels have been adjusted so as to put in maximum number for both roof designs. In the rotating roof system in total 38 each PV panels have been used, and in the existing roof 30 each PV panels have been used. Installed power in the rotating roof system is calculated as;

$$38 \times 250 \text{ kW} = 9,5 \text{ kW.} \quad (1)$$

Installed power in the existing roof is calculated as;

$$30 \times 250 \text{ kW} = 7,5 \text{ kW.} \quad (2)$$

In the photovoltaic geographical information system given in Fig. 5, value obtained from installed power Eq. (1) for the building and integrated rotating roof system has been entered, and the annual average production values have been found for the PV system which may track the sun in two axes.

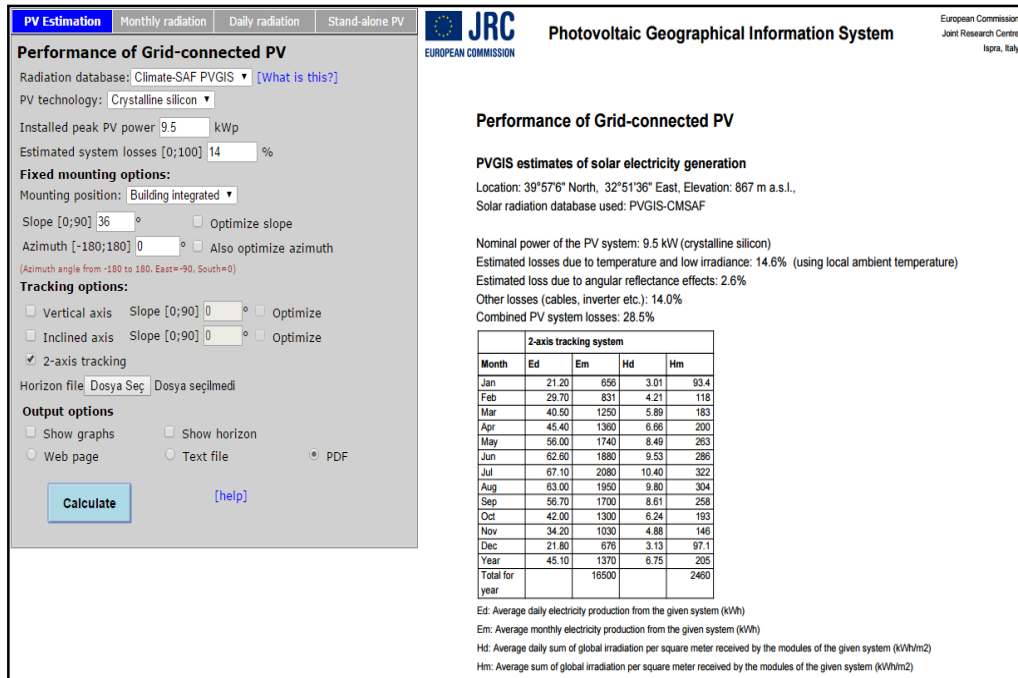


Figure 5. Average production values for PV system tracking sun in 2 axis in the Photovoltaic Geographical Information System [18].

In Fig. 6, installed power for the existing roof system has been entered as the value obtained from Eq. (2) and the roof slope has been entered as 36°, with this annual average production values have been found for fixed PV system.

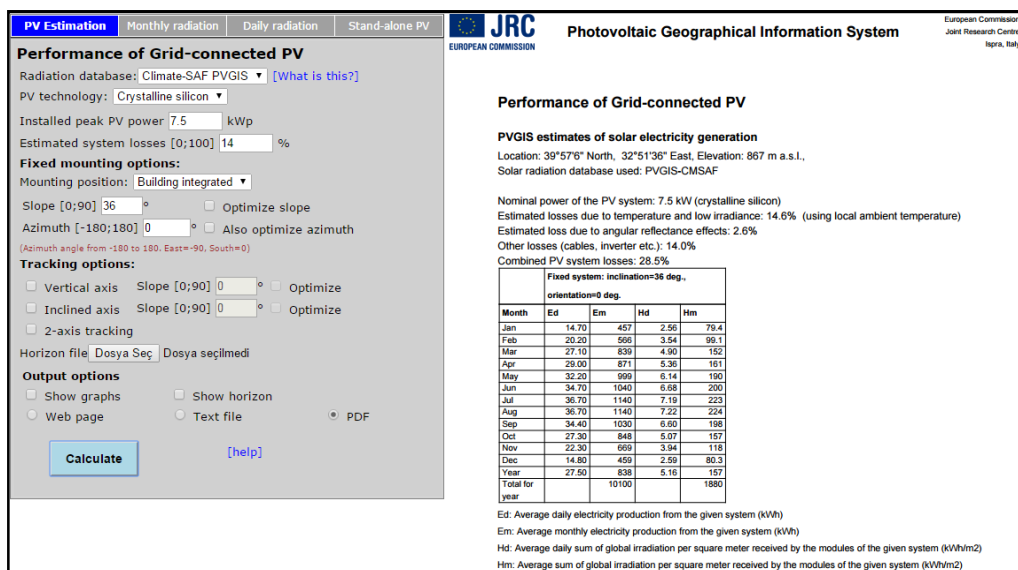


Figure 6. Average production values for the fixed PV system in the Photovoltaic Geographical Information System [18].

In Fig. 5, annual average production value for the entered values has been found as 16500 kWh, and in Fig. 6 annual average production value for the entered values has been found as 10100 kWh. Annual production difference between rotating roof system and existing roof system by using the obtained values is as below;

$$16.500 - 10.100 = 6400 \text{ kWh.} \quad (3)$$

In order to calculate the return of the value obtained from Eq. (3), initial establishment costs of the roofs, PV panel costs and mechanical system installation costs have been taken into account and self-depreciation duration and additional return in 20 years' period have been calculated.

According to the information given in Table 1, it is required to calculate the USD equivalent should be calculated for the annual production values in kWh type to learn the depreciation periods of both roof systems. In the calculation, average unit price of electricity under Turkey conditions has been considered as 0,12 USD and the annual average return of the rotating roof system is being calculated as below;

$$16.500 \times 0,12 = 1.980 \text{ USD.} \quad (4)$$

Table 1. Evaluation of the roof in cost wise.

Roof Cost Evaluation	Roof Establishment Cost	PV Panel Cost + Mechanical System Installation Cost	Total Cost
Rotating Roof System	1.667 USD	16.567 USD	18.234 USD
Existing Roof System	10.000 USD	6.500 USD	16.500 USD

Similarly, annual average return of the existing roof system is as below;

$$10.100 \times 0,35 = 1.178 \text{ USD.} \quad (5)$$

To calculate the depreciation period of the rotating roof system by using Eq. (4) as below;

$$54.700 / 5.670 = 9,7 \text{ years is found.} \quad (6)$$

To calculate the depreciation period of the existing roof system by using Eq. (5) as below;

$$39.500 / 3.535 = 11,2 \text{ years is found.} \quad (7)$$

By using Eq. (4) and Eq. (6) return amount of the rotating roof system in 20 years of time by deducting the depreciation years is being calculated as follows;

$$5.670 \times 10,3 = 19.547 \text{ USD.} \quad (8)$$

By using Eq. (5) and Eq. (7) return amount of the existing roof system in 20 years of time by deducting the depreciation years is being calculated as follows;

$$3.535 \times 8,8 = 10.369 \text{ USD.} \quad (9)$$

4. Conclusions

In this article study, a unique design which of the patent application has been made is being introduced. In this design, rotating on its own axis feature has been given to the roof and it is provided to face the sun vertically by a disc carrying the PV panels mounted on the rotating roof has been provided. Electromechanical structure of the design is given and the view which will occur by mounting the design on a roof of the house is being prepared in three dimensions in computer media and presented in the study. A house with 100m² has been considered as a model and electrical performance of the classical roof top PV panels has been calculated by comparing with the developed design for this model and by taking into consideration the investment costs, estimated depreciation duration for the developed design has been calculated.

With this presented study, it has been seen that the sun tracking system with rotating roof not only meets the basic requirements expected from a roof (protection from exterior factors like wind, rain and snow, etc.) but also it is more efficient in terms of power production from sun compared to the classical roof top PV panel usage. More detailed economical analysis of the system has been left for the further studies. It is seen that this design has a disadvantage against wind. However, a bellow system is being used to remedy this advantage and to provide visual aesthetics to the roof. Bellow lightens the wind effect and gives visual aesthetics and in addition it undertakes an important

function against rain and wind.

It is expected that the developed sun tracking system with rotating roof may be used in the smart buildings of future and forms a good sample to the new generation roofs.

Knowledge: Patent application to Turkish Patent Institute has been made for the system which of the prototype has been done. Application Number: 2015/17604

References

- [1] Lazaroiu G. C., Longo M., Roscia M., and Pagano M., “Comparative analysis of fixed and sun tracking low power PV systems considering energy consumption,” *Energy Conversion and Management*, 143–148, March 2015.
- [2] Macken L. (Jun 2013). Rotating solar house hot property [Online]. Available: <http://www.domain.com.au/news/rotating-solar-house-hot-property-20130606-2nsad>. [Jan. 02, 2016].
- [3] “Kraft Solar,” Kraft Brothers Inc.. Kentucky, USA [Online]. Available: <http://www.kraft-horsewalker.com/us/about-us/kraft-solar.php>. [Jan. 02, 2016].
- [4] Strzalka A., Alam N., Duminil E., Coors V., and Eicker U., “Large scale integration of photovoltaics in cities,” *Applied Energy*, 413–421, May 2012.
- [5] Fath K., Stengel J., Sprenger W., Wilson H. R., Schultmann F., and Kuhn T. E., “A method for predicting the economic potential of (building-integrated) photovoltaics in urban areas based on hourly Radiance simulations,” *Solar Energy*, 357–370, June 2015.
- [6] Amr M. A. Y., Zhiqiang J. Z., and Rabee M. R., “Design of optimal building envelopes with integrated photovoltaics,” *Building Simulation*, 353–366, June 2015.
- [7] Jeong K., Hong T., Ban C., Koo C., and Park H. S., “Life cycle economic and environmental assessment for establishing the optimal implementation strategy of rooftop photovoltaic system in military facility,” *Journal of Cleaner Production*, 315–327, October 2015.
- [8] Wiginton L.K., Nguyen H.T., and Pearce J.M., “Quantifying rooftop solar photovoltaic potential for regional renewable energy policy,” *Computers, Environment and Urban Systems*, 345–357, July 2010.
- [9] Lukač N., Seme S., Žlaus D., Štumberger G., and Žalik B., “Buildings roofs photovoltaic potential assessment based on LiDAR (Light Detection And Ranging) data,” *Energy*, 598–609, March 2014.
- [10] Martinez-Rubio A., Sanz-Adan F., and Santamaria J., “Optimal design of photovoltaic energy collectors with mutual shading for pre-existing building roofs,” *Renewable Energy*, 666–678, June 2015.
- [11] Sun L., Lu L., and Yang H., “Optimum design of shading-type building-integrated photovoltaic claddings with different surface azimuth angles,” *Applied Energy*, 233–240, February 2012.
- [12] Yin H. M., Yang D. J., Kelly G., and Garant J., “Design and performance of a novel building integrated PV/thermal system for energy efficiency of buildings,” *Solar Energy*, 184–195, January 2013.
- [13] Kapsalis V., and Karamanis D., “On the effect of roof added photovoltaics on building’s energy demand,” *Energy and Buildings*, 195–204, December 2015.
- [14] Matrawy K. K., Mahrous A. F., and Youssef M. S., “Energy management and parametric optimization of an integrated PV solar house,” *Energy Conversion and Management*, 377–383, May 2015.
- [15] SOLIDWORKS 3D CAD PRODUCTS [Online]. Available: <http://www.solidworks.com>. [Jan. 17, 2016].
- [16] Auto-Cad Products Overview [Online]. Available: <http://www.autodesk.com/products/autocad/overview>. [Jan. 17, 2016].
- [17] “Polycrystalline Photovoltaic Panels,” TERA Photovoltaic Energy Technology and Mechatronics Co.. Bursa, TURKEY [Online]. Available: http://www.terasolar.com/default.asp?islem=gruplar&Cat_ID=64
- [18] Huld T., Dunlop E. D., “Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps” [Online]. Available: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.p>

5.6 PROTOTİP ÜRETİM DETAYLARI



