ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KAMULAŞTIRILMIŞ ATIL ALANLARIN GÜNEŞ PANELİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ: YOZGAT HAVALİMANI ÖRNEĞİ

Duygu YILMAZ

ELEKTRİK - ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇANKIRI
2022

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Duygu YILMAZ tarafından hazırlanan **"Kamulaştırılmış Atıl Alanların Güneş Paneli İle Değerlendirilmesi: Yozgat Havalimanı Örneği"** adlı tez çalışması 10/02/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman **:** Doç. Dr. Fatih KORKMAZ

Jüri Üyeleri **:**

Başkan **:** Doç. Dr. Hayati MAMUR
Elektrik - Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Üye **:** Doç. Dr. Fatih KORKMAZ
Elektrik - Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Üye **:** Dr. Öğr. Üyesi Mustafa TEKE
Elektrik - Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ

Enstitü Müdürü

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğine göre hazırlamış olduğum **"Kamulaştırılmış Atıl Alanların Güneş Paneli İle Değerlendirilmesi: Yozgat Havalimanı Örneği"** konulu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, tezin Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nden başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve bu çalışmanın Çankırı Karatekin Üniversitesi tarafından kullanılan "Bilimsel İntihal Tespit Programı"yla tarandığını, "intihal içermediğini" beyan ederim. Çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması halinde ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm. Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim (10/02/2022).

Duygu YILMAZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KAMULAŞTIRILMIŞ ATIL ALANLARIN GÜNEŞ PANELİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ: YOZGAT HAVALİMANI ÖRNEĞİ

Duygu YILMAZ

Çankırı Karatekin Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik - Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Fatih KORKMAZ

Enerji, ülkelerin gelişmişlik seviyesini belirleme konusunda en temel yapı taşlarından birisidir. Refah seviyesi yükselen toplumlarda gelişen teknolojiyle birlikte enerji tüketimi her geçen gün artmaktadır. Günlük yaşamın her alanında enerjiye olan ihtiyacın artması ve fosil yakıtların olumsuz etkilerine karşı oluşan farkındalık, ülkeleri alternatif enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının; sınırsız olması, kendisini yenileyebilmesi, fosil yakıtlar ile kıyaslandığında emisyonu azaltması gibi birçok avantajı bulunmaktadır. Yeni yer aramaya ihtiyaç duyulmadan, havalimanlarında güvenlik sebebiyle boş bırakılan ve başka bir kullanım amacı bulunmayan atıl araziler yenilenebilir enerji kaynakları ile değerlendirilebilir. Yapılan literatür taraması sonucunda, Dünyada yenilenebilir enerji kullanan havalimanları incelenmiş, bu tez kapsamında yenilenebilir enerjinin Yozgat Havalimanı'na uygulanabilirliği değerlendirilmiştir. Yozgat Havalimanı için fizibilite çalışması yapılan fotovoltaik sistemlerin; havacılık üzerindeki ekonomik, teknik ve operasyonel etkileri sunulmuştur. Yozgat Havalimanı'nda mania haricinde kullanılabilecek atıl arazilerin belli bir bölümünün değerlendirilerek güneş enerji sistemlerinin kurulması durumunda, yıllık yaklaşık 3.500.000 kWh enerji elde edilebileceği ve elde edilecek bu enerjinin temini için harcanacak bedeli yaklaşık 4,5 yılda karşılayacağı hesaplanmıştır. Gerekli önlemler alındığında havalimanında PV sistemlerin kullanımının yüksek risk oluşturmadığı, yaklaşık 30 yıl kullanım ömrü olan sistemlerin işletme maliyetini azaltacağı ve sistemin kurulumunun ekonomik olacağı sonucuna varılmıştır.

2022, 67 sayfa

ANAHTAR KELİMELER: Yenilenebilir enerji, Fotovoltaik sistemler, Havalimanları

ABSTRACT

Master of Science Thesis

EVALUATION OF EXPROPRIATED IDLE AREA WITH A SOLAR PANEL: THE EXAMPLE OF YOZGAT AIRPORT

Duygu YILMAZ

Çankırı Karatekin University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical and Electronics Engineering

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Fatih KORKMAZ

Energy is one of the most basic building blocks in determining the development level of countries. In societies with rising welfare levels, energy consumption is increasing day by day with the developing technology. The increase in the need for energy in all areas of daily life and the awareness of the negative effects of fossil fuels have led countries to alternative energy sources. Renewable energy sources; It has many advantages such as being unlimited, renewing itself, and reducing emissions compared to fossil fuels. Without the need to search for a new location, idle lands that are left empty at airports for security reasons and have no other use can be utilized with renewable energy resources. As a result of the literature review, airports using renewable energy in the world were examined, and the applicability of renewable energy to Yozgat Airport was evaluated within the scope of this thesis. Photovoltaic systems for which feasibility studies were carried out for Yozgat Airport; The economic, technical and operational effects on aviation are presented. It has been calculated that in case of the establishment of solar energy systems by evaluating a certain part of the idle lands that can be used outside the obstacle course at Yozgat Airport, approximately 3,500,000 kWh of energy can be obtained annually and the cost to be spent for the supply of this energy will be covered in approximately 4.5 years. It has been concluded that the use of PV systems at the airport does not pose a high risk when necessary precautions are taken, systems with a service life of approximately 30 years will reduce the operating costs and the installation of the system will be economical.

2022, 67 pages

Keywords: Renewable energy, Photovoltaic systems, Airports

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

“Kamulaştırılmış Atıl Alanların Güneş Paneli ile Değerlendirilmesi: Yozgat Havalimanı Örneği” isimli yüksek lisans tez çalışması 2019-2021 yılları arasında hazırlanarak Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında “Yüksek Lisans Tezi” olarak sunulmuştur.

Öncelikle bu aşamaya gelmemde maddi ve manevi destekleri ile her zaman yanımda olan, hayatımda attığım her adımda arkamda duran, tez çalışmam sırasında yardımlarını esirgemeyen, varlıklarından onur ve gurur duyduğum hakkı hiçbir zaman ödenmeyecek olan aileme sevgilerimi sunarım.

Çalışmamın her safhasında yakın ilgi ve önerileri ile beni yönlendiren, her türlü yardımını esirgemeyen, her zaman destekleyen ve inanılmaz bir anlayış gösteren, kendisinin danışman öğrencisi olmaktan onur duyduğum hocam Doç. Dr. Fatih KORKMAZ’a sonsuz teşekkür ederim.

Yoğun çalışma gündemine rağmen değerli vaktini ayırarak bilgi birikimiyle tez konusunun belirlenmesinde yol gösteren Sayın Serdar ÜNSAL’a, tez çalışmalarım süresince tecrübesi ile beni aydınlatarak araştırmanın ilerlemesi ve gelişmesi açısından katkıda bulunan değerli babam Adnan YILMAZ’a ve çalışmamın her safhasında bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen İbrahim ÇALIŞKAN’a, bilgi birikimiyle çalışmama değer katan Hasan KAHRAMANCA ve Özcan Ergün PARLADIROĞLU’na son olarak da bu süreçte manevi desteğini gördüğüm Dr. Nur ÇEKEL’e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Duygu YILMAZ
Çankırı, Nisan 2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **i**
ABSTRACT ..... **ii**
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR ..... **iii**
SİMGELER DİZİNİ ..... **vi**
KISALTMALAR DİZİNİ ..... **vii**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **viii**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **x**
1. GİRİŞ **1**
2. ENERJİ KAYNAKLARI **6**
2.1 Güneş Enerji Sistemleri **7**
2.2 Güneş Enerjisinin Uygulama Alanları **9**
2.3 Fotovoltaik (PV) Sistemler **10**
2.4 Fotovoltaik Sistemlerin Analizi **11**
2.5 Fotovoltaik Hücrenin Verimi **14**
2.6 Yozgat Havalimanı'nda Kullanılması Planlanan Monokristal Hücrenin Verim Hesabı **15**
2.7 Fotovoltaik Hücre Tipleri **16**
2.7.1 Monokristal PV panel **16**
2.7.2 Polikristal PV panel **16**
2.7.3 İnce film PV panel **16**
3. HAVALİMANLARI **18**
3.1 Havalimanı Aydınlatma Sistemleri **24**
3.1.1 Pist merkez hattı ışıkları (Runway centre line lights) **25**
3.1.2 Pist kenar ışıkları (Runway edge lights) **26**
3.1.3 Pist eşik ışıkları (Runway threshold lights) **27**
3.1.4 Pist sonu ışıkları (Runway end lights) **27**
3.1.5 Taksi yolu merkez hattı ışıkları (Taxiway centre line lights) **28**
3.1.6 Taksi yolu kenar ışıkları (Taxiway edge lights) **28**
3.1.7 Durma barı ışıkları (Stop bar lights) **28**
3.1.8 Pist yaklaşma ışıkları (Runway approach lights) **29**

3.1.9 Pist konma bölgesi ışıkları (Runway touchdown zone lights) 32
3.1.10 Papi ışıkları (Precision approach path indicator) 33
3.2 Havalimanlarında Kullanılan Seyrüsefer Sistemleri 35
3.2.1 Vor (VHF Omnidirectional Radio Range) 36
3.2.2 Ndb (Non-Directional Radio Beacon) 36
3.2.3 ILS (Aletli İniş Sistemi) 36
3.2.4 Localizer 37
3.2.5 Glide path 38
3.2.6 Marker 39
4. PV SİSTEMLERİN YOZGAT HAVALİMANINDA UYGULANABİLİRLİĞİ 40
4.1 Parıltı ve Parlama Riski 53
4.2 Elektromanyetik Dalga Riski 54
4.3 Fiziksel Penetrasyon Riski 56
4.4 PV Sistemin Parçalarına Ayrılması Riski 57
4.5 Yaban Hayatı Riski 58
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 60
KAYNAKLAR 62
ÖZGEÇMİŞ 67

SİMGELER DİZİNİ

Voc	Açık devre gerilimi
A	Amper
k	Boltzmann sabiti
q	Elektron yükü
Iph	Fotonların ürettiği akım
Tc	Hücrenin sıcaklığı
Isc	Kısa devre akımı
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt saat
n	İdeallik faktörü
m	Metre
m^2	Metrekare
mm	Milimetre
α	Modifiye edilmiş diyot idealite faktörü
T	Mutlak sıcaklık
Rsh	Paralel direnç
Ns	Seri bağlı hücre sayısı
Rs	Seri direnç
°C	Santigrat derece
Io	Ters doyma akımı
V	Volt
W	Watt
%	Yüzde

KISALTMALAR DİZİNİ

CAT	Kategori veya Açık hava türbülansı
CAT I	Kategori 1 yaklaşması
CAT II	Kategori 2 yaklaşması
CAT III	Kategori 3 yaklaşması
DHMİ	Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü
DME	Mesafe Ölçüm Cihazı
FAA	Federal havacılık idaresi (ABD)
ICAO	Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı
ILS	Aletli iniş sistemi
NDB	Yönlendirilmemiş radyo bikını
PV	Fotovoltaik
RESA	Pist sonu emniyet sahası
SGHAT	Güneş parlama tehlikesi analiz aracı
SHT-HES	Havaalanı emniyet standartları talimatı
VHF	Çok yüksek frekans
VOR	Çok yüksek frekanslı tüm yönlü radyo verici istasyonu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Enerji kaynaklarının sınıflandırılması....6
Şekil 2.2 2019 yılında Türkiye'de kurulu gücün kaynaklar bazında dağılımı....7
Şekil 2.3 Türkiye güneş enerji potansiyeli haritası....8
Şekil 2.4 Bölgelere göre ışınım miktarları ve güneşlenme süresi....9
Şekil 2.5 PV sistemlerin uygulamaları....10
Şekil 2.6 PV hücrelerden modül ve dizi tasarımı....11
Şekil 2.7 PV hücrenin eşdeğer devresi....11
Şekil 2.8 Değişkenli model için eşdeğer elektrik devresi....13
Şekil 2.9 Farklı PV teknolojilere ait modül ve hücre verimi....14
Şekil 2.10 Monokristal, polikristal ve amorf PV hücrelere ait görseller (Yılmaz 2008) 17
Şekil 3.1 İstanbul Havalimanı (DHMİ 2021)....18
Şekil 3.2 Ordu - Giresun havalimanı....19
Şekil 3.3 Uluslararası uçuşlarda kullanılan havalimanları (WIKIPEDIA 2022)....19
Şekil 3.4 Mania sınırlama yüzeyleri....21
Şekil 3.5 Mania sınırlama yüzeyleri 2....21
Şekil 3.6 Hava sahası....22
Şekil 3.7 Yozgat Havalimanı RESA alanı....23
Şekil 3.8 Mania yüzeyleri....24
Şekil 3.9 Işıklandırılmış iki paralel pistin genel görünümü (S.C.W. 2022)....25
Şekil 3.10 Pist merkez hattı armatürü (UBS 2021)....26
Şekil 3.11 Pist kenar, pist eşik, pist merkez hattı, tekerlek temas ve papi ışıklarının yerleşimi (DHMİ 2014)....26
Şekil 3.12 Pist kenar armatürü (EMA 2021)....27
Şekil 3.13 Gömülü tip pist eşik / Pist sonu armatürü....27
Şekil 3.14 Yer üstü ve gömülü tip taksi yolu kenar armatürü....28
Şekil 3.15 Pist merkez hattı, pist kenar, durma barı, taksi yolu merkez ve kenar ışık yerleşimine ait şema....29
Şekil 3.16 Basit yaklaşma ışıkları (Annex-14, 2018)....30
Şekil 3.17 Hassas yaklaşma CAT I Calvert Sistemi....31
Şekil 3.18 Hassas yaklaşma CAT I Baret Sistemi....32
Şekil 3.19 Pist konma bölgesi armatürü....33
Şekil 3.20 Uçakların süzülme açılarına göre papi ünitelerinin renkleri....34
Şekil 3.21 Papi armatürü....34
Şekil 3.22 Pist aydınlatma armatürlerinin pist üzerindeki yerleşim şeması....35
Şekil 3.23 Vor sistemi....36
Şekil 3.24 ILS sistemi....37
Şekil 3.25 Localizer antenleri....38
Şekil 3.26 Yozgat Havalimanı Glide path sahası....38

Şekil 4.1 Yozgat Havalimanı vaziyet planı 40
Şekil 4.2 Yozgat Havalimanı taksi bağlantı yolu ve apron 41
Şekil 4.3 Yozgat Havalimanı pistin genel görünümü 41
Şekil 4.4 Yozgat Havalimanı genel görünümü 42
Şekil 4.5 Yozgat Havalimanı üstyapı genel yerleşim planı 42
Şekil 4.6 Yozgat Havalimanı mania planı 43
Şekil 4.7 Yozgat Havalimanı güneş paneli sahası 44
Şekil 4.8 Yozgat İli'nin 1929-2020 yılları arasındaki istatistik verileri (MGM 2021) ... 45
Şekil 4.9 Yozgat İl'i güneş radyasyon haritası (MGM 2021) 46
Şekil 4.10 Monokristal ve polikristal güneş paneli (E.G. 2022) 47
Şekil 4.11 PV hücrelerin yerleşim planı 49
Şekil 4.12 Panel bağlantı detayı 49
Şekil 4.13 PV panel montaj detayı 50
Şekil 4.14 Yansıma önleyici kaplama kullanılmış panel (CNBM 2021) 54
Şekil 4.15 Yozgat Havalimanı PV sistemlerin glide path sahasına göre yerleşimi 55
Şekil 4.16 Havalimanları mania sınırlama yüzeyleri 56
Şekil 4.17 PV sistemlerin çevresinde tel çit kullanımı 58
Şekil 4.18 PV sistemlerde kuş tünemesini önlemek için metal sivri uç kullanımı 59

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 Yozgat Havalimanı'nda kullanılması tasarlanan fotovoltaik modülün karakteristik özellikleri 47
Çizelge 4.2 Yozgat Havalimanı'nda toplam panel ihtiyacının belirlenmesine ait elde edilen sayısal değerler 48
Çizelge 4.3 Yozgat Havalimanı PV sistem güç hesabı 51
Çizelge 4.4 Ges maliyet hesabı 52
Çizelge 4.5 Yozgat Havalimanı yıllık üretilen enerji bedeli 52

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun artması ve gelişen teknolojiyle birlikte yaşam standartlarının yükselmesi, enerji tüketiminin de artmasına neden olmaktadır. Artan bu enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla yeni enerji kaynakları arayışı devam etmektedir. Günümüz enerji üretiminde fosil yakıtlar en fazla kullanılan enerji kaynağı olmasına rağmen; kaynaklarının sınırlı, fiyatlarının yüksek olmasının yanı sıra çevreye salınan sera gazı etkisiyle küresel ısınmaya neden olduğu, çevre kirliliğini artırdığı ve bununda insan sağlığı üzerinde olumsuz etki yarattığı bilindiğinden yenilenebilir enerji kaynakları Dünyada birçok ülke tarafından tercih edilmeye başlanmıştır (Banda *et al*. 2019).

Havalimanlarında öncelik uçuş güvenliğinin ve yolcu konforunun sağlanmasıdır. Bu amaçla tesis edilen yapı ve sistemler diğer işletmelere nazaran daha fazla olup, enerji ihtiyacı da bu oranda artmaktadır. Bu sistemlerin faaliyetlerini kesintisiz ve düzenli olarak sürdürebilmeleri için güvenli, sürdürülebilir ve ekonomik enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalarda, havalimanlarında fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmak ve çevre kirliliğini önlemek için enerji ihtiyacının bir bölümünün temiz ve kendini yenileme hızının tüketme hızından daha fazla olduğu bilinen yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması amaçlanmaktadır.

Havalimanları havacılık güvenliğinin sağlanabilmesi için oldukça büyük araziler üzerine inşa edilirler. Uçuş güvenliğinin sağlanabilmesi için kamulaştırması yapılan bu büyük arazilerde, yapılaşmaların haricinde kalan, başka bir kullanım amacı bulunmayan atıl araziler yer almaktadır. Bu araziler fiziksel engelden korunaklı hale getirildiğinden fotovoltaik (Photovoltaik - PV) sistemlerinin kurulumu için oldukça uygun alanlardır. Havalimanlarının enerji gereksinimini karşılamak için kurulacak güneş enerji santrallerinin bakım, işletme ve sisteme kolay entegre edilebilmesi; bu alanlarda kullanılmasının sağladığı avantajlar arasındadır. Bu avantajlarının yanında; işletme maliyetini azaltması, çevreye daha az sera gazı yayması ve fosil yakıtlara olan bağlılığı azaltarak ülke ekonomisine katkıda bulunması diğer önemli faydalarındandır (Anurag *et al*. 2017, Yıldız vd. 2019, Yıldız vd. 2020).

Havalimanı sınırları içerisinde cisimlerin mania oluşturmamaları için yapılaşmaların belli yüksekliğe kadar çıkmalarına izin verilmektedir (Baxter *et al*. 2019). PV sistemler düşük yüksekliklere sahip olduğundan yapılan araştırmalar neticesinde Yozgat Havalimanı'nda kullanılabilecek en uygun yenilebilir enerji kaynağının güneş enerjisi olduğu görülmüştür.

Bu çalışmanın genel amacı; Havaalanı Emniyet Standartları Talimatları (SHT-HES) doğrultusunda havalimanı inşaatı için kamulaştırılmış sınır içerisinde başka bir kullanım amacı bulunmayan alanlarda, işletmenin elektrik ihtiyacını karşılamak üzere modüler yapıdaki güneş panelleri ile kurulacak güneş enerji santrallerinin kullanılma olanakları incelenmiştir. PV sistemlerin havalimanlarında uygulanması durumu değerlendirilerek operasyonel, teknik ve ekonomik etkileri sunulmuştur. Dünyada güneş enerji sistemlerinin kullanıldığı havalimanları üzerine yapılan birçok çalışma incelenerek sistemlerin kullanılabilirliğine yönelik önerilerde bulunulmuştur.

Bu çalışma kapsamında, literatür taraması yapılarak benzer çalışmalar incelenmesi, kullanılması planlanan malzemelere ait teknik araştırma yapılması, uygulanmış projelerin incelenmesi ile ilgili yöntemler kullanılmıştır.

Literatür taraması sonucunda, havalimanlarında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ile benzerlik gösteren çalışmalar hakkında aşağıda bilgi verilmektedir.

Janssen vd. (2010) Amsterdam Schiphol Havalimanı'nın altyapısına zemin seviyesinde uygulanabilecek güneş enerji sisteminin teknik fizibilitesi ve etkileri üzerine çalışma yapmışlardır. Havalimanlarında bazı kısıtlamaları tanımlayan uçuş emniyeti talimatları gereğince güneş panellerinin kurulumu için zeminde maksimum kullanılabilir yüzey araştırması yapılmış ve tesisin kurulumunun olası bir uygulaması tartışılmıştır.

Mostafa vd. (2016a) Egyptian Havalimanında güneş enerji sistemlerini kullanmanın fırsatlarını ve zorluklarını kapsamlı bir şekilde incelemişlerdir. Çalışmada, Egyptian

Havalimanında PV sistemlerin kullanılması durumunda alınması gereken güvenlik gereksinimleri ile karşılaşılması muhtemel sorunlar ve olası çözümleri sunmuşlardır.

Mostafa vd. (2016b) havalimanlarında güneş enerji sistemlerinin kullanımına ilişkin parlama, elektromanyetik girişim, vahşi yaşam tehlikesi, panelin parçalarının ayrılması ve diğer potansiyel riskler olmak üzere tüm güvenlik endişelerini beş bölümde sunmuşlardır. Çalışmada, potansiyel risklerin üstesinden gelmek için çözüm önerilerinde bulunmuşlardır. PV sistemlerin tasarımı, kurulumu ve bakımı için özel tasarım protokolleri uygulandığında, havalimanları için yenilenebilir enerji sistemleri arasında en uygun teknoloji olduğu sonucuna varılmıştır.

Sukumaran ve Sudhakar (2017) Dünyada güneş enerjisiyle çalışan ilk havalimanı olan 12 MWp güneş enerjili Cochin Uluslararası Havalimanı'nın operasyonel performansını analiz etmişlerdir. Çalışmada PV simülasyon yazılımları; PVSyst ve Solargis kullanılarak elde edilen performans parametrelerinin ölçülen değerlerle yakın olduğu görülmüş ve bu simülasyon yazılımlarının PV sistemlerin performansını değerlendirmek için güvenilir olduğu sonucu elde edilmiştir.

Anurag vd. (2017) Havalimanlarında PV sistemlerin güvenli bir şekilde uygulanabilmesi için FAA tarafından yansıma, radar paraziti ve hava sahasının fiziksel penetrasyonu olarak tanımlanan üç temel zorluk ve alınması gereken önlemleri incelemişlerdir. Modüllerden deneysel olarak ölçülen yansıtıcılığın teoriyle uyumlu olduğu ve güneş enerji sistemlerinin entegrasyonu için engel oluşturmayacağı tespit edilmiştir. Ayrıca havalimanlarını çevreleyen alanlar mevcut tasarım protokolleri nedeniyle geniş kullanılmayan arazilere sahip olduğundan PV sistemlerin uygulanabilirliğinin mümkün olduğu belirtilmiştir.

Banda vd. (2019) Kamuzu Uluslararası Havalimanında kurulu olan 830 kWp şebekeye bağlı PV sistemin teknik performans değerlendirmesi üzerine çalışma yapmışlardır. PVSyst yazılımı kullanılarak simüle edilen performans parametreleri, simüle edilen aynı parametrelerle karşılaştırıldığında PV sistemlerin tahmin edilen performansa yakın çıktığı gözlemlenmiştir.

Yıldız vd. (2019) Erzurum Havalimanı'nda enerji maliyetlerini ve emisyonlarını azaltmak amacıyla güneş enerji santrallerinin kullanılması durumunun karakteristik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada PV sistemlerin kullanıldığı özgün alanlar, havalimanlarında uygulanabilirliği, sistemin kurulum olanakları, güvenlik kaygıları incelenerek ekonomik, teknik ve operasyonel etkileri sunulmuştur. Güneş enerji santralinin kullanım ömrü dikkate alındığında sistemin kurulumunun ekonomik olduğu sonucuna varmışlardır.

Baxter vd. (2019) Adelaide Havalimanı'ndaki kısa süreli otopark çatısına kurulan güneş paneli sistemleri üzerine çalışma yapmışlardır. PV sistemlerin, Adelaide Havalimanı'ndaki enerji tüketiminin yaklaşık olarak %10, karbon emisyonun ise 915 ton azalmasını sağladığını görmüşlerdir. Sistemin gücünün artırılarak havalimanlarındaki enerji ihtiyacının tamamının karşılanabileceği belirtilmiştir.

Sreenath vd. (2020a) Kuantan Havalimanı içerisinde güneş enerji santrali için sekiz farklı bölge seçerek sistemlerin teknik performansını analiz etmişlerdir. Çalışmada, yedi bölgeden gelen parlamanın FAA'da yer alan parlama politikasına uygun olduğunu ancak sadece sekizinci bölgede sarı parlama meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Bu durumun önerilen güneş enerji sistemi ile gözlem noktası arasındaki mesafenin yakınlığından kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

Sreenath vd. (2020b) havalimanlarında kurulması planlanan güneş enerji sistemlerinin çevresel, mekanik, elektriksel ve fiziksel olmayan etkilerinin risk endeksini belirlemeyi amaçlamışlardır. PV sistemden kaynaklanan parlama oluşumu, PV panellerin hava sahasına girmesi, PV sistemlerin seyrüsefer yardımcı sistemlerinde sinyal karışıklığına sebep olması, uçağın panel sahasına girmesi, PV yapının parçalanması, PV panel altında gölgelenmek için bulunabilecek kuşların varlığı, PV sistemden kaynaklanabilecek elektrik tehlikesi havacılık güvenliği için tehlike oluşturan potansiyel riskler olarak tanımlanmıştır. Her bir risk tanımı için kırmızı (kabul edilemez), sarı (yetkili kişiler tarafından gözden geçirilmesi gereken) ve yeşil (kabul edilebilir) olmak üzere üç renk kodu belirlemişlerdir. Kabul edilemez havacılık güvenliği risk grubu için çalışmada yer alan hafifletme önlemlerinin alınması önerisinde bulunmuşlardır.

Yıldız vd. (2020) havalimanlarında fosil kaynaklardan kaynaklanan sera gazı salınımını ve enerji maliyetini düşürmek için yenilenebilir enerji kaynaklarının uygulanabilirliğini incelemişlerdir. Tüm Dünyadaki havalimanlarında her geçen gün kullanımı artan güneş enerji sistemlerinin havacılık üzerindeki teknik, finansal, operasyonel etkilerini, sistemin risklerini ve faydalarını değerlendirmişlerdir. Türkiye'de bu konuları içeren çalışmaların artırılması gerektiği ve havalimanlarının bu sistemleri kullanmak için önemli fırsatlar sunduğu sonucuna varılmıştır.

Bu tez kapsamında, yapım çalışmaları devam eden Yozgat Havalimanı için oluşturulan mania planına göre, havalimanı içerisinde belirlenen uygun alanlarda güneş enerji santrali tasarlanmıştır.

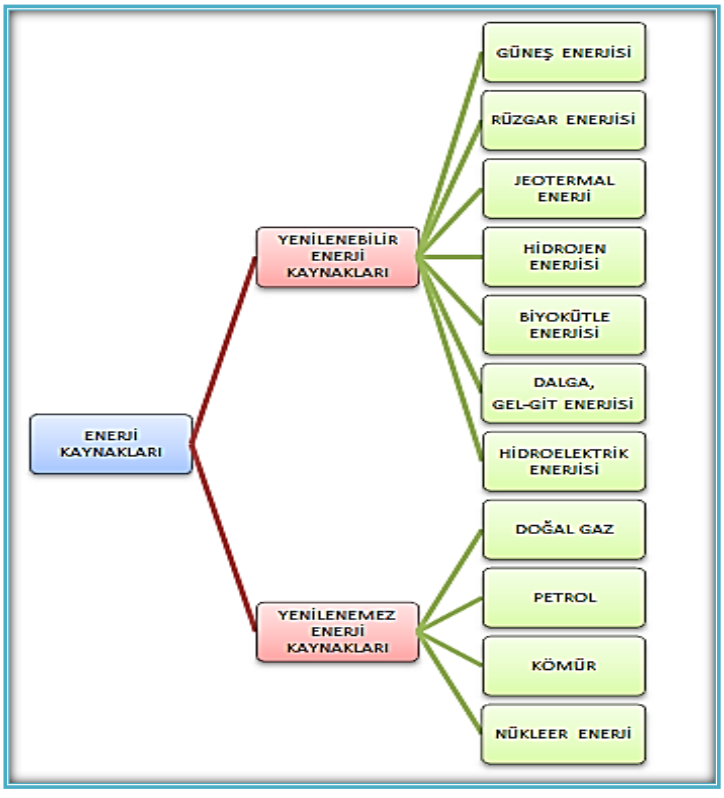
Havalimanı henüz faaliyete geçmediğinden, enerji ihtiyacının belirlenmesinde hizmete alınmış benzer Milas Bodrum Havalimanı'nın 2020 yılı fatura bildiriminden faydalanılmıştır Milas Bodrum Havalimanı'nın 2020 yılında yaklaşık yıllık 4.700.000 kWh enerji harcadığı görülmüştür. Burada harcanan enerji göz önünde bulundurularak Yozgat Havalimanı'ndaki enerji ihtiyacının yaklaşık 4.000.000 kWh olabileceği öngörülmüş, 3.500.000 kWh'lik bölümünün güneş enerji santralinden geri kalan ihtiyacın ise şebekeden sağlanması planlanmıştır. Çalışmada, PV sistemlerin havalimanlarında uygulanabilirliği, güvenlik kaygıları ve göz önünde bulundurulması gereken çözüm önerileri araştırılmıştır.

2. ENERJİ KAYNAKLARI

Enerji, fizik biliminde "iş yapabilme yeteneği" olarak teknik bir ifadeyle tanımlanmaktadır (Girgin 2011). İnsanlar temel ihtiyaçlarını karşılayabilmek ve daha kaliteli bir yaşam sürdürebilmek için enerjiye gereksinim duymaktadırlar. Dünya nüfusunun artması, ülkelerin sanayilerini geliştirme çalışmaları ve hızla gelişen teknolojiye bağlı olarak enerji kaynaklarına olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır (Koç ve Şenel 2013, Koç ve Kaya 2015).

Dünyadaki kullanılan enerji kaynakları; kısıtlı rezervleri olan, çevreye yaydığı zararlı sera gazıyla bilinen yenilenemez enerji kaynakları ve doğada varlığını sürekli devam ettiren, kendisini kısa bir sürede yenileyebilme özelliğine sahip olan yenilenebilir enerji kaynakları olarak iki grupta incelenmektedir.

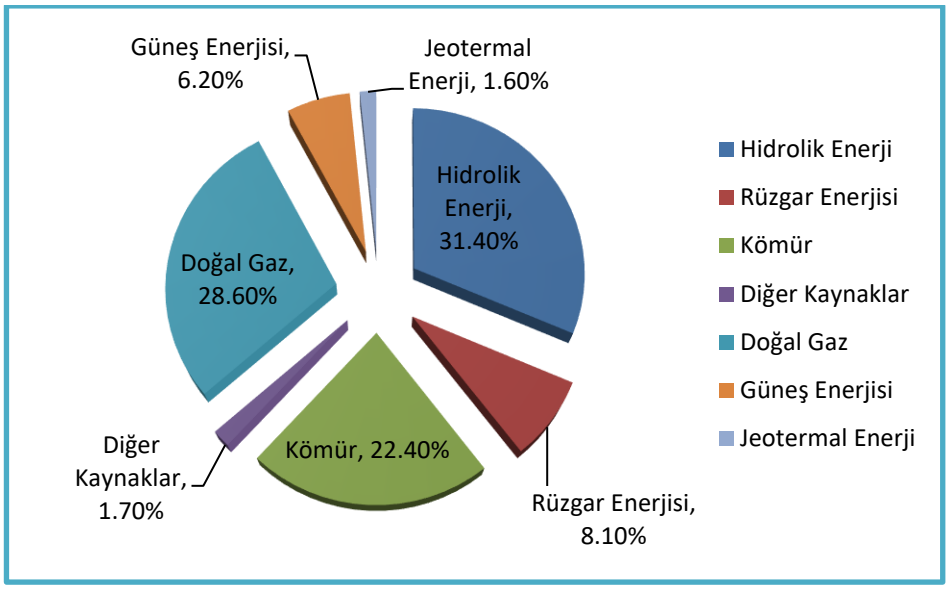
Enerji kaynaklarının sınıflandırılması Şekil 2.1'de sunulmaktadır.



Şekil 2.1 Enerji kaynaklarının sınıflandırılması

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın açıkladığı verilere göre, Türkiye'de 2019 yılı Eylül ayı sonu itibari ile 669 adet hidrolik santralinden %31,4'ü, 330 adet doğal gaz santralinden %28,6'sı, 68 adet kömür santralinden %22,4'ü, 262 adet rüzgâr enerjisi santralinden %8,1'i, 6.435 adet güneş enerjisi santralinden %6,2'si, 52 adet jeotermal enerji santralinden %1,6'sı ve kalan %1,7'si diğer kaynaklardan olmak üzere toplam 8.069 santralden elektrik enerjisi üretilmektedir. Bu santrallerin kurulu gücü 90.720 MW'a ulaşmıştır (T.C.E.T.K.B. 2021).

Türkiye'de 2019 yılında elektrik enerjisi üretiminde kullanılan yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynaklarının yüzdelik dağılımı Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2 2019 yılında Türkiye'de kurulu gücün kaynaklar bazında dağılımı

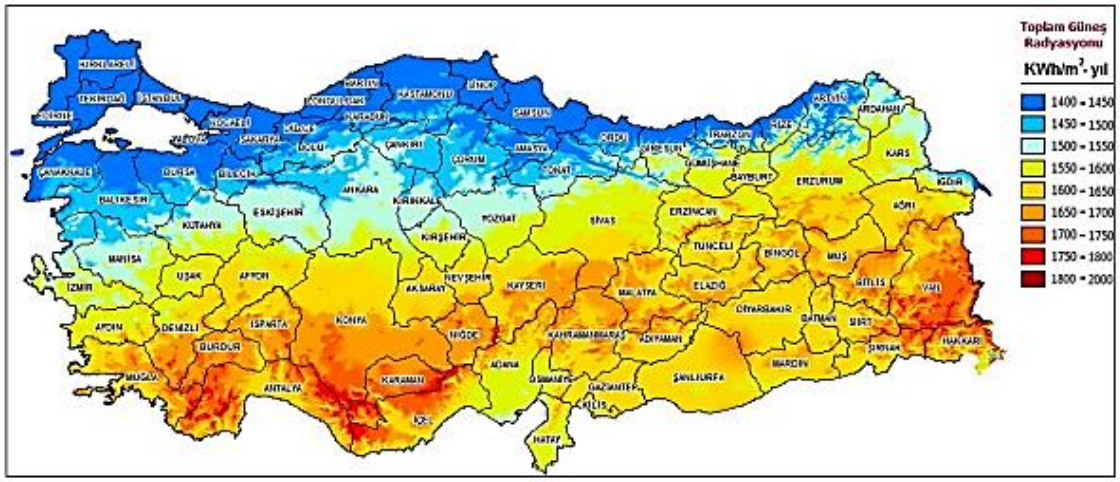
2.1 Güneş Enerji Sistemleri

Güneşin çekirdeğinin büyük bir bölümünü oluşturan hidrojen elementinin helyuma dönüştürülmesi esnasında üretilen enerji, güneş enerjisi olarak tanımlanmaktadır. Güneş enerjisi; zararlı atık oluşturmaması, kurulum ve kullanım kolaylığı sağlamasından dolayı yenilenebilir enerji kaynakları arasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Birimi "metrekare (m^2) alan başına düşen watt (W)" olarak ifade edilen güneş enerjisinin,

atmosferden dolayı şiddeti azalarak, yeryüzüne gelen kısmı 0-1.100W aralığında değişmektedir (Boz 2011).

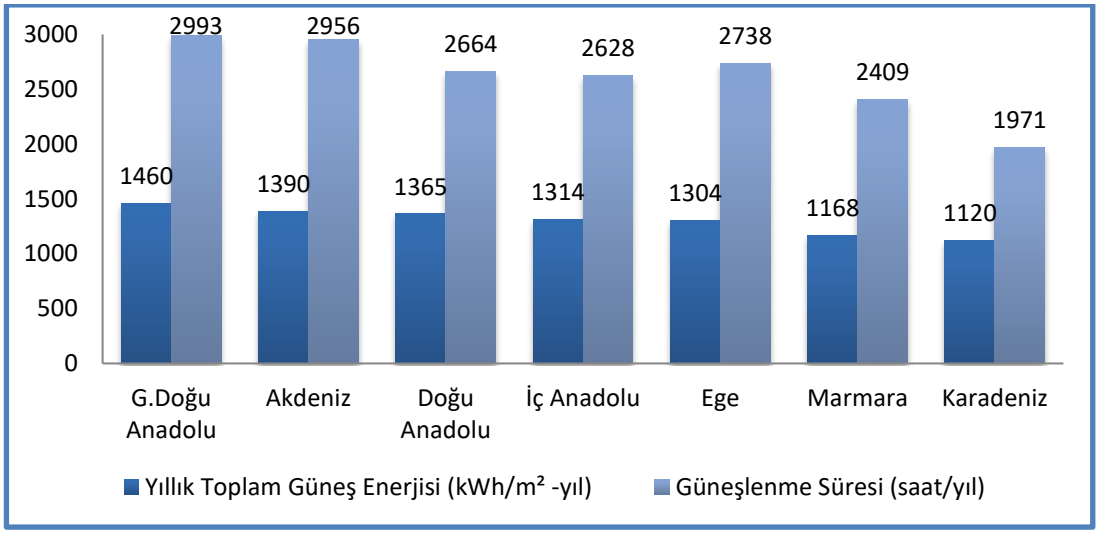
Türkiye coğrafi konum olarak güneş kuşağı olarak isimlendirilen stratejik öneme sahip bir bölgede yer aldığından, güneş enerji potansiyeli yönünden oldukça verimli topraklara sahiptir. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yapılan çalışma neticesinde, ülkemizde yıllık toplam güneşlenme süresinin 2.741,07 saat, yıllık toplam ışınım şiddetinin ise 1.527,46 kWh/m² olduğu tespit edilmiştir (Kılıç 2015).

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli Atlası (GEPA) Şekil 2.3'de verilmiştir.



Şekil 2.3 Türkiye güneş enerji potansiyeli haritası

Dört mevsimin yaşandığı ülkemizde, güneş enerjisinden neredeyse her bölgede doğrudan ya da dolaylı bir şekilde faydalanılmaktadır. Türkiye'nin yağmurlu gün sayısı fazla olan kuzey kesimlerinin yılda 1.120 kWh/m² radyasyon ile en az ışınım aldığı, güneşli gün sayısının fazla olduğu güney ve güneydoğu kesimlerinin ise yılda 1.460 kWh/m² radyasyon ile en fazla ışınım aldığı yerler Şekil 2.4'de verilen grafikte görülmektedir (Özgür 2020).



Şekil 2.4 Bölgelere göre ışınım miktarları ve güneşlenme süresi

2.2 Güneş Enerjisinin Uygulama Alanları

Güneş enerjisinden elektrik ve ısı olmak üzere iki farklı enerji elde edilmektedir. Güneş kollektörleri kullanılarak güneş ışığından ısıl enerji, güneş panellerinin kullanıldığı fotovoltaik sistemlerde ise, güneş hücresinin uçları arasında oluşan gerilimden faydalanarak elektrik enerjisi elde edilebilmektedir.

Isıl enerji ısıtma, soğutma vb. sistemlerde; elektrik enerjisi ise başta aydınlatma olmak üzere her türlü elektrikli sistemlerde kullanılabilmektedir. Elektrik enerjisini elde etmek için kullanılan fotovoltaik panellerin; havalimanlarında, boş arazilerde, bina yüzeyleri ve çatılarında, otopark sundurmalarında uygulama alanı mevcuttur.

Şekil 2.5'de fotovoltaik sistemlerin bazı uygulama alanları verilmiştir.



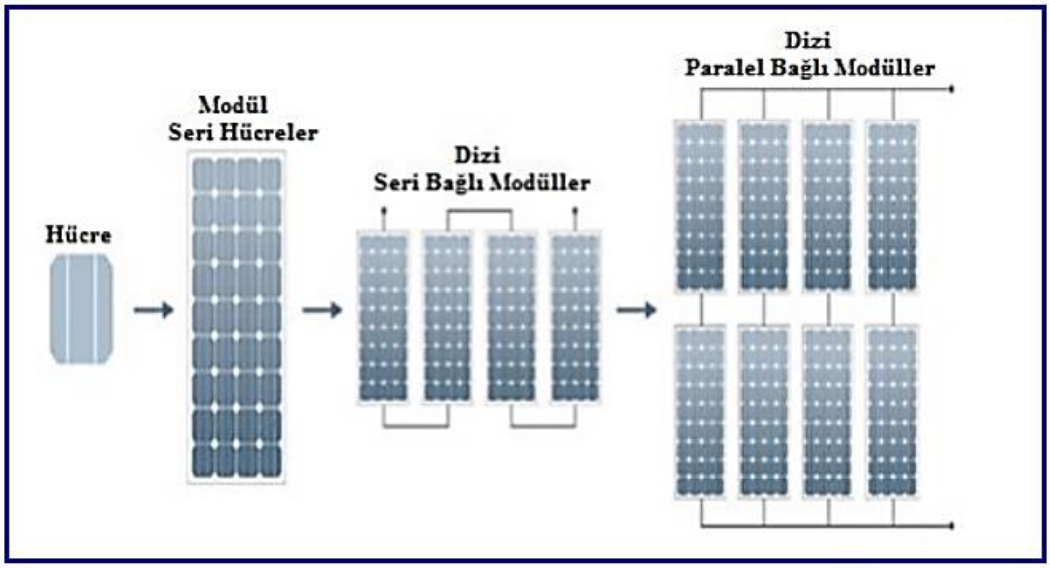
Şekil 2.5 PV sistemlerin uygulamaları

2.3 Fotovoltaik (PV) Sistemler

Işık (foto) ve elektrik (voltaik) sözcüklerinin bir araya gelmesiyle oluşan PV sistemler, güneş ışığından güç elde edilebilmesini sağlayan ekipmanlardır. "Fotovoltaik pil", "güneş enerji sistemleri" ve "güneş pili" tanımlamaları, PV sistemler için yaygın olarak kullanılan ifadeler arasındadır. PV sistemlerin genel çalışma prensibi, panelin üzerine düşen güneş ışığının elektrik enerjisine dönüştürülmesine dayanır (Bedeloğlu vd. 2010).

Dikdörtgen, kare, yuvarlak şekillerde tasarlanabilen PV hücreleri, yarı iletken malzemelerden oluşmaktadır. PV hücreleri, kalınlıkları 0,2 – 0,4 mm aralığında değişkenlik gösteren ve yaklaşık olarak 100 cm²'lik bir yüzey alanına sahip elektronik sistemlerdir. Güneş hücreleri, PV panellerin en küçük parçasıdır ve çıkış gerilimi yaklaşık 0,5 V olarak ölçülmektedir. Havalimanları gibi büyük ölçekli işletmelerin enerji talebini, çıkış gücünün düşük olmasından dolayı tek bir güneş hücresinden karşılayabilmesi mümkün değildir. Elde edilmek istenilen çıkış gücüne ulaşmak için güneş hücrelerini birbirine seri ya da paralel bir şekilde bağlayarak çıkış gücünü

artırabiliriz. Güç çıkışını artırmak için güneş hücrelerinin birleştirilerek dizi elde edilmesine ait görsel Şekil 2.6'da verilmiştir (Turhan ve Çetiner 2012, Kutluca 2020).

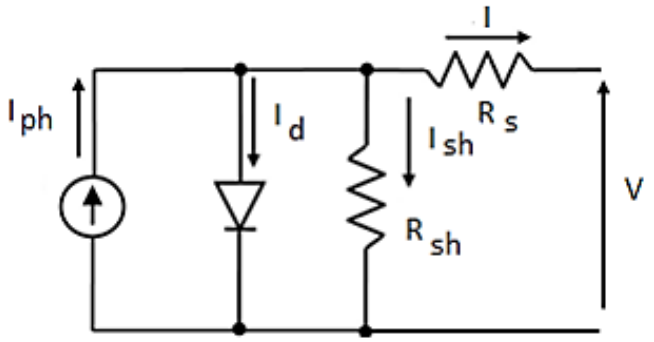


Şekil 2.6 PV hücrelerden modül ve dizi tasarımı

2.4 Fotovoltaik Sistemlerin Analizi

PV hücrenin eşdeğer devresindeki; fotonların ürettiği akım Iph ile, seri direnci Rs ile, paralel direnci Rsh ile, ideallik faktörü n ile, fotovoltaik hücrenin çıkış akımı I ile, fotovoltaik hücrenin çıkış gerilimi ise V ile sembolize edilmiştir (Adak vd. 2019).

PV hücrenin eşdeğer devresi Şekil 2.7'de sunulmuştur.



Şekil 2.7 PV hücrenin eşdeğer devresi

Şekil 2.7 analiz edildiğinde, devrenin çıkış akımı matematiksel olarak Denklem (2.1)'deki biçimde ifade edilebilir.

$$I = I_{ph} - I_d = I_{ph} - I_0 \left[exp^{\left(\frac{V+IR_S}{\alpha}\right)} - 1 \right] - \frac{V+IR_S}{Rsh} \quad (2.1)$$

Denklem (2.1)'de sembolize edilen modifiye edilmiş diyot idealite faktörü (α), Denklem (2.2)'de verilmiştir. Modifiye edilmiş diyot idealite faktörü hesaplanırken; q elektron yükünü, N_S seri bağlanmış hücre sayısını, T mutlak sıcaklığı, k Boltzmann Sabitini ifade eder (Çelik ve Koç 2020).

$$\alpha = \frac{nkTN_S}{q} \quad (2.2)$$

k = 1,381x10-23 J/K

q = 1,602x10-19 Coloumb

PV hücre üzerinde oluşan I_{ph} ışık akımı, Denklem (2.3) ile bulunabilir.

$$I_{ph} = I_{sc} \left(1 + \frac{R_S}{Rsh}\right) + I_0 \left[exp \left(\frac{I_{sc}R_S}{mV_t}\right) - 1 \right] \quad (2.3)$$

I_0 ters doyma akımı ise Denklem (2.4) ile ifade edilebilir.

$$I_0 = \left(I_{sc} - \frac{V_{oc}}{R_{sh}}\right) exp \left(\frac{-V_{oc}}{mV_t}\right) \quad (2.4)$$

Denklem (2.5)'de formüle edilen T_C, hücrenin sıcaklığını ifade eder.

$$T_c = T_{ortam} + \frac{T_{nom}-20}{0,8} \text{ x G} \quad (2.5)$$

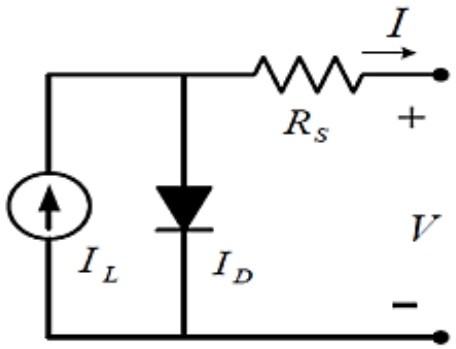
PV hücrelerin ışınım şiddeti ve sıcaklığa bağlı olarak değişkenlik gösteren I_{SC} kısa devre akımı Denklem (2.6) ile hesaplanabilir.

$$I_{sc} = I_{sc,ref}\ \frac{G}{Gref} + \mu_{I,sc}\left(T_c - T_{c,ref}\right) \tag{2.6}$$

Açık devre gerilimi V_{OC} ise hücreden geçen akımın sıfır olması durumunda, hücre uçlarından ölçülen gerilimdir ve Denklem (2.7) ile ifade edilebilir (Öztürk 2017).

$$V_{oc} = V_{oc,ref} + mV_t \ln\left(\frac{G}{Gref}\right) + \mu_{v,oc}\left(T_c - T_{c,ref}\right) \tag{2.7}$$

Değişkenli model için eşdeğer elektrik devresi Şekil 2.8'de verilmiştir. Bu devrede belirtilen sembollerin matematiksel olarak ifadesi aşağıdaki denklemler ile sunulmuştur.



Şekil 2.8 Değişkenli model için eşdeğer elektrik devresi

Şekil 2.8'de sunulan PV hücre eşdeğer devresindeki R_{Sh} açık devre olarak alındığında fotovoltaik hücre akımı, Denklem (2.8) ile sunulmuştur.

$$I = I_L - I_0\left[exp\left(\frac{V+IR_S}{\alpha}\right) - 1\right] \tag{2.8}$$

$$I_L = I_{sc} \tag{2.9}$$

2.5 Fotovoltaik Hücrenin Verimi

PV hücre verimi, hücrenin ürettiği elektrik enerjisinin, güneş enerjisine oranı olarak tanımlanmaktadır. PV sistemin verimi; PV hücrenin malzemesi, panelin eğim açısı, panelin üzerinde biriken toz ve kirler, kablo kayıpları, hücrenin akım-gerilim özellikleri, sistemin bakımı, güneş ışınım şiddeti ve sıcaklık faktörlerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

İnce film ve kristal yapıdaki PV sistemlerin hücre verimi, modül veriminden yüksektir. Hücreler birleşerek modülü oluşturur. Verim hesaplanırken de yüzey alanı dikkate alınacağından, modülü oluşturan hücrelerin arasında elektriksel anlamda kullanılmayan boşluklar verimi azaltmaktadır.

Farklı tipteki PV teknolojilere ait modül ve hücre gerilimi Şekil 2.9'da verilmiştir.

PV Teknoloji		Hücre Verimi (%)	Modül Verimi (%)
Kristal silikon	Tek kristal silikon	25,0	14–16
	Çok kristal silikon	21,3	14–16
	Galyum arsenit	27,5–29,1	
İnce film	Amorf silikon	13,6	6–9
	Kadmiyum tellür	22,1	9–12
	CIS/CIGS	22,3	8–14

Şekil 2.9 Farklı PV teknolojilere ait modül ve hücre verimi

PV sistemin matematiksel olarak verim hesabı Denklem (2.10) ile sunulmuştur (Orhan ve Şahin 2022).

$$\eta_{pv} = \frac{P_{pv}}{I_t \, x \, A_{pv}} \tag{2.10}$$

$$P_{pv} = I_{oc} x \, V_{sc} \tag{2.11}$$

Denklem (2.11)'de sembolize edilen,

- P_{pv}; sistem tarafından üretilen güç miktarını (W),

- A_{pv}; panelin yüzey alanını (m^2),

- I_t; toplam güneş ışınımı,

- η_{pv}; sistemin verimini (%) ifade eder.

2.6 Yozgat Havalimanı'nda Kullanılması Planlanan Monokristal Hücrenin Verim Hesabı

Monokristal PV panellerinin verimi % 16-24 aralığında değişmektedir. PV panellerin güç hesabı yapılırken, PV panelin standart test koşullarında (1000 W/m²) kullanıldığı kabul edilmiştir (A.E. 2022). Yozgat Havalimanı'nda kullanılması için karakteristik özellikleri verilen PV hücrenin boyutları 1668x1007x35 mm olup; PV panelin standart test koşullarındaki verim hesabı aşağıda verilmiştir.

Yozgat Havalimanı'nda kullanılması planlanan PV sistemin verimi, firma kataloğunda %90 olarak verilmektedir.

A_{pv} = 1,679 m²

It = 1000 W/m²

Çıkış gücü 330 W olarak verilen panelin verimi %90 olduğundan;

P_{pv} = 330 x 0,9 = 297W olmaktadır.

$$\eta_{pv} = \frac{\boldsymbol{297W}}{\boldsymbol{1.679\ x\ 1000}} = \%18$$

Standart test koşullarında PV hücrenin verimi; %18 olarak hesaplanmıştır.

2.7 Fotovoltaik Hücre Tipleri

PV Sistemler, kristal yapı (monokristal ve polikristal) ve ince film olmak üzere iki farklı teknoloji ile üretilmektedir.

2.7.1 Monokristal PV panel

Monokristal PV panelleri, homojen bir yapıya sahip tek bir kristalden oluşan yapılardır. Maliyeti diğer teknolojilere göre yüksek olmasına rağmen, kısıtlı alanlarda elde edilmek istenen büyük güçler için tercih edilmektedir. Polikristal PV panel ile kıyaslandığında laboratuvar ve uygulama sahasındaki verimliliğinin daha yüksek olduğu görülmektedir (Cebeci 2017).

2.7.2 Polikristal PV panel

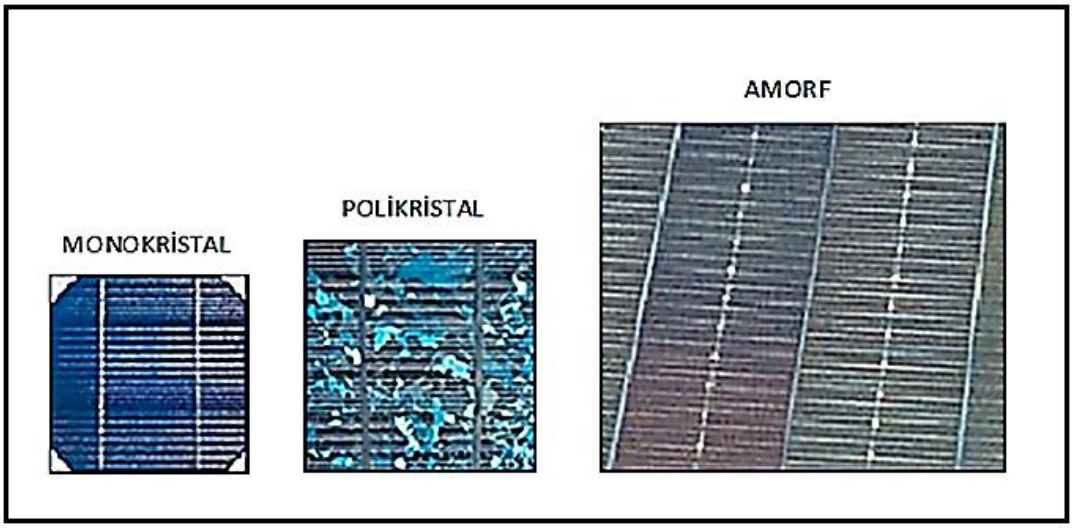
Polikristal PV panelleri, çok kristalli bir yapıdan meydana gelmekte olup, yapısal özellikleri monokristal PV panelleri ile aynıdır. Verimliliği daha düşük olan polikristal PV panellerinin aynı zamanda maliyeti daha düşük olduğundan güneş enerji santrali kurulumunda yaygın olarak kullanılmaktadır (Ayran 2019).

2.7.3 İnce film PV panel

İnce film PV panelleri, kristal yapılı güneş panellerine göre daha az yarı iletken madde bulundurduğundan maliyeti daha düşüktür. Hücre şeklinden dolayı güneşin yoğun olmadığı bulutlu günlerde de verimli bir şekilde çalışmasını sürdürebilmektedir. Ancak;

ince film PV panellerin kullanım ömrü test edilebilecek kadar zaman geçmediğinden, genellikle kristal yapılı paneller tercih edilmektedir.

Monokristal, polikristal, amorf PV hücrelere ait görsel Şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.10 Monokristal, polikristal ve amorf PV hücrelere ait görseller (Yılmaz 2008)

3. HAVALİMANLARI

Havayolu taşımacılığı, insan ve yüklerin bir yerden başka bir yere erişiminin sağlanmasında güvenilir ve daha hızlı bir ulaşım türü olması sebebiyle genellikle tercih edilmektedir (Tulan ve Ercoşkun 2019). İlk zamanlarda küçük uçakların iniş ve kalkışı için çim alanların pist olarak kullanıldığı bilinmektedir. Günümüzde teknolojinin gelişmesi ile birlikte zamanla artan ihtiyaca cevap verilebilmesi için daha büyük kapasiteli uçakların kullanılmaya başlanması pist boyutlarının büyümesine, kaplamasının ise havalimanın bulunduğu bölgenin hava şartlarına ve özelliğine göre mukavemeti yüksek olan asfalt veya beton olarak imal edilmesine neden olmuştur (Yıldız 2020).

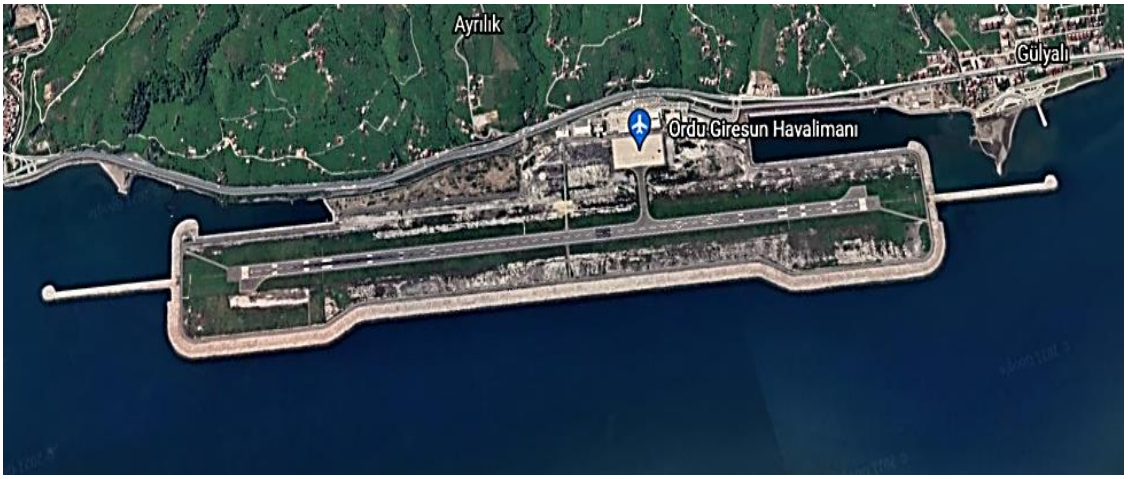
Günümüzde, pistlerin yanı sıra, yolcu konforunun sağlanması yönünde terminal binası ve yan tesislerin kurulumuna ihtiyaç duyulduğundan havalimanları büyük yapılar haline gelmiştir. Şekil 3.1'de İstanbul Havalimanı'na ait görsel verilmiştir.



Şekil 3.1 İstanbul Havalimanı (DHMİ 2021)

Kentleşmenin artması ve bölge halkının ihtiyacı doğrultusunda küçük ölçekli şehirlerde de havalimanı kurulmaktadır. Türkiye'de ve Avrupa'da bir ilk olan Ordu-Giresun Havalimanı (Şekil 3.2), bölgenin yüz ölçümünün küçük ve arazisinin engebeli olması

nedeniyle büyük ölçekli yapılaşmaya uygun olmadığından güncel mühendislik çözümlerinden faydalanılarak deniz dolgusu üzerine inşa edilmiştir.



Şekil 3.2 Ordu - Giresun havalimanı

Küreselleşmeyle beraber gelişen havacılık sektörü havalimanlarına duyulan gereksinimi de beraberinde getirmektedir. Türkiye'de yapımı devam eden projeler olmakla birlikte, Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMİ) tarafından işletilen 58 adet sivil havalimanı bulunmaktadır. Bu işletmelerin 18 tanesi hem askeri hem de sivil amaçla kullanılmaktadır. Ülkemizdeki havalimanlarından 37 tanesi uluslararası uçuşlarda kullanılmakta olup, harita üzerindeki gösterimi Şekil 3.3'de verilmektedir.



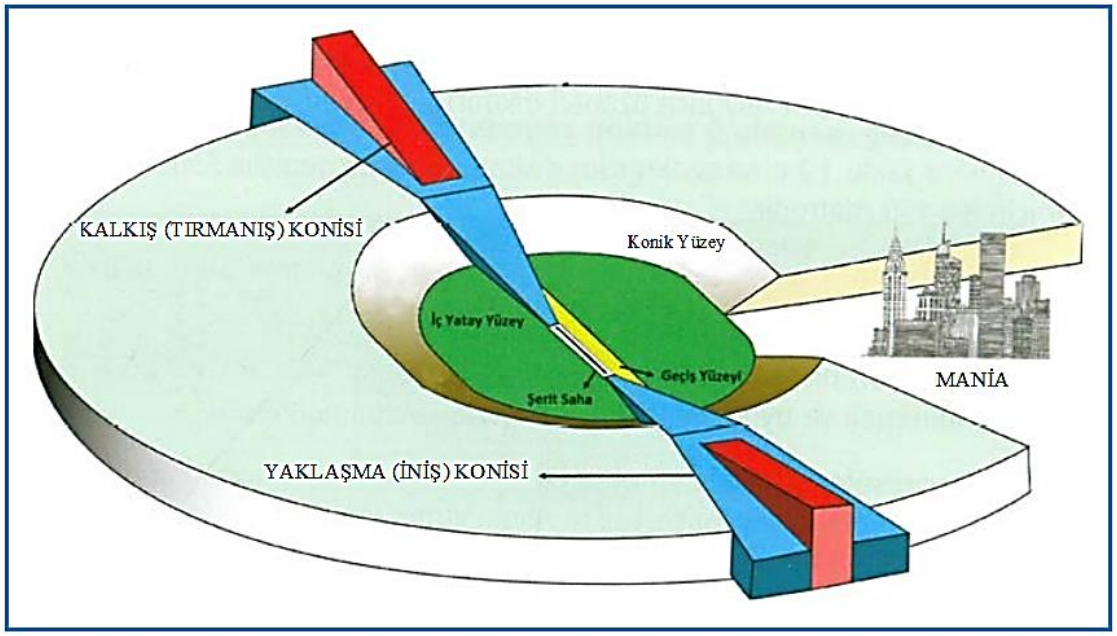
Şekil 3.3 Uluslararası uçuşlarda kullanılan havalimanları (WIKIPEDIA 2022)

Havalimanlarında bulunan yapı ve tesislerin işlevlerini yerine getirebilmesi için ihtiyaç duyulan enerji; elektrik ve sıvı yakıtlardan karşılanmaktadır. Havalimanlarındaki tesis sayısı, yolcu sayısına bağlı olarak belirlenen uçak sefer sayısı, terminal binasının büyüklüğü ile kullanım sıklığı, havalimanı ışıklandırması ve tesislerin ısıtma ve soğutma ihtiyacının karşılanması havalimanlarında enerji ihtiyacını belirleyen en temel etkenlerdendir (Yıldız vd. 2020).

Havalimanları sınırları içerisinde bulunan atıl araziler yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi temini için oldukça elverişli alanlardır. Yapılan incelemeler sonucunda, havalimanlarında; kullanılabilecek güneş, rüzgâr, hidroelektrik ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından en uygun olanının güneş enerji sistemi olduğu görülmektedir. Kurulması planlanan yenilenebilir enerji kaynağının seçimi yapılırken, santralin kurulacağı havalimanının türü, büyüklüğü, yer şekilleri ve iklim koşulları göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca, santralin havalimanı mania sınırlama yüzeylerine nüfuz etmemesi konusu dikkate alınmalıdır.

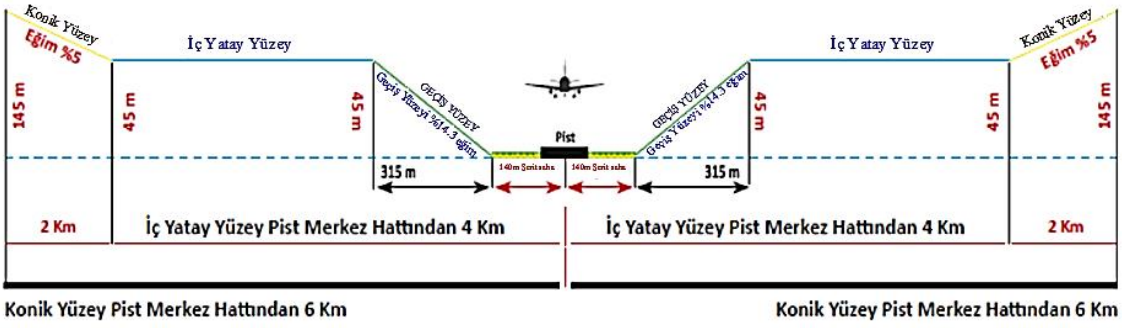
Havalimanı etrafındaki kule, bina gibi yüksek yapılaşmalar uçakların iniş – kalkış ve taksi yaptığı durumlarda kaza için risk oluşturmaktadır. Uçakların seyrüseferlerini emniyetli bir şekilde sürdürebilmeleri için SHT-HES'de belirtilen mania sınırlarını ihlal etmeyecek şekilde yapılması gerekmektedir. Mania sınırlama yüzeyleri; şerit saha, geçiş yüzeyi, iç yatay yüzey, konik yüzey, kalkış – tırmanma konisi, yaklaşma yüzeyinden oluşmaktadır.

Mania sınırlama yüzeylerinin bulunduğu görsel Şekil 3.4'de sunulmuştur (Mutlu 2019).



Şekil 3.4 Mania sınırlama yüzeyleri

Şekil 3.5'de görüldüğü gibi pist merkez hattından sonraki ilk 140 m şerit saha boyunca eğim %0 olmalıdır. Geçiş yüzeyinde, şerit sahadan sonraki 315 m'lik mesafe boyunca %14,3 eğimle yükselerek 45 m yüksekliğe kadar oluşan mânianın risk teşkil etmediği görülmektedir. Pist merkez hattından 4 km boyunca iç yatay yüzey eğimi %0 olmalıdır. Konik yüzey olarak isimlendirilen iç yatay yüzeyinden sonraki 2 km'de ise, eğim % 5 olarak kabul edilmektedir. Konik yüzey bitiminde %5 eğimle 145 m yüksekliğe kadar olan yapılaşmalar bu yüksekliklerin altında kaldığında uçuş güvenliği için tehlikeye oluşturacak bir unsur teşkil etmeyeceği görselde ifade edilmektedir.



Şekil 3.5 Mania sınırlama yüzeyleri 2

Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı (ICAO) (DHMİ 2011) tarafından, havalimanlarının tasarımı, mevcut havalimanlarının geliştirilmesi ve onarımı ile ilgili standartları içeren "Annex 14 Aerodromes Volume 1 Aerodrome Design and Operations" dokümanı yayımlanmıştır. Orijinal yayın üzerinde güncellemeler yapıldığından, T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü bu dokümanı ülkemizdeki mevzuata uygun bir kılavuz haline getirmiştir.

Havaalanı Emniyet Standartları Talimatı (SHT-HES) kılavuzunda yer alan bazı temel kavramlar aşağıda verilmiştir.

Havalimanı: Hava araçlarının iniş, kalkış ve yüzey hareketleri için hazırlanmış, karada ya da suda oluşturulmuş bir alan (bina ve teçhizat dahil).

Terminal: Yolcuların bekleme yaptıkları, uçağa biniş ve havalimanına geliş için kullandıkları binadır.

Hava Sahası: Uçuş güvenliğini sağlamak için bir kara parçası ya da su kütlesi üzerinde bulunan boyutları kanun ve kurallarla belirlenmiş hacimli alan.

Şekil 3.6'da Türk hava sahası görülmektedir.



Şekil 3.6 Hava sahası

Pist: Uçakların iniş ve kalkışı için belirlenmiş dikdörtgen alan**.**

Apron: Uçakların yolcu veya kargo indirip bindirmek, yakıt ikmali yapmak ve park etmek amacıyla kullandıkları alan.

Pist Sonu Emniyet Alanı (RESA): Piste erken temas eden veya pist sonunda duramayan uçakların alacağı hasarı en aza indirmek için pist merkez hattına simetrik ve şeridin sonuna bitişik güvenlik amaçlı oluşturulmuş alan.

Şekil 3.7'de Yozgat Havalimanı RESA alanı görülmektedir.



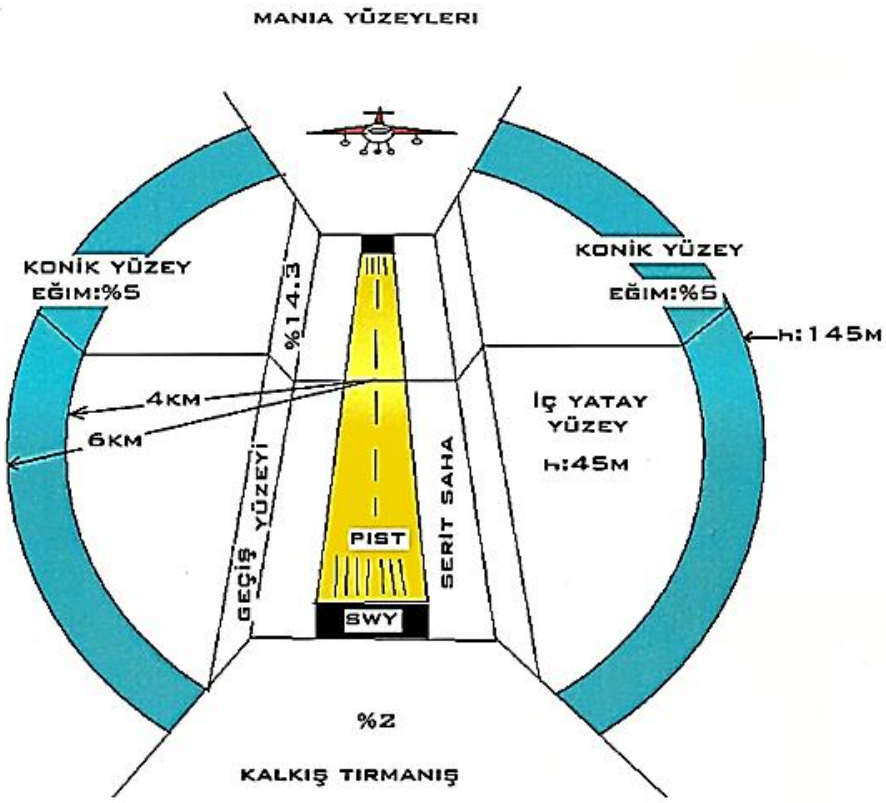
Şekil 3.7 Yozgat Havalimanı RESA alanı

Taksi Yolu: Uçaklar yerdeyken pist ile apron arasındaki bağlantıyı sağlayan yollar.

Mania: Uçakların yüzey hareketi sırasında, öngörülen alanda bulunan uçakların korunması için hava seyrüseferine tehlike olarak tayin edilmiş olan geçici veya daimi sabit ve hareketli engel teşkil edebilecek cisimler olarak tanımlanmaktadır.

Mania Planı: Hava araçlarının seyir halindeyken veya yüzey hareketi sırasında uçaklar için mania teşkil edebilecek hareketli ya da hareketsiz engeller ile ihlal edilmemesi istenilen alan için belirli yüksekliklerin tanımlandığı plan (Ulubay ve Varol 2012).

Mania Tahdit Yüzeyi: Havalimanları için oluşturulan mania planı içerisinde kalan alanlarda yapılaşmaya müsaade edilen yükseklikler ile mania oluşturması istenmeyen yüzeyleri tanımlar. Havalimanları için mania yüzeyleri Şekil 3.8'de sunulmuştur.

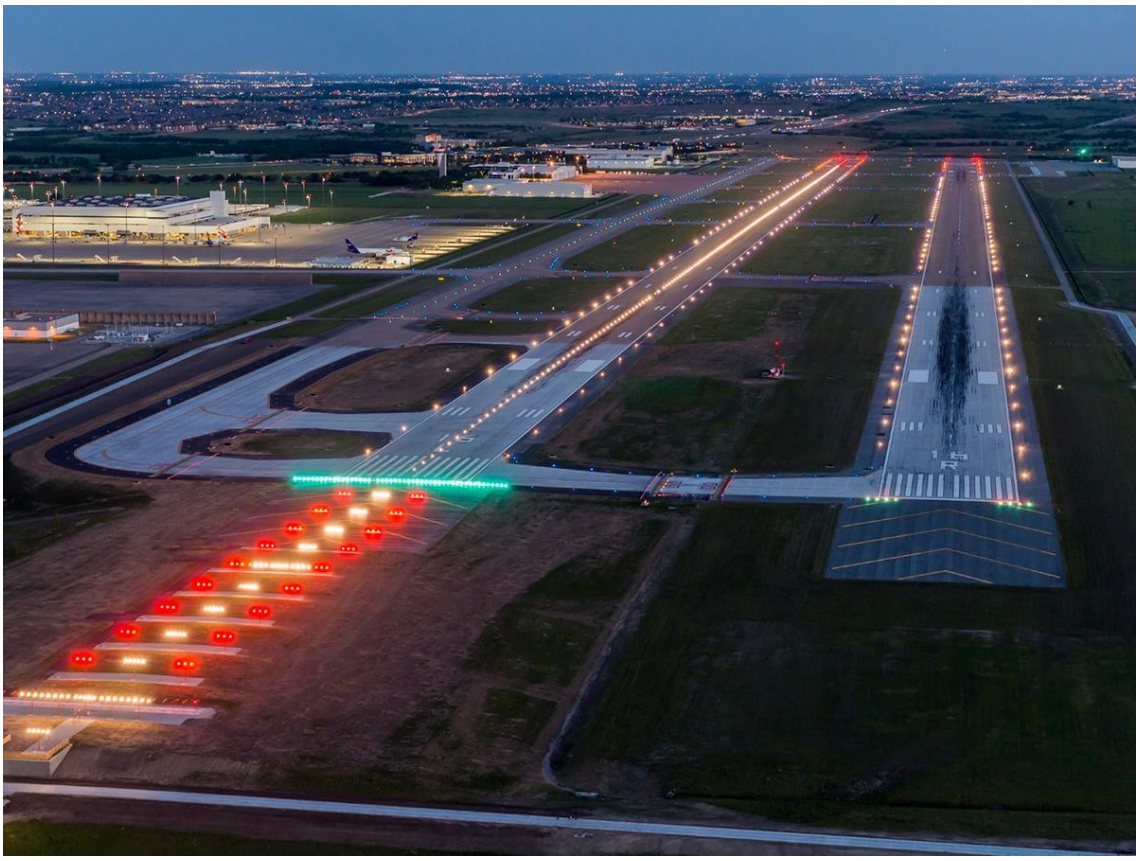


Şekil 3.8 Mania yüzeyleri

3.1 Havalimanı Aydınlatma Sistemleri

Havalimanlarının bir kısmı 24 saat aralıksız hizmet vermektedirler. Hava trafiğinin oldukça yoğun olduğu bu alanlarda gece ve olumsuz hava koşullarında uçuşların emniyetli bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için bazı özel aydınlatma sistemleri kullanılmaktadır. Pist aydınlatma sistemleri, uçaklara gece ve görüşü engelleyen hava koşullarında görsel olarak kılavuzluk etmektedir.

Şekil 3.9'da ışıklandırılmış iki paralel pistin genel görünümü sunulmuştur.



Şekil 3.9 Işıklandırılmış iki paralel pistin genel görünümü (S.C.W. 2022)

Uluslararası Havalimanı inşa edilirken Havaalanı Emniyet Standartları Talimatı kılavuzunda yer alan aydınlatma sistemleri ile ilgili bazı standartlar hakkındaki bilgiler aşağıda kısaca verilmiştir.

3.1.1 Pist merkez hattı ışıkları (Runway centre line lights)

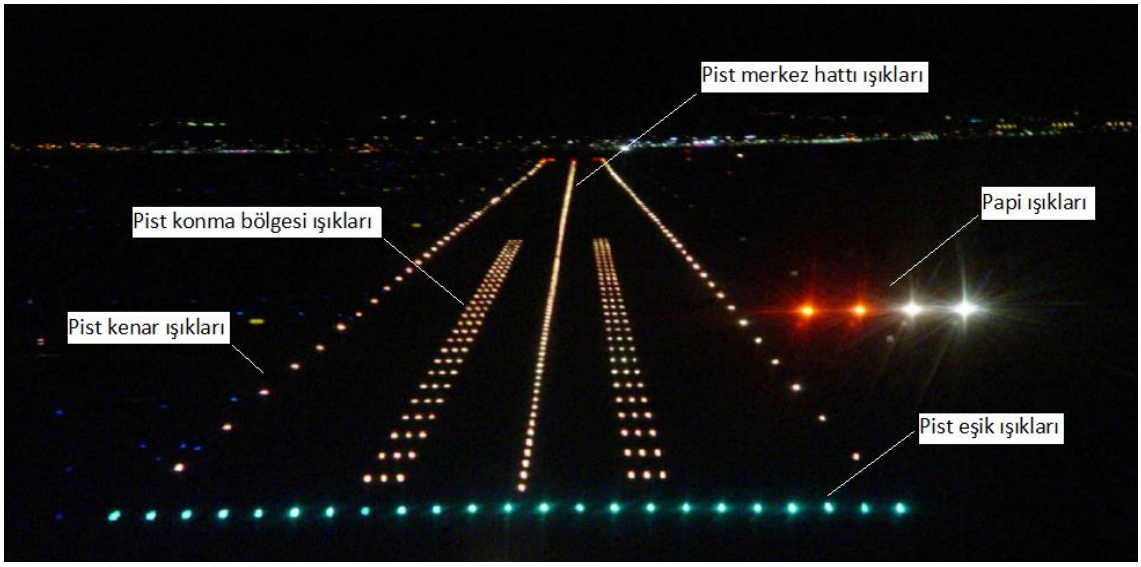
Pist merkez hattı ışıkları pilotlara pistte seyir sırasında pistin merkezini görsel olarak tanımlayan ışıklardır. Pist başından başlayarak pist sonuna 900 metre kalıncaya kadar beyaz, son 900 metreden 300 metre kalıncaya kadar (600 metre boyunca) bir kırmızı bir beyaz, pist sonuna 300 metre kaldığında ise kırmızı renkli sabit ışıklardır (SHT-HES).

Şekil 3.10'da pist merkez hattında kullanılan armatüre ait görsel verilmiştir.



Şekil 3.10 Pist merkez hattı armatürü (UBS 2021)

Pist aydınlatma armatürlerinden bir kısmının yerleşimi Şekil 3.11'de sunulmuştur.

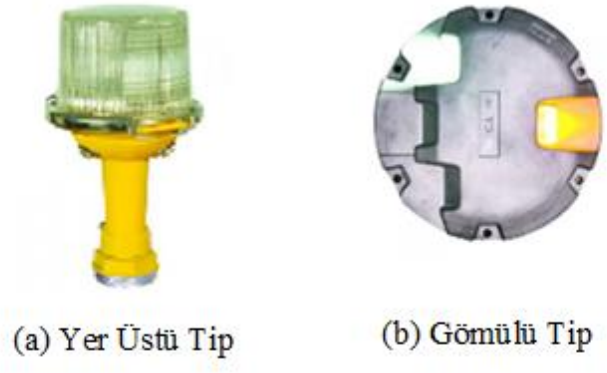


Şekil 3.11 Pist kenar, pist eşik, pist merkez hattı, tekerlek temas ve papi ışıklarının yerleşimi (DHMİ 2014)

3.1.2 Pist kenar ışıkları (Runway edge lights)

Pistin her iki kenarına eşit mesafede konumlandırılmış açıklığı 60 metreden fazla olmayan pist sınırlarını belirleyen sabit ışıklardır.

Şekil 3.12’de yer üstü ve gömülü tip pist kenar armatürleri sunulmuştur.



Şekil 3.12 Pist kenar armatürü (EMA 2021)

3.1.3 Pist eşik ışıkları (Runway threshold lights)

Pist eşik ışıkları, piste yaklaşmakta olan pilota pistin başını belirten yeşil renkli ışıklardır.

3.1.4 Pist sonu ışıkları (Runway end lights)

Pist sonu ışıkları, kalkış yapan uçaklara pistin bittiğini gösteren kırmızı renkli ışıklardır.

Şekil 3.13’de pist eşik ve pist sonu ışığı armatürü verilmiştir.



Şekil 3.13 Gömülü tip pist eşik / Pist sonu armatürü

3.1.5 Taksi yolu merkez hattı ışıkları (Taxiway centre line lights)

Taksi yolu merkez hattı ışıkları, taksi yapmakta olan uçaklara taksi yolunun merkezini tanımlayan ışıklardır.

3.1.6 Taksi yolu kenar ışıkları (Taxiway edge lights)

Taksi yolu kenar ışıkları, pilotlara rehberlik etmek üzere taksi yolunun her iki kenarına konumlandırılmış taksi yolunun sınırlarını belirleyen ışıklardır.

Şekil 3.14'de yer üstü ve gömülü tip taksi yolu kenar armatürlerine ait görsel sunulmuştur.



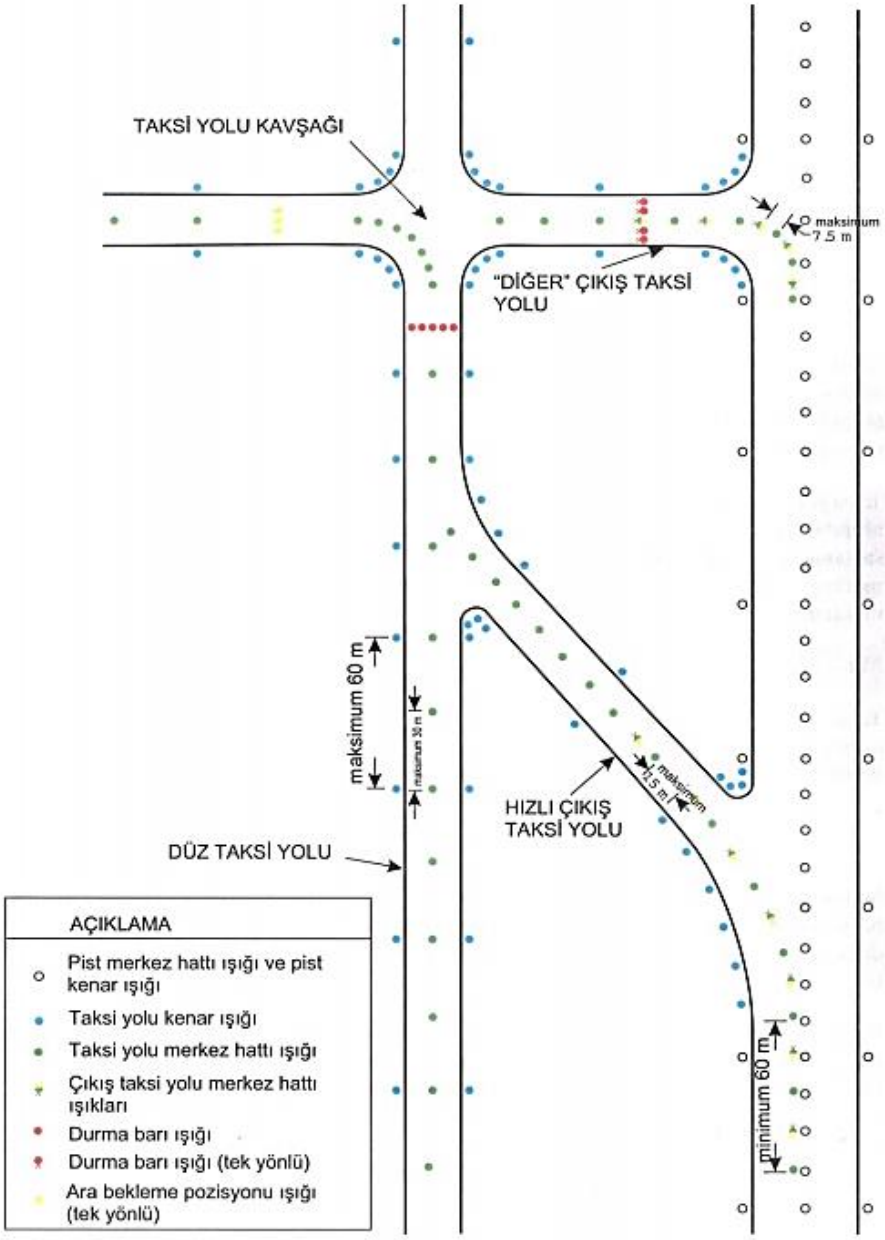
(a) Yer Üstü Tip (b) Gömülü Tip

Şekil 3.14 Yer üstü ve gömülü tip taksi yolu kenar armatürü

3.1.7 Durma barı ışıkları (Stop bar lights)

Durma barı ışıkları; uçakların apron ve taksi yollarından piste geçişlerinde, pistin durumuna göre çıkışları düzenleyen ışıklardır.

Pist merkez hattı, pist kenar, durma barı, taksi yolu merkez ve kenar ışıklarının konumlandırılması Şekil 3.15'de detaylı bir şekilde gösterilmektedir.



Şekil 3.15 Pist merkez hattı, pist kenar, durma barı, taksi yolu merkez ve kenar ışık yerleşimine ait şema

3.1.8 Pist yaklaşma ışıkları (Runway approach lights)

Pist yaklaşma ışıkları, yaklaşmakta olan uçağın aletli iniş şartlarından görerek iniş şartlarına geçişini sağlar. Görerek iniş şartlarında pilota pist merkez hattının belirlenmesinde rehberlik eden ve yükseklik algısının oluşmasını sağlayan ışıklardır (P.H. 2022).

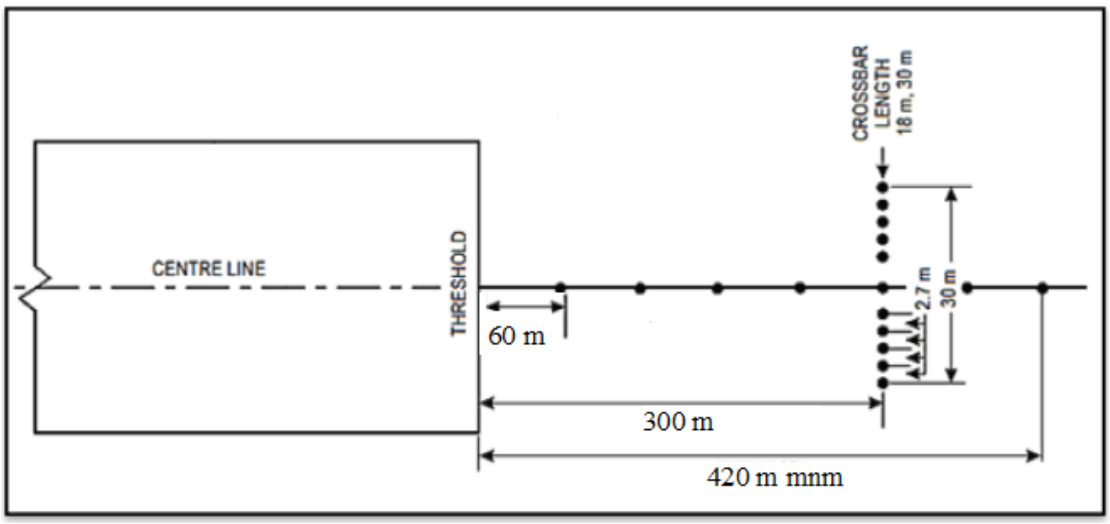
Yaklaşma ışıkları; basit yaklaşma ve hassas yaklaşma CAT I, II, III Calvert ve Baret sistemi olarak uygulanabilirler (DHMİ 2014).

Görerek yaklaşma yapılan pistleri aletsiz, alet yardımı ile yaklaşma yapılan pistleri aletli pist olarak adlandırabiliriz (SHGM 2016).

Aletli yaklaşma pistleri;

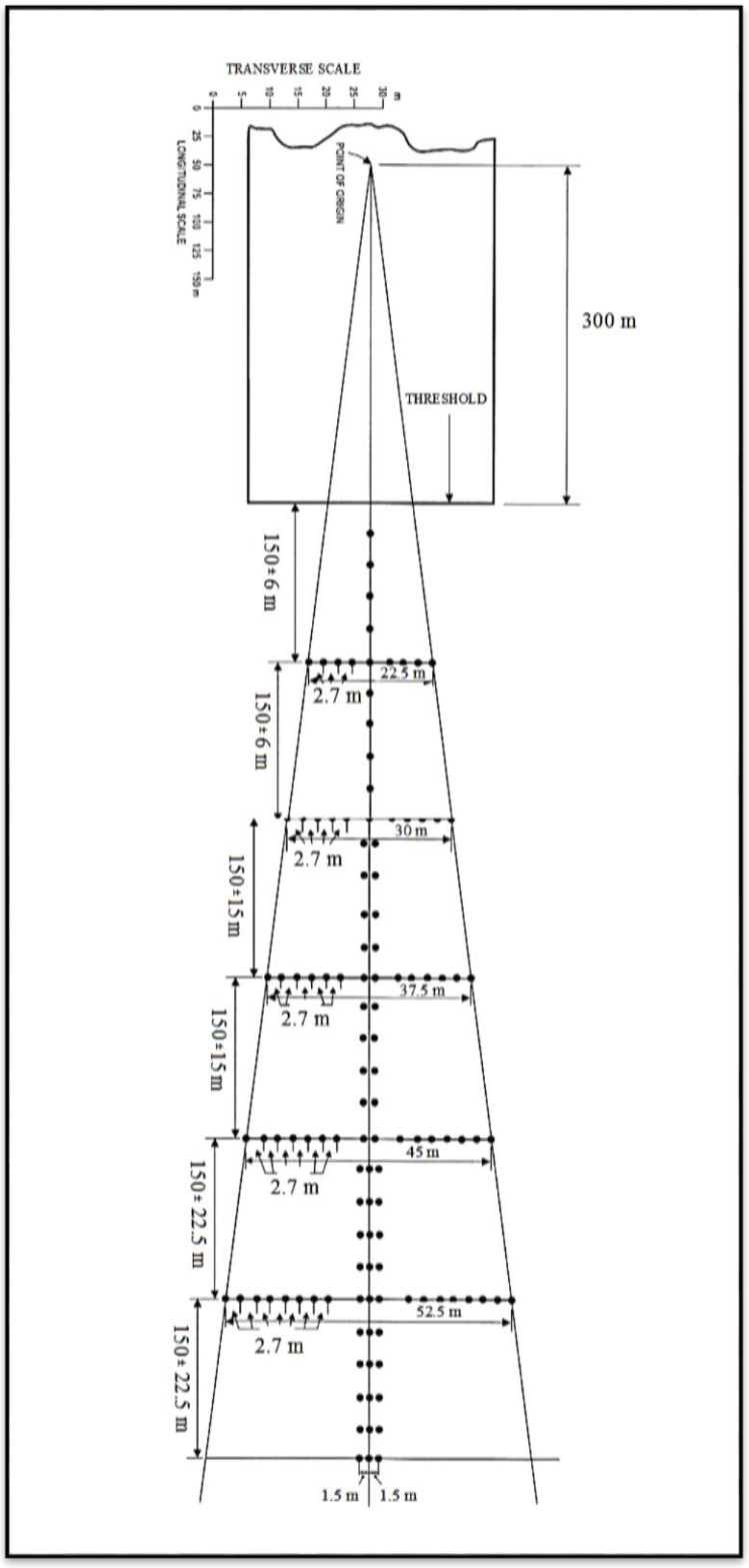
- Hassas olmayan yaklaşma pisti
- Kategori I (CAT I) hassas yaklaşma pisti
- Kategori II ve III (CAT II ve III) hassas yaklaşma pisti olarak sınıflandırılmaktadır.

Basit yaklaşma ışıklarına ait şema Şekil 3.16'da sunulmuştur.



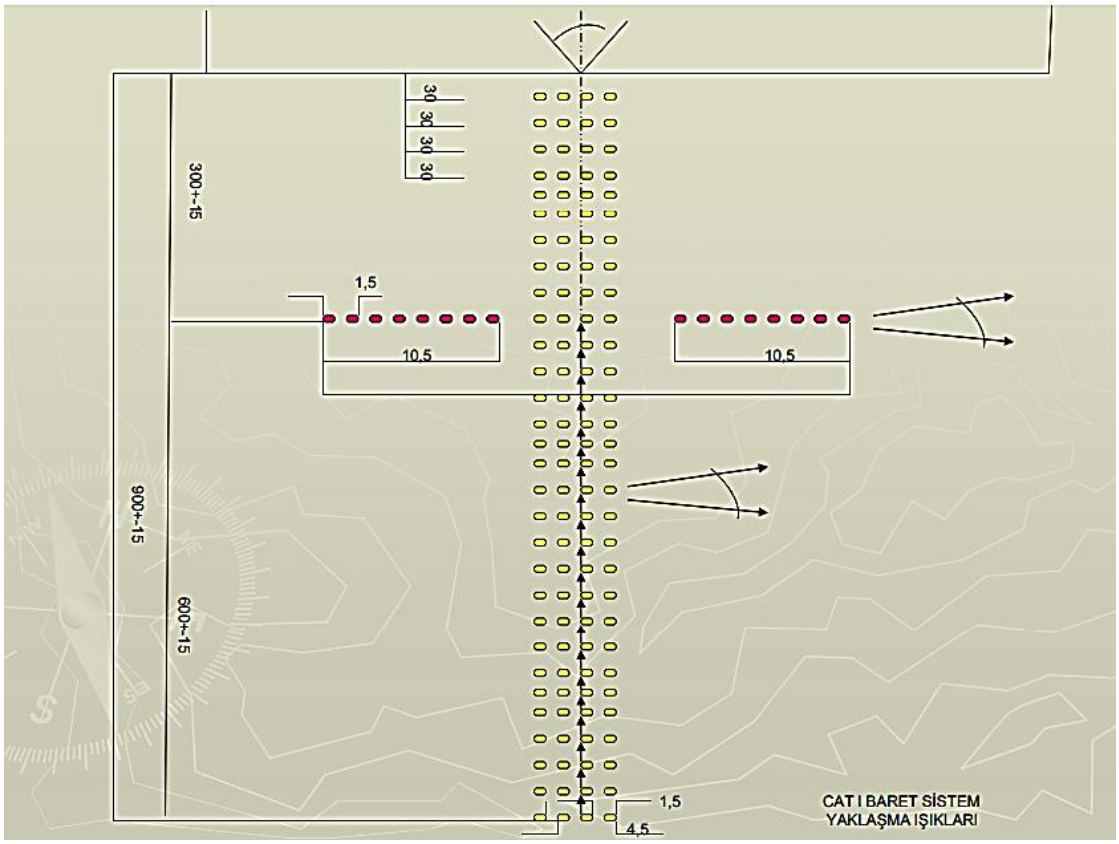
Şekil 3.16 Basit yaklaşma ışıkları (Annex-14, 2018)

Hassas yaklaşma CAT I Calvert sistemine ait şema Şekil 3.17'de verilmiştir.



Şekil 3.17 Hassas yaklaşma CAT I Calvert Sistemi

Hassas yaklaşma CAT I Baret Sistemine ait şema Şekil 3.18'de görülmektedir.



Şekil 3.18 Hassas yaklaşma CAT I Baret Sistemi

3.1.9 Pist konma bölgesi ışıkları (Runway touchdown zone lights)

Pist konma bölgesi ışıkları, pist eşik ışıklarından itibaren 900 m boyunca konumlandırılan en az üç ışıktan oluşan baret şeklinde tek yönlü beyaz ışıklar olup, piste iniş yapan pilota tekerleklerini ilk koyacağı alanı tanımlamak amacıyla kullanılmaktadır.

Şekil 3.19'da pist konma bölgesi armatürü verilmiştir.



Şekil 3.19 Pist konma bölgesi armatürü

3.1.10 Papi ışıkları (Precision approach path indicator)

Papi ışıkları, fiziken yapılabilmesi imkansız olmadıkça pistin sol tarafına monte edilebilen 4 adet lambadan oluşan bir kanat barından oluşmaktadır. Piste iniş yapmakta olan uçağın süzülüş açısını bulmasına yardım eder. Pilotun göreceği kanat bar ünitelerinin renklerine göre süzülüş açısını ayarlar.

- Yaklaşma eğiminin yakınlarında ise, kanat barındaki iki üniteyi kırmızı iki üniteyi beyaz,

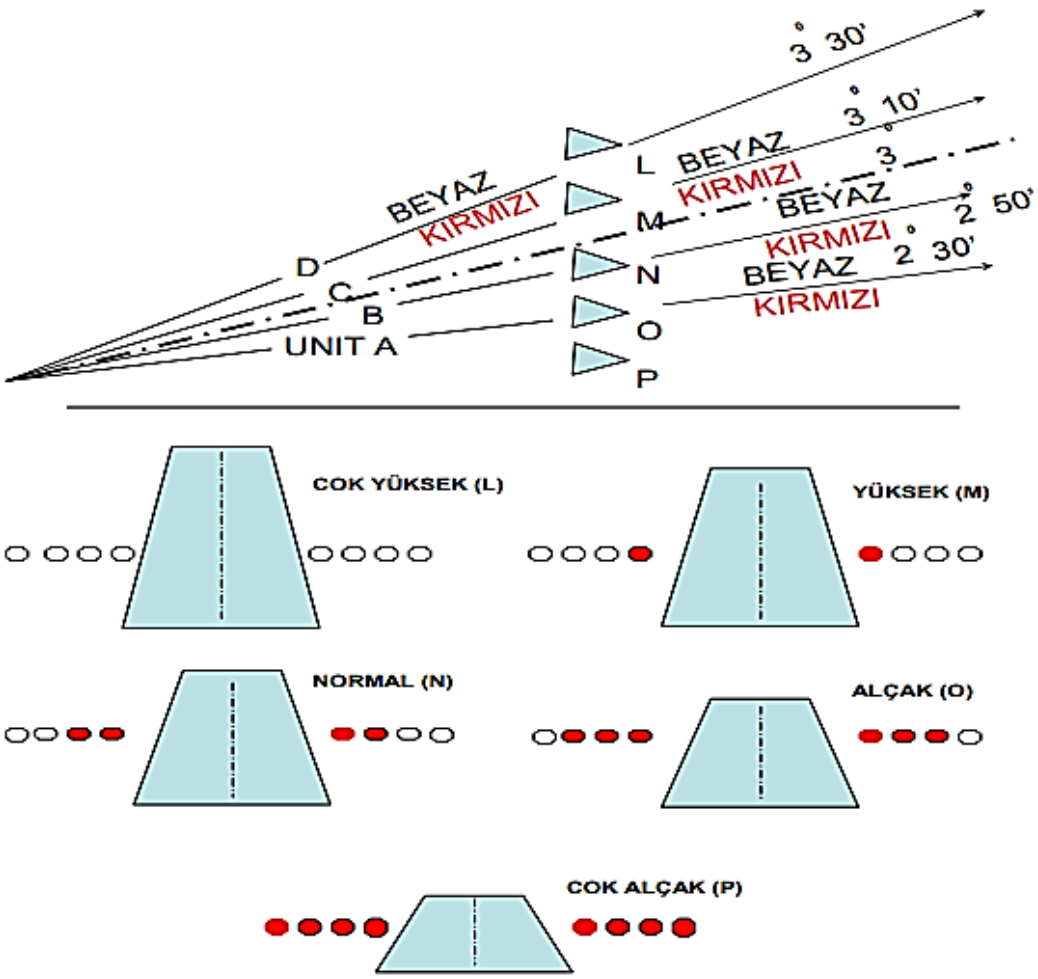
- Yaklaşma eğiminin üzerinde ise, üç üniteyi beyaz bir üniteyi ise kırmızı,

- Yaklaşma eğiminin çok üzerindeyse dört üniteyi de beyaz,

- Yaklaşma eğimin altında ise üç üniteyi kırmızı diğer bir üniteyi beyaz,

- Yaklaşma eğiminin çok altında ise dört üniteyi de kırmızı olarak görecektir.

Uçakların süzülüş açısına göre papi kanat barı ünitelerindeki renklerin gösterimi Şekil 3.20'de verilmiştir.



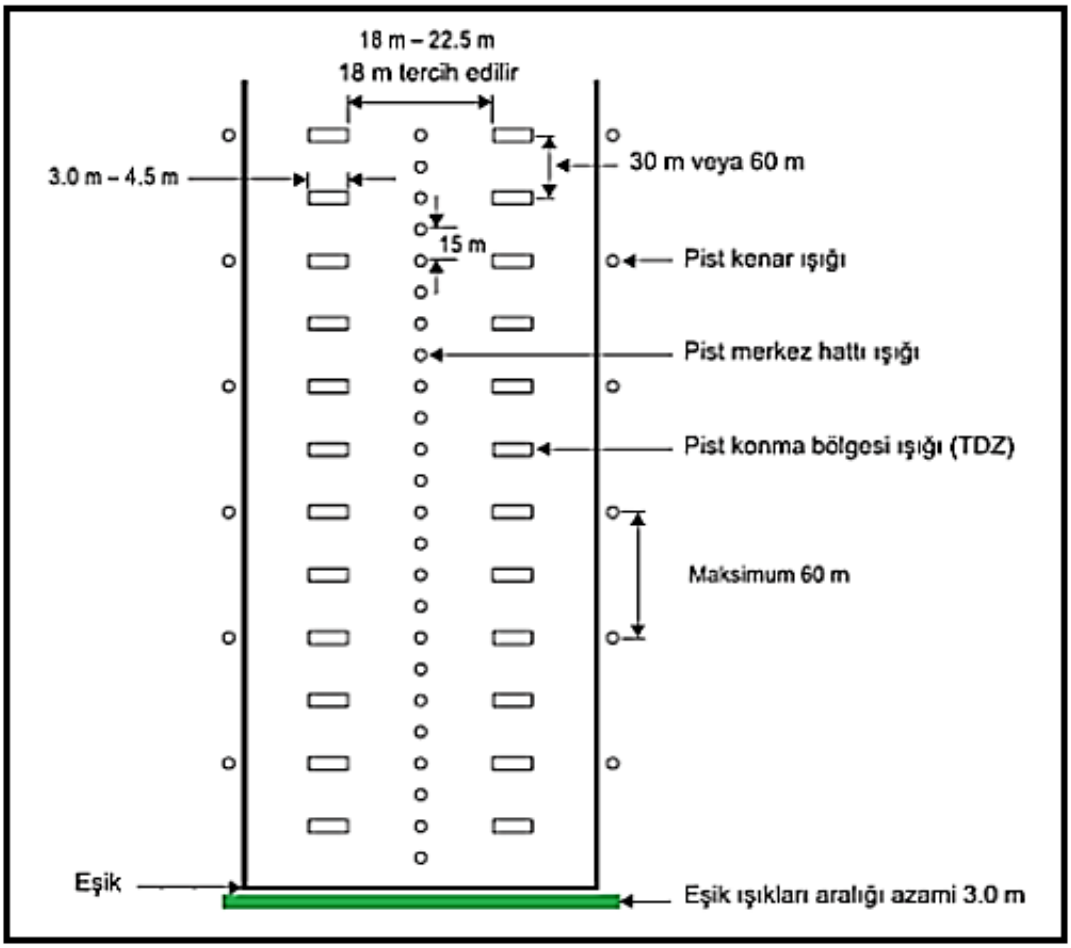
Şekil 3.20 Uçakların süzülme açılarına göre papi ünitelerinin renkleri

Şekil 3.21'de papi armatürü sunulmuştur.



Şekil 3.21 Papi armatürü

Pist aydınlatma armatürlerinin yerleşimi Şekil 3.22'de sunulmuştur.



Şekil 3.22 Pist aydınlatma armatürlerinin pist üzerindeki yerleşim şeması

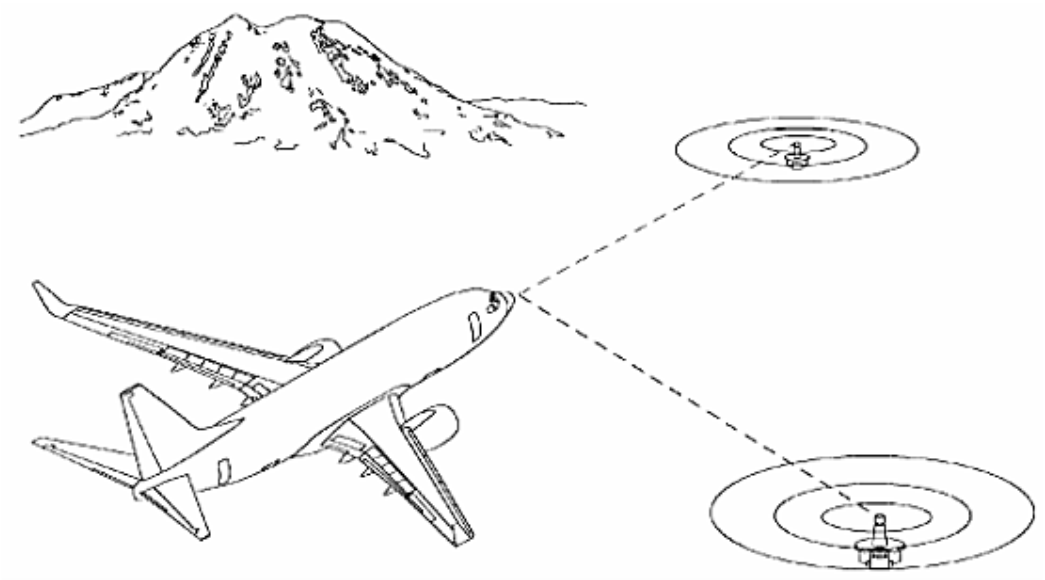
3.2 Havalimanlarında Kullanılan Seyrüsefer Sistemleri

Seyrüsefer sistemleri, pilotların bir yerden başka bir yere gidişlerinde yönlerini bulmalarına yardımcı olan sistemlerdir. Havalimanlarında VOR (VHF omnidirectional radio range), NDB (Non-directional radio beacon), ILS (Instrument landing system) ve DME (Distance measuring equipment) gibi farklı seyrüsefer yardımcıları kullanılmaktadır (DHMİ 2021). Bu sistemlerle ilgili kısa bilgiler aşağıda verilmiştir.

3.2.1 Vor (VHF Omnidirectional Radio Range)

Radyo seyrüsefer yardımcısı olan VOR sistemleri pilota açı bilgisi vermesi amacıyla kullanılmaktadır. VOR sistemleri aynı anda iki sinyal gönderir ve bu sinyaller arasındaki fark uçaktaki alıcı tarafından ölçülerek uçağın VOR istasyonuna göre yönü belirlenir (Ustaoğlu 2010).

Şekil 3.23'de VOR sistemine ait görsel sunulmuştur.



Şekil 3.23 Vor sistemi

3.2.2 Ndb (Non-Directional Radio Beacon)

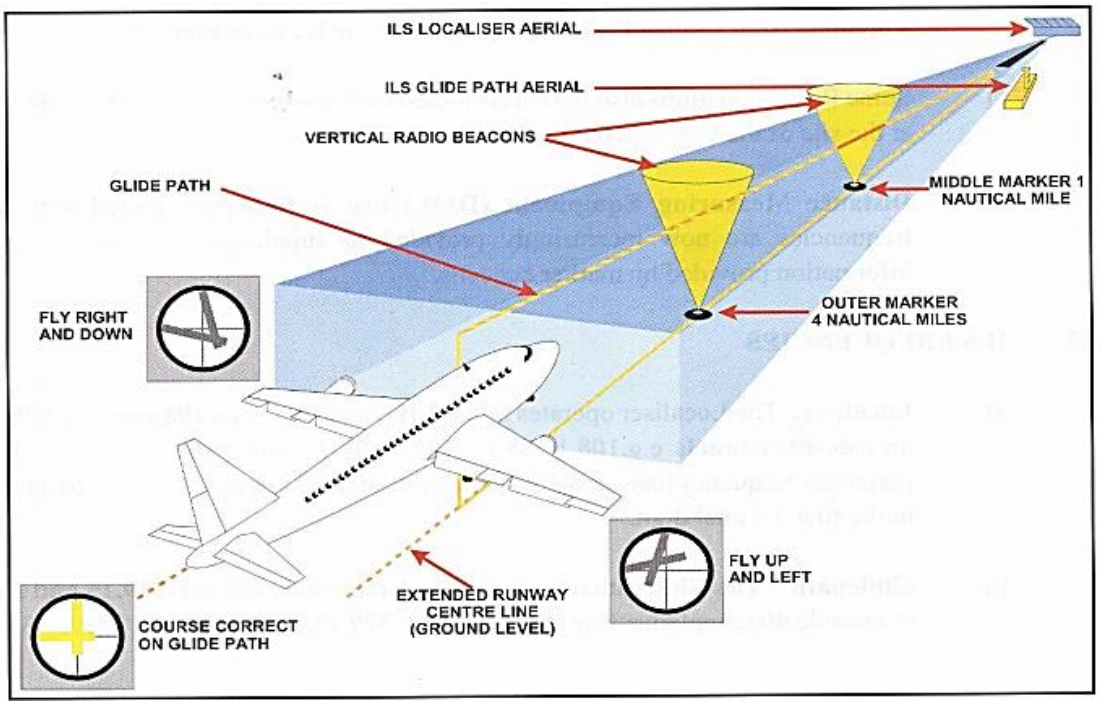
VOR sisteminin yedeği olarak kullanılan ancak günümüzde pek fazla tercih edilmeyen sistemlerdir.

3.2.3 ILS (Aletli İniş Sistemi)

ILS sistemleri, pist başına yerleştirilen vericiler vasıtası ile görüş şartlarının kötü olduğu koşullarda pilota kılavuzluk ederek uçağın piste güvenli bir şekilde yaklaşarak iniş

yapmasını sağlar. ILS sistemleri ile uçak otomatik pilota bağlanarak ya da manuel olarak piste hassas bir şekilde yaklaşabilmektedir. ILS sistemleri; localizer, glide path ve marker olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır.

Şekil 3.24'de ILS sistemindeki yaklaşma elemanlarının yerleşimi gösterilmektedir.



Şekil 3.24 ILS sistemi

3.2.4 Localizer

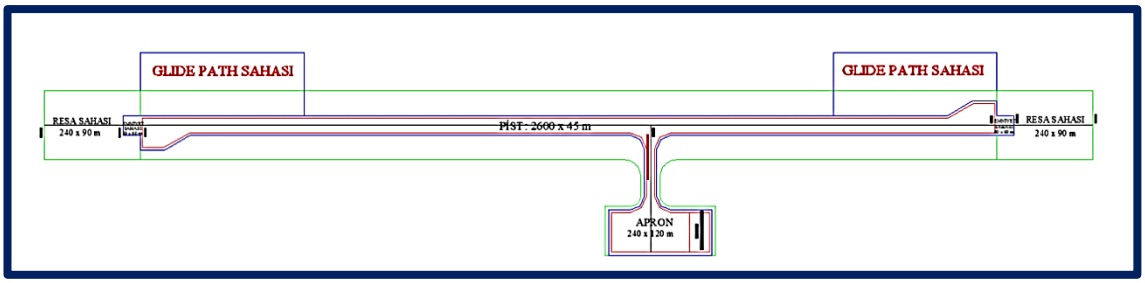
Localizer anteni uçağa yatay eksende rehberlik eder. Elektronik sinyaller aracılığıyla uçağı pist merkezine yönlendiren localizer anteni, pist sonundan itibaren ilk 200 - 360 m aralığına konumlandırılabilir (genelde 300 m). Şekil 3.25'de localizer antenlerine ait görsel sunulmuştur.



Şekil 3.25 Localizer antenleri

3.2.5 Glide path

Uçağa düşey eksende rehberlik eden glide path, uçağın uygun süzülüş açısı ile piste iniş yapmasını sağlayan bir sistemdir. Glide path, genellikle pist merkez hattının 120 – 150 m uzağında yer almaktadır. Localizer ile glide path birlikte çalışan sistemlerdir. Pilot gerek gördüğü durumlarda localizera bağlandığında, glide path de otomatik olarak devreye girerek uçağın piste emniyetli bir şekilde iniş yapmasını sağlar. Yozgat Havalimanı Altyapı İnşaatı İşi'ne ait vaziyet planında glide path sahası için ayrılmış alan Şekil 3.26'da sunulmuştur.



Şekil 3.26 Yozgat Havalimanı Glide path sahası

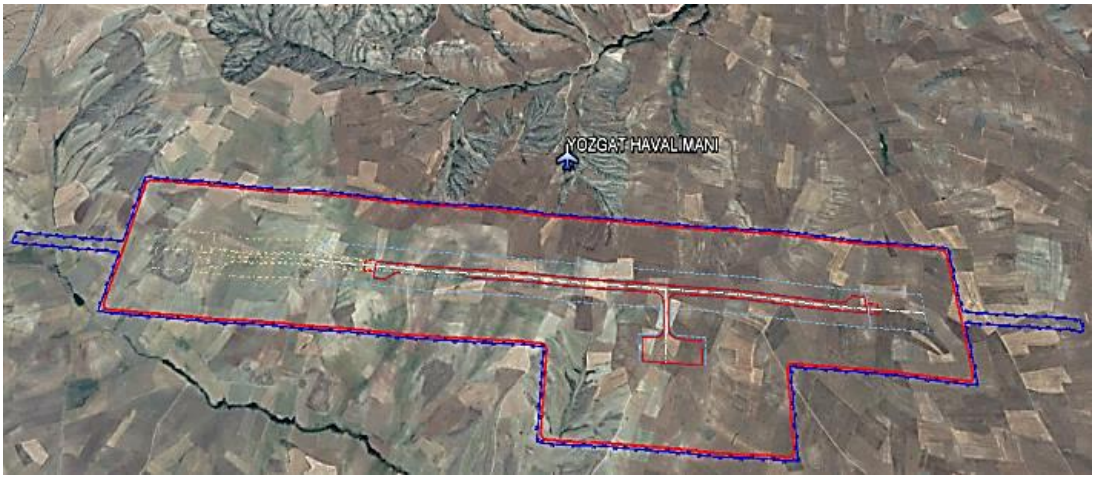
3.2.6 Marker

Yaklaşma yolu üzerinde bulunan markerler, piste hassas yaklaşmakta olan pilota pist başına ne kadar mesafe kaldığını belirtmek amacıyla kullanılırlar. İç marker, orta marker ve dış marker olmak üzere üç tane marker bulunmaktadır.

4. PV SİSTEMLERİN YOZGAT HAVALİMANINDA UYGULANABİLİRLİĞİ

"Yozgat Havalimanı Altyapı ve Müteferrik İşler İnşaatı İşi" Yozgat ili ve çevresinin hava ulaşım gereksinimini karşılamak üzere 2017 yılında Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığınca ihale edilmiştir. Yozgat Havalimanı, Yozgat şehir merkezine 15 km uzaklıkta bulunan Deremumlu – Fakıbeyli mevkiinde konumlandırılmak üzere 2018 yılında altyapı çalışmalarına başlanılmıştır (T.C.Y.V. 2021).

Yozgat Havalimanı'na ait uydu görüntüsü Şekil 4.1'de sunulmuştur (T.C.U.A.B. 2021).



Şekil 4.1 Yozgat Havalimanı vaziyet planı

Havalimanları güvenlik açısından oldukça geniş araziler üzerinde inşa edilirler. Yozgat Havalimanı'nda projeye göre 206.604 m² inşaat alanı bulunmaktadır (WIKIPEDIA 2021). Yozgat Havalimanı'nda 2600x45 m'lik pist, yaklaşık 20.000 m²'lik Terminal, 265x24 m Taksirut ve 300x120 m'lik Apron alanı mevcuttur.

Şekil 4.2'de Yozgat Havalimanı inşaatı taksi bağlantı yolu ve aprona ait görsel verilmiştir.



Şekil 4.2 Yozgat Havalimanı taksi bağlantı yolu ve apron

Şekil 4.3'de Yozgat Havalimanı pistin genel görünümüne ait fotoğraf verilmiştir.



Şekil 4.3 Yozgat Havalimanı pistin genel görünümü

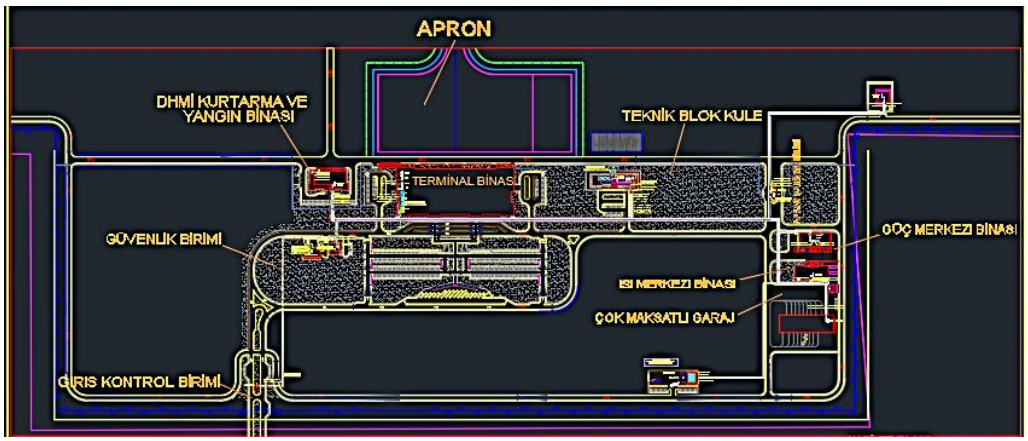
Yozgat Havalimanı'nın yapımının tamamlanmasıyla birlikte toplamda 32.000 m² lik kapalı alan ile yılda 2.000.000 yolcunun seyahat etmesi hedeflenmektedir.

Yozgat Havalimanı'nın genel görünümü Şekil 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.4 Yozgat Havalimanı genel görünümü

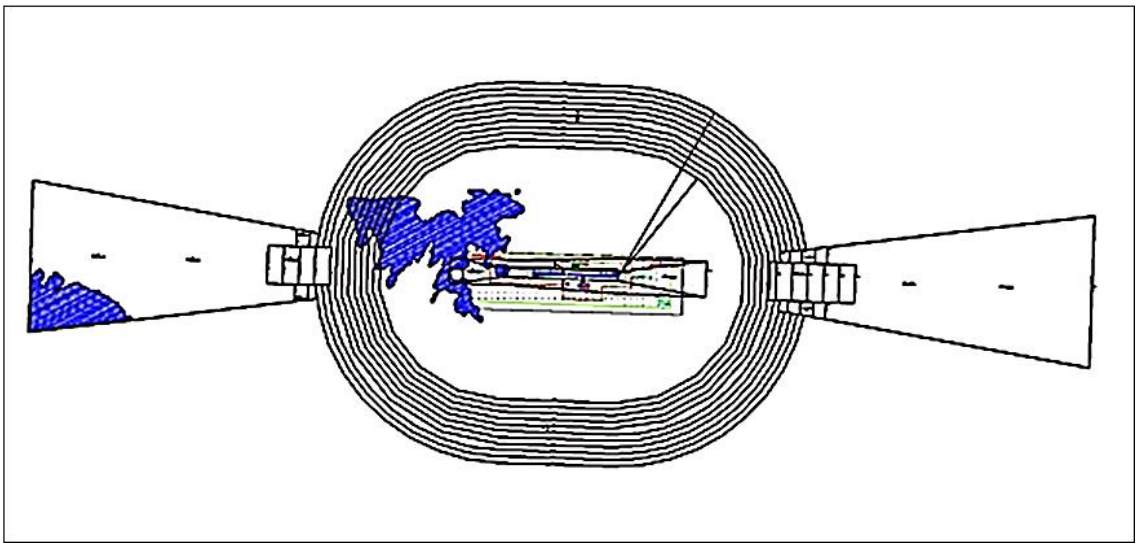
Yolcu konforunun sağlanabilmesi, hava araçlarının emniyetli bir şekilde iniş, kalkış ve yüzey hareketlerini yapabilmesi için belirli prosedürlere göre dizayn edilen havalimanlarında birçok tesis ve bina yer almaktadır. Yozgat Havalimanı Üstyapı Projesine göre, Yozgat Havalimanı'nda farklı amaçlara hizmet etmek üzere tasarlanan terminal binası, giriş kontrol birimi, güç merkezi, güvenlik binası, ısı merkezi, kurtarma ve yangın binası, regülatör binası, teknik blok kule, trafo binası, çok maksatlı garaj gibi birçok tesis yer almaktadır. Tesislerin yerleşiminin açıkça görülebileceği Yozgat Havalimanı Üstyapı Genel Yerleşim Planı Şekil 4.5'de verilmiştir.



Şekil 4.5 Yozgat Havalimanı üstyapı genel yerleşim planı

Yenilenebilir enerji kaynağının konuşlandırılacağı alanın havalimanının mania sınırlama yüzeyleri dikkate alınarak seçilmesi gerekmektedir.

Yozgat Havalimanı'nda yukarıda verilen bilgiler doğrultusunda hazırlanan mania planı Şekil 4.6'da sunulmaktadır.

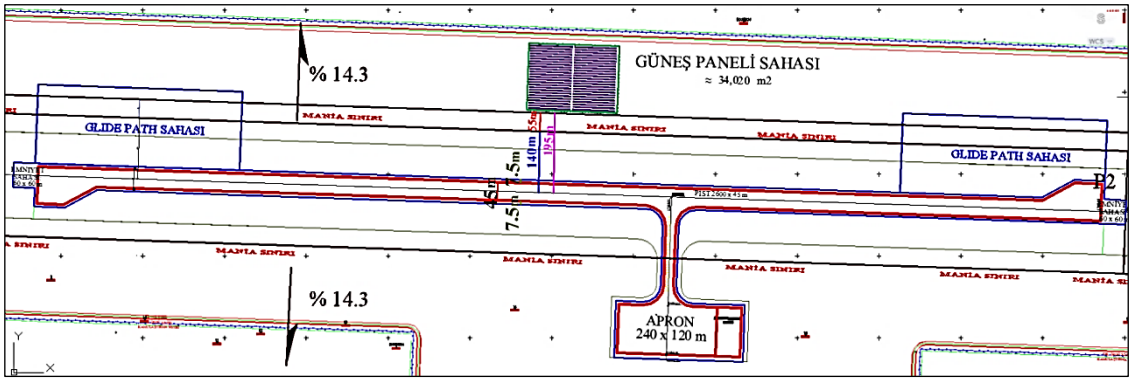


Şekil 4.6 Yozgat Havalimanı mania planı

Şekil 4.6'de gösterildiği gibi Yozgat Havalimanı'nda mania sınırlama yüzeyleri dışında kalan PV sistemlerin kurulumuna uygun alanlar belirlenmiştir. Yozgat Havalimanı'nda bulunan bu araziler yenilenebilir enerji kaynakları ile değerlendirilerek, havalimanının ihtiyaç duyduğu elektrik enerji ihtiyacının belli bir bölümünün karşılanması sağlanırken, çevre kirliliğine ve işletme maliyetine olumlu katkılarda bulunacaktır. Böylece buralardan elde edilecek enerji çevre kirliliğini ve işletme maliyetini de azaltacaktır.

Havalimanları işletmeye alındıktan sonraki dönemlerde, mevcut havalimanındaki gelişime göre pist uzatımına ya da yeni bir tesis kurulumuna ihtiyaç duyulabilmektedir. Bu durum Yozgat Havalimanı için göz önünde bulundurularak, planlanan güneş enerji sistemlerinin gelişim bölgesinin dışında konumlandırılması sağlanmıştır.

Havalimanlarında (SHT-HES) kriterlerine göre, pist merkez hattından sonraki 140 m'lik şerit saha boyunca yükselti bulundurulmaması gerekmektedir. 140 m'den sonra müsaade edilen toleranslara göre değerlendirilerek, tasarımı yapılan PV sistemlerin pist merkez hattından 160 m uzaklıkta mânia oluşturmadığı görülmüştür. Ancak; panel sahası riski azaltmak ve güvenliği artırmak amacıyla pist merkez hattının 195 m ilerisinden başlayacak şekilde yerleştirilmiştir. Yozgat Havalimanı için tasarlanan güneş enerji sisteminin proje üzerindeki yerleşimi Şekil 4.7'de sunulmuştur.



Şekil 4.7 Yozgat Havalimanı güneş paneli sahası

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından Türkiye'deki güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti miktarı hesaplanmıştır. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA)'ya göre, ortalama toplam ışınım şiddetinin 1.527,46 kWh/m² (ortalama günlük toplam ışınım şiddetinin 4,18 kWh/m²) olduğu görülmüştür (T.C.E.T.K.B. 2021).

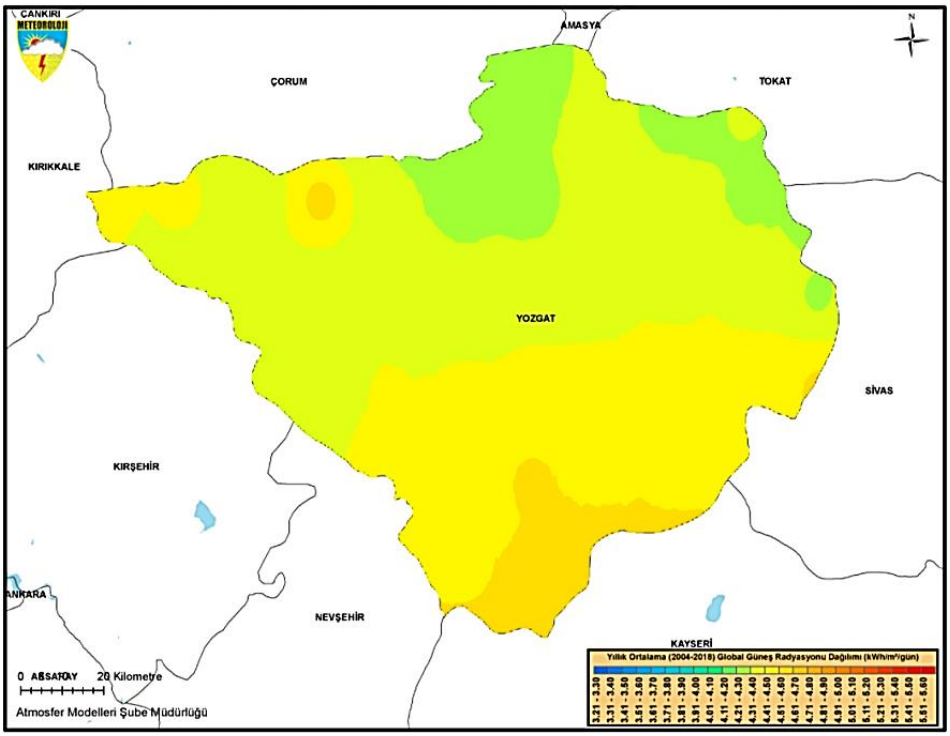
T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli Atlasındaki verilere göre, Yozgat İli güneş enerji sistemlerinin kurulumu için yeterli ışınım ve radyasyon miktarını karşılamaktadır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün yayınladığı Yozgat İli'nin yıllık aldığı yağış miktarı, güneşlenme süresi, yağışlı gün sayısı Şekil 4.8'de verilmiştir.

YOZGAT	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
	Ölçüm Periyodu (1929 - 2020)												
Ortalama Sıcaklık (°C)	-1.8	-0.6	3.1	8.4	13.1	16.7	19.6	19.7	15.9	10.8	5.0	0.6	9.2
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	2.1	3.7	8.1	14.0	18.8	22.7	26.0	26.4	22.6	17.0	10.3	4.5	14.7
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-5.3	-4.6	-1.5	3.2	7.4	10.5	12.9	13.0	9.4	5.3	0.7	-2.7	4.0
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.0	4.1	5.2	6.4	8.0	9.7	10.9	10.5	8.8	6.5	4.8	3.0	6.7
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	11.9	11.5	12.8	13.3	14.8	10.1	3.5	3.0	4.7	8.1	9.4	12.7	115.8
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	67.1	60.2	67.4	58.3	66.8	44.8	12.6	11.5	18.2	33.9	53.6	75.9	570.3
	Ölçüm Periyodu (1929 - 2020)												
En Yüksek Sıcaklık (°C)	15.4	18.5	25.0	29.5	31.4	33.1	38.8	37.4	35.4	30.1	22.9	18.2	38.8
En Düşük Sıcaklık (°C)	-23.7	-24.4	-20.6	-12.6	-3.0	-0.4	3.0	3.7	-2.4	-6.8	-18.5	-20.2	-24.4

Şekil 4.8 Yozgat İli'nin 1929-2020 yılları arasındaki istatistik verileri (MGM 2021)

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün resmi sayfasında yer alan Yozgat İli'ne ait istatistik verilere göre, Yozgat İli'nin yıllık toplam güneşlenme süresi 2.465,90 saat olarak kabul edildiğinde ortalama günlük güneşlenme süresinin 6,75 saat olduğu sonucuna varılmıştır.

Yozgat İli'ne ait güneş radyasyon haritası Şekil 4.9'da verilmiştir.

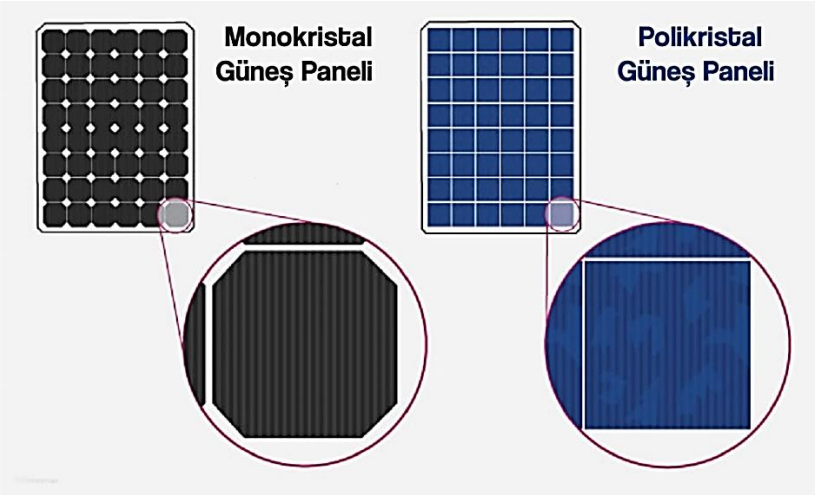


Şekil 4.9 Yozgat İl'i güneş radyasyon haritası (MGM 2021)

Yozgat Havalimanı'nın yapımı tamamlandığında yaklaşık 4.000.000 kWh enerjiye gereksinim duyulacağı öngörülmüş, bu ihtiyacın 3.500.000 kWh'lik kısmının güneş panellerinden, geri kalan ihtiyacın ise şebekeden sağlanması planlanmıştır. Havalimanı tamamlanıp işletmeye alındığında, ihtiyaca göre kullanılacak enerji miktarı değişebilecektir.

Yozgat Havalimanı'ndaki güneş enerji santrali yaklaşık olarak 35 dönümlük bir alan üzerinde planlanmıştır. Polikristal güneş panellerine göre monokristal güneş panellerinden daha fazla verim elde edilebildiği için Yozgat Havalimanı'nda monokristal güneş paneli tercih edilmiştir.

Monokristal ve polikristal güneş paneline ait görsel Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10 Monokristal ve polikristal güneş paneli (E.G. 2022)

Yozgat Havalimanında kullanılması tasarlanan PV sistemlerin karakteristik özellikleri Çizelge 4.1'de sunulmuştur.

Çizelge 4.1 Yozgat Havalimanı'nda kullanılması tasarlanan fotovoltaik modülün karakteristik özellikleri

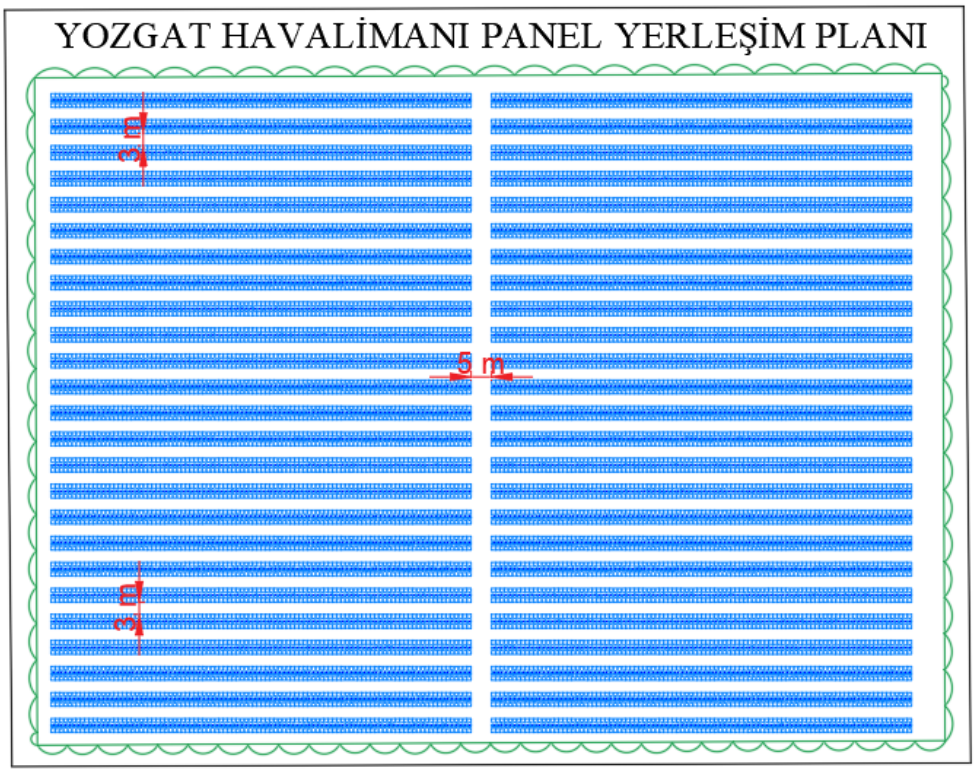
PV Modülün Karakteristik Özellikleri	
PV hücre tipi	Monokristal
PV gücü (W)	330W
PV hücre boyutu (mm)	1.668x1.007x35
PV sayısı (Adet)	5.000
Toplam PV kurulu gücü (kW)	1.650
PV verimliliği (%)	0,18
Maksimum güç akımı (A)	9,68
Maksimum güç voltajı (V)	34,11
PV hücresinden üretilen toplam enerji (kWh)	3.660,000

Yozgat Havalimanı'nda yıllık üretilmesi öngörülen 3.500.000 kWh'lik enerji, 1650 kW kurulu güçte 5.000 adet 330 W 'lık monokristal güneş paneli ile sağlanmıştır. Panel yüzeyleri güneye bakacak şekilde 30°lik açı ile dizayn edilmiştir. Projede kullanılması planlanan panellerin sayısı, gücü, adedi ve toplamda elde edilecek kurulu güç Çizelge 4.2'de sunulmaktadır.

Çizelge 4.2 Yozgat Havalimanı'nda toplam panel ihtiyacının belirlenmesine ait elde edilen sayısal değerler

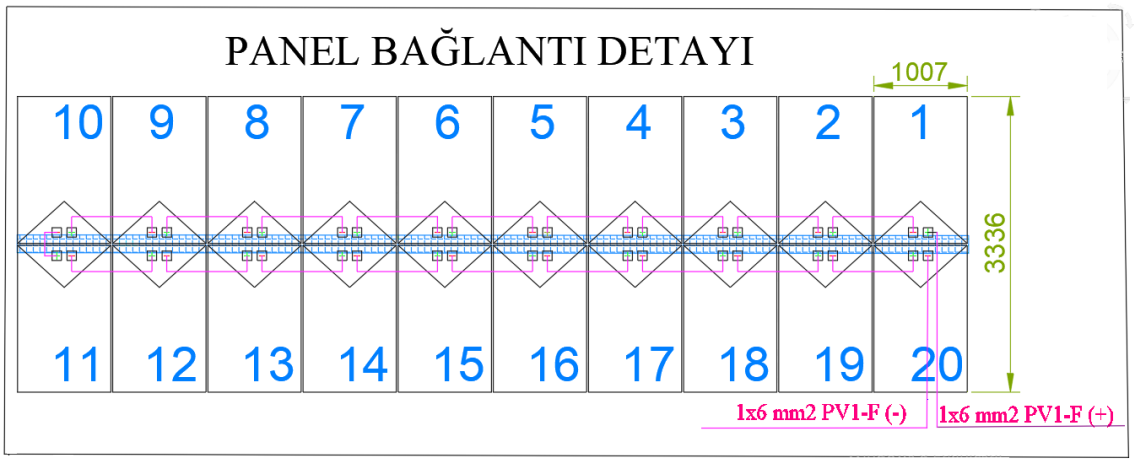
TOPLAM GÜNEŞ PANELİ İHTİYACININ BELİRLENMESİ	
PV kurulması planlanan alan	35 dönüm
PV gücü (W)	330
PV sistemin verimliliği (%)	0,9
PV sayısı (Adet)	5000
Toplam PV kurulu gücü (kW)	1.650
Yıllık üretilecek elektrik enerjisi (kWh)	3.660.000
Ortalama günlük güneşlenme süresi (saat/gün)	6,75
Güneş panelinin eğim açısı	30°

Yozgat Havalimanı'nda ihtiyaç duyulan enerjiye göre kullanılan güneş panellerinin, proje üzerinde yerleşimi verilmiştir (Şekil 4.11). Öncelikle hücrelerin bir araya gelerek oluşturduğu modüller birbirlerine seri olarak bağlanmıştır. Seri bağlı modüllerin paralel olarak bağlanması ile de güneş enerji santrali oluşturulmuştur.



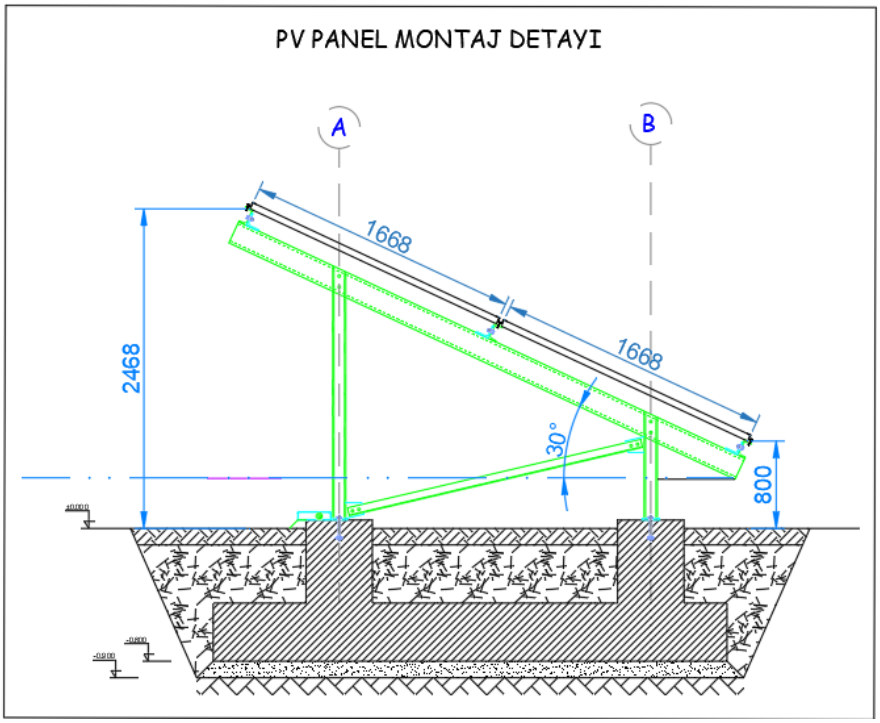
Şekil 4.11 PV hücrelerin yerleşim planı

Yozgat Havalimanı güneş paneli bağlantı detayı Şekil 4.12'de sunulmuştur.



Şekil 4.12 Panel bağlantı detayı

Şekil 4.13’de panel montaj detayı verilmiştir.



Şekil 4.13 PV panel montaj detayı

Yozgat Havalimanı için yıllık üretilecek güç hesaplanarak Çizelge 4.3'de sunulmuştur.

Çizelge 4.3 Yozgat Havalimanı PV sistem güç hesabı

YOZGAT HAVALİMANI GÜÇ HESABI						
AYLAR	KURULU GÜÇ (kW)	SİSTEM VERİMİ (%)	ELDE EDILEN GÜÇ (kW)	GÜN SAYISI	GÜNEŞLENME SÜRESİ/SAAT	ÜRETİLEN ENERJİ (kWh)
Ocak	1.650	0,9	1.485,00	31	3,0	138.105,00
Şubat	1.650	0,9	1.485,00	28	4,1	170.478,00
Mart	1.650	0,9	1.485,00	31	5,2	239.382,00
Nisan	1.650	0,9	1.485,00	30	6,4	285.120,00
Mayıs	1.650	0,9	1.485,00	31	8,0	368.280,00
Haziran	1.650	0,9	1.485,00	30	9,7	432.135,00
Temmuz	1.650	0,9	1.485,00	31	10,9	501.781,50
Ağustos	1.650	0,9	1.485,00	31	10,5	483.367,50
Eylül	1.650	0,9	1.485,00	30	8,8	392.040,00
Ekim	1.650	0,9	1.485,00	31	6,5	299.227,50
Kasım	1.650	0,9	1.485,00	30	4,8	213.840,00
Aralık	1.650	0,9	1.485,00	31	3,0	138.105,00
Toplam						3.661.861,50

Yapılan araştırmalar neticesinde 1 MW kurulu gücün bedeli yaklaşık olarak 900.000,00 $ olduğu görülmüştür. Buna göre, Yozgat Havalimanı için yapılması öngörülen 1.650 kW kurulu gücün maliyetinin ise 1.485.000,00 $ olduğu bununda 20.092.050,00 TL'ye tekabül ettiği görülmektedir. (Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası'nın 11.02.2022 tarihindeki dolar kuru 13,53 TL olarak alınmıştır.)

Yozgat Havalimanı GES maliyet hesabı Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4 Ges maliyet hesabı

GES MALİYET HESABI			
KURULU GÜÇ (kW)	1MW GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEM BEDELİ ($)	KURULU GÜÇ BEDELİ ($)	AMORTİSMAN SÜRESİ (yıl)
1.650	900.000,00	1.485.000,00	4,43

Bazı havalimanlarındaki enerji alım fiyatları incelenmiş olup; 1 kWh bedelinin ortalama 1,24 TL olduğu görülmüştür. Döviz cinsine çevrildiğinde, üretilecek toplam enerji bedeli 335.432,373 $ olarak hesap edilmiştir.

- Yozgat Havalimanı'nda yılda üretilmesi planlanan enerji bedeli:

  335.432,373 $ = 4.538.400,00 TL olmaktadır.

Yozgat Havalimanı yıllık üretilen enerji bedeli Çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.5 Yozgat Havalimanı yıllık üretilen enerji bedeli

YILLIK ÜRETİLEN ENERJİ BEDELİ				
KURULU GÜÇ (kW)	YILLIK ÜRETİLEN (kWh)	kWh BEDELİ (TL)	TL TUTARI	$ TUTARI
1.650	3.660.000	1,24	4.538.400,00	335.432,373

Yozgat Havalimanı'nda kurulması tasarlanan güneş enerji sistemlerinin yaklaşık 30 yıl kullanım ömrü olduğu göz önünde bulundurulduğunda, sistemin kendisini yaklaşık 4,5 yılda amorti edeceği yapılan hesaplamalar neticesinde tespit edilmiştir. Santralin kurulumunun işletme için ekonomik olacağı sonucuna varılmıştır.

Güvenliğin ön planda tutulduğu havalimanlarında bazı kısıtlamaların tanımlandığı uçuş emniyeti yönetmelikleri bulunmaktadır. Havalimanlarında uygulanması planlanan bazı yenilikler, bu kısıtlamalar göz önünde bulundurularak değerlendirilmelidir. Havalimanlarında PV sistemler ile kaplı alanlarda; parıltı ve parlama, fiziksel penetrasyon, elektromanyetik dalga, PV parçalarının ayrılması ve yaban hayatı en çok karşılaşılan riskler arasındadır. Yozgat Havalimanı için güneş enerji sistemlerinin kullanımı ile ilgili potansiyel riskler ve çözüm önerileri sunulmuştur.

4.1 Parıltı ve Parlama Riski

Parlama sürekli olarak devam eden parlak ışık kaynağı, parıltı ise anlık ışık parlaması olarak ifade edilmektedir. Havalimanlarında kullanılan PV sistemlerden yansıyan güneş ışınları, pilotları ya da hava trafik kontrollerini görsel olarak etkileyebilmektedir. Bu nedenle PV sistemler, tesis edilirken hava trafiğinin kontrol edilmesine engel olmayacak şekilde konumlandırılarak, parıltı ve parlamayı önleyecek bazı tedbirlerin alınması tavsiye edilmektedir (Mostafa *et al*. 2016a, Mostafa *et al*. 2016b).

Yozgat Havalimanı için tasarlanan güneş enerji sistemleri pist merkez hattından 195 m ileriye planlanmış olup; tavsiye edilen önlemler alınarak dizayn edildiğinde güneş enerji santralından dolayı oluşabilecek parıltı ve parlama riski kabul edilebilir seviyede olacağı düşünülmektedir. Yozgat Havalimanı'nda PV sistemlerin parlama ve parıltı riski için kurulumu esnasında dikkate alınması gereken hususlar aşağıda belirtilmiştir.

- Havalimanında Federal Havacılık Kurulu (FAA) tarafından geliştirilen Güneş Parlama Tehlikesi Analiz Aracı (SGHAT) kullanılmalıdır. Kullanılacak SGHAT aracı ile güneş panellerin üreteceği parlama yoğunluğu belirlenmelidir. 20.000 cd/m² değerin altındaki parlama yoğunluğunun uçuş güvenliğini tehlikeye atmayacağı ve kabul edilebilir seviyede olduğu düşünülmektedir.

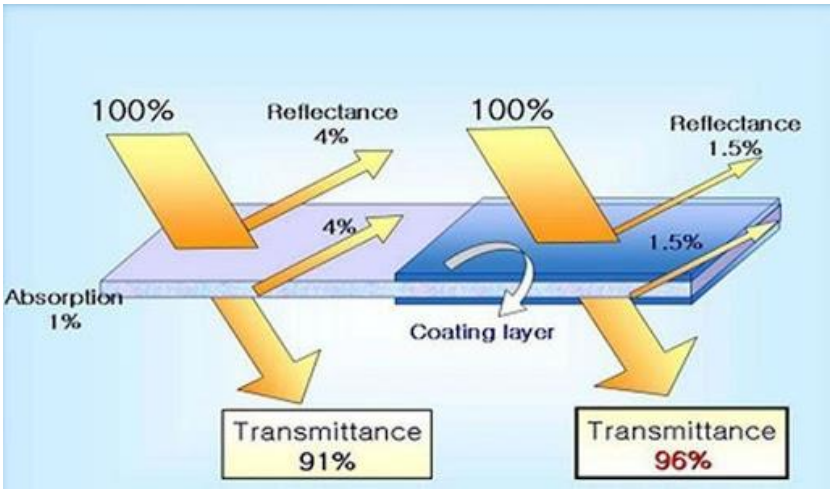
- Güneş enerji santrali, piste doğru alçalmakta olan pilotu ve hava trafik kontrolörlerini görsel olarak etkileyeceği için pist başına veya yaklaşma koridoruna yerleştirilmemelidir.

- PV sistemler pilotu görsel olarak etkileyecek bir açıyla yerleştirilmemelidir.

- Panel yüzeyi pürüzlendirilip, yansıyan ışığın yüzeye geri dönmesi sağlanarak yansıma azaltılmalıdır.

- Panel yüzeyinde koyu renkli, ışığı emen malzemeler kullanılmalıdır.

- Panel yüzeyleri yansıma önleyici kaplama ile kaplanmalıdır. Yansıma önleyici kaplama kullanılmış panel parametreleri Şekil 4.14'de görülmektedir.



Şekil 4.14 Yansıma önleyici kaplama kullanılmış panel (CNBM 2021)

4.2 Elektromanyetik Dalga Riski

Havalimanlarında uçakların seyrüseferlerini ve inişlerini emniyetli bir şekilde tamamlayabilmeleri için seyrüsefer yardımcı sistemleri kullanılmaktadır. Seyrüsefer yardımcı sistemleri; ILS (Aletli İniş Sistemi), NDB (Yönsüz Radyo İşaretçisi), VOR (VHF Çok Yönlü Radyo Menzili), DME (Mesafe ölçme cihazı) gibi hassas ve kritik

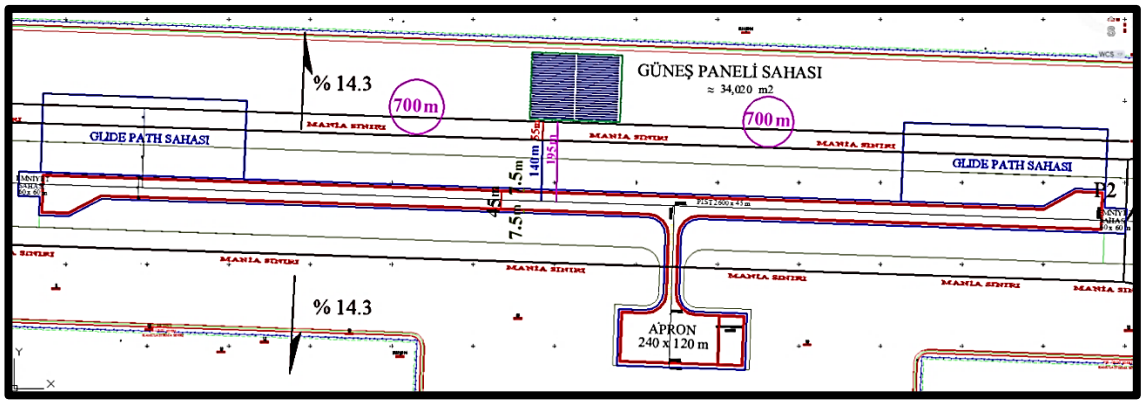
ekipmanlardan oluşmaktadır. Radar sinyallerinin havalimanında kurulması planlanan PV sistemlerdeki metal bileşenlerinden yansıması elektromanyetik dalga riski oluşturmaktadır. Havalimanlarında PV sistemlerden dolayı sinyallerinin bozulması veya kaybolması önemli bir havacılık sorununa yol açacaktır. Ancak; PV sistemler düşük yükseklikliere sahip oldukları için radar sinyaline engel olabilecek kadar uzun mesafede elektromanyetik dalga yayamazlar (Mostafa *et al*. 2016a, Mostafa *et al*. 2016b, Yıldız *et al*. 2020).

Elektromanyetik dalga riskini önlemek için, havalimanlarında PV sistemlerin kurulumu esnasında göz önünde bulundurulması gereken hususlar aşağıda belirtilmiştir (Mostafa *et al*. 2016b).

- PV sistemlerde korumalı çerçeve ve yeraltı kablosu kullanılarak elektromekanik uyumluluk sağlanmalıdır.

- Sinyal karışıklığını önlemek için, güneş enerji santrali ile mevcut seyrüsefer yardımcı sistemleri arasında 250-500 feet'lik bir mesafe bırakılmalıdır.

Yozgat Havalimanı Altyapı İnşaatı İşi bünyesindeki projede yer alan mevcut glide path sahası ile güneş enerji santrali arasında 700 m olacak şekilde PV sistemlerin yerleşimi yapılmıştır. Yozgat Havalimanı'ndaki glide path sahasına göre PV sistemlerin yerleşimi Şekil 4.15'de sunulmuştur.

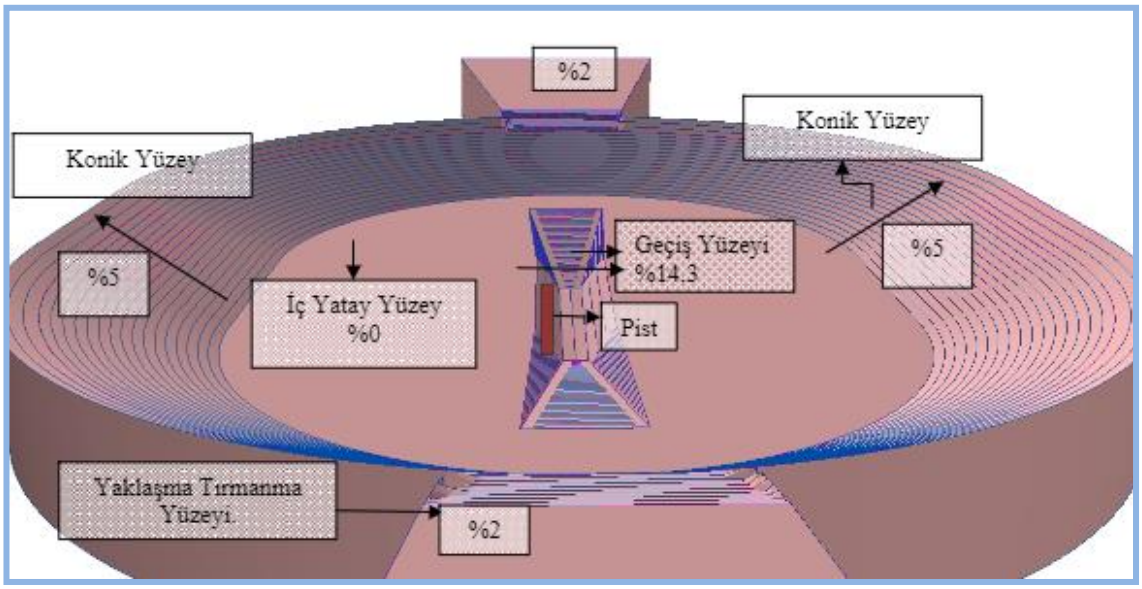


Şekil 4.15 Yozgat Havalimanı PV sistemlerin glide path sahasına göre yerleşimi

Yozgat Havalimanı için Şekil 4.15'de gösterildiği gibi yerleşim yapıldığında ve tavsiye edilen önleyici tedbirler alındığında elektromanyetik dalga riskinin kabul edilebilir seviyede olacağı yapılan araştırmalar neticesinde görülmüştür.

4.3 Fiziksel Penetrasyon Riski

Havalimanı etrafındaki yüksek yapılaşmalar ve hareketli cisimler seyrüseferini gerçekleştiren uçaklar için risk oluşturmaktadır. Bu yapılaşmaların kaza riski oluşturmadan hava sahasına taşabileceği sınırlar Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan "Havaalanı Tasarımı ve İşletimi" kitabında belirtilmiştir. Konik yüzey, geçiş yüzeyi, iç yatay yüzeyi, şerit saha ve yaklaşma tırmanma yüzeyinden oluşan mânia sınırlama yüzeyleri, manialarn hava sahasına taşabileceği sınırları ifade etmektedir. Hava limanı ve etrafındaki yapılaşmalar vb. gibi cisimler burada belirtilen kriterlere uygun olması gerekmektedir Havalimanlarında kullanılan mania sınırlama yüzeyleri görsel olarak Şekil 4.16'da verilmiştir (Ulubay ve Varol 2012, Mutlu 2019).



Şekil 4.16 Havalimanları mania sınırlama yüzeyleri

Havalimanlarında kullanılan güneş enerji sistemleri de mania olarak tasvir edilmektedir. Ancak PV sistemler, mania teşkil etmeyecek kadar düşük yüksekliklere sahip olduğundan dolayı fiziksel penetrasyon oluşturmazlar (Yıldız vd. 2019).

Tasarımı yapılan PV sistemleri; Yozgat Havalimanı için hazırlanan mania planına göre (Şekil 4.6) hava sahasında taşabileceği sınırlar dikkate alınmış ve mania teşkil etmeyecek şekilde konumlandırılmış olup; fiziksel penetrasyon riski oluşturmadan kullanılabileceği yapılan araştırmalar neticesinde görülmüştür.

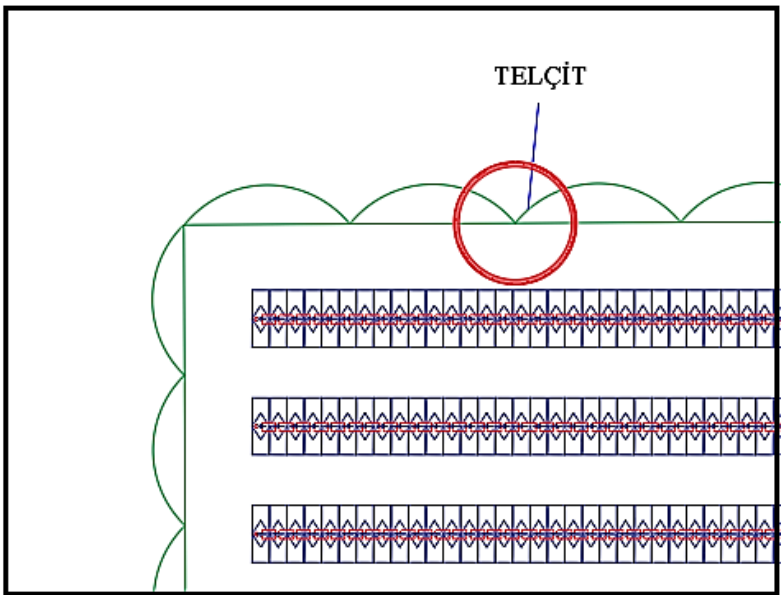
4.4 PV Sistemin Parçalarına Ayrılması Riski

Havalimanlarında kullanılan PV sistem parçalarının ayrılarak piste veya taksi yoluna sıçraması durumunda uçak kazalarına sebebiyet verebilir. Yozgat Havalimanı için tasarlanan güneş enerji sistemleri parçalarının ayrılması durumunda bir kazaya sebebiyet vermesini önlemek amacı ile yerleşim yaklaşma koridoru dışında seçilmiştir. Havalimanında PV sistemlerin kopması sonucu oluşabilecek kaza riskini önlemek amacı ile uygulanması tavsiye edilen bazı hususlar aşağıda belirtilmiştir.

- PV sistemler sabitlenmelidir.

- PV sistemdeki gevşek parçalar sık sık kontrol edilerek gevşeyen parçalara müdahale edilmelidir.

- PV sistemlerin birbirinden ayrılması durumunda parçacıkların piste sıçramasını önlemek için PV sistemlerin etrafı bariyer ya da tel çit ile çevrilmelidir (Sreenath *et al*. 2020b). Bu amaçla, Yozgat Havalimanı için tasarlanan PV sistemlerin etrafı Şekil 4.17'de gösterildiği gibi tel çit ile çevrilmiş ve riski azaltabilmek için pist merkez hattından 195 metre uzaklaştırılmıştır.



Şekil 4.17 PV sistemlerin çevresinde tel çit kullanımı

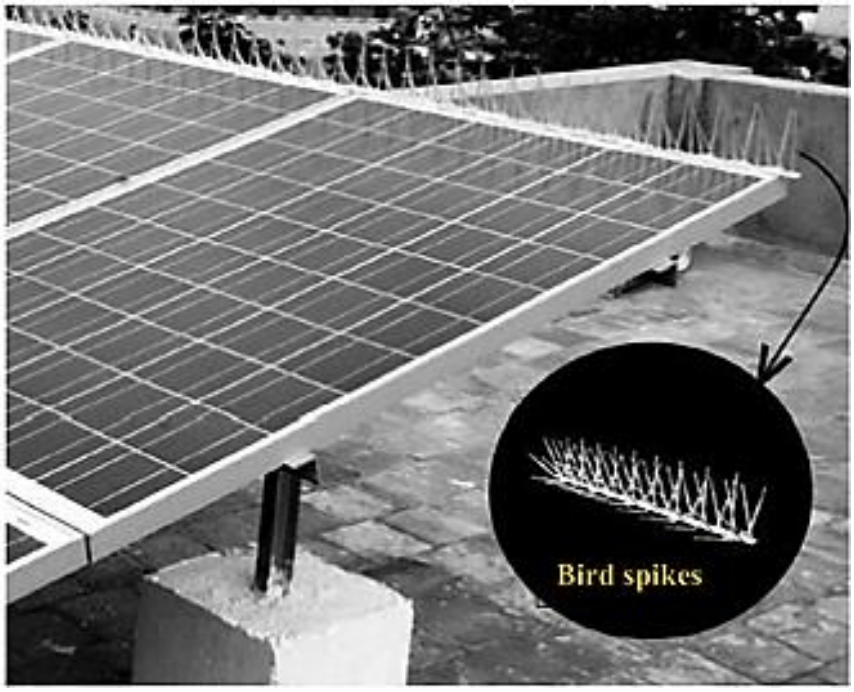
Yozgat Havalimanı'nda tavsiye edilen önleyici tedbirler alındığında PV parçalarının ayrılması riskinin kabul edilebilir seviyede olduğu yapılan araştırmalar neticesinde görülmüştür.

4.5 Yaban Hayatı Riski

Uçakların hareket alanlarında, hayvanların (kedi, köpek, tavşan, kuş) varlığının, özellikle kuşların yıllık göçü sırasında PV sistemlerini gölgelenmek için kullanmalarının havacılık için risk oluşturduğu bilinmektedir. Bunun önlenebilmesi amacı için alınabilecek bazı önlemler aşağıda belirtilmiştir (Mostafa *et al*. 2016b, Sreenath *et al*. 2020b).

- Kuşları PV panellerden uzaklaştırabilmek için, kuşların yıllık göçü süresince lazer ışığı kullanılarak sistemler caydırıcı hale getirilebilir.

- PV sistemlere metal sivri uçlar eklenerek kuşların panellerin altında tünemesi önlenebilir. PV sistemlerde kuş tünemesini önlemek için metal sivri uç kullanımı Şekil 4.18'de görülmektedir.



Şekil 4.18 PV sistemlerde kuş tünemesini önlemek için metal sivri uç kullanımı

PV panellerin bulunduğu alanlarda, özellikle göç mevsiminde kuş hareketlerinin incelenmesi ve kontrol edilmesi tavsiye edilmektedir.

Yozgat Havalimanı'nda kurulacak PV sistemlerde yukarıda bahsi geçen önlemler alındığında yaban hayatı riskinin tolere edilebilir seviyede olduğu görülmüştür.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Dünyada hızla artan nüfus ile birlikte teknolojinin gelişmesi, enerjiye duyulan talebi artırmaktadır. Günümüzde artan bu enerji talebinin büyük bir bölümü fosil yakıtlardan elde edilen enerjiden karşılanmaktadır. Fosil yakıt kullanımının küresel ısınmaya ve çevre kirliliğine neden olduğu, bunun sonucu olarak da insan sağlığı ve yaşamı üzerindeki olumsuz etkileri olduğu bilinmektedir. Ayrıca fosil yakıtların uzak olmayan bir gelecekte tükeneceği endişesi, kaynaklarının sınırlı ve pahalı olması, her geçen gün enerji ihtiyacının biraz daha artması, temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması konusundaki çalışmaların yoğunlaşmasına neden olmuştur.

Yenilenebilir enerji kaynakları; çevre dostu, maliyeti düşük, kendini yenileme hızı tüketme hızından daha fazla ve sürekliliğinin olması sebebiyle tercih edilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları; rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, hidrolik enerji, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi, dalga ve gelgit enerjisinden oluşmaktadır.

Havalimanları enerjiye talebin fazla olduğu alanlardan birisidir. Enerjinin kullanım miktarını; terminal binasının büyüklüğü, tesis sayısı, ışıklandırma, ısıtma ve soğutma sistemleri, uçak sefer sayısına bağlı olarak bina ve sistemlerin kullanım sıklığı gibi unsurlar belirlemektedir. Havalimanları güvenliğin ve yeterli hizmetin sağlanması için oldukça büyük arazilere inşa edilmektedir. Bu sebepten, kamulaştırma sınırları içerisinde atıl alanlar bulunmaktadır. Bu alanlar yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerji sistemlerinin kullanımı için oldukça uygundur.

Bu çalışmada, Yozgat Havalimanı kamulaştırma sınırı dahilindeki atıl alanlarda PV sistemlerin uygulanabilirliği, havalimanı üzerindeki ekonomik etkileri ve havacılık konusunda oluşturabileceği riskler değerlendirilmiştir. Bu projede, Yozgat Havalimanı'nın yapımı tamamlandığında yıllık olarak tüketeceği elektrik enerjisinin yaklaşık 3.500.000 kWh'lik bölümünün karşılanması öngörülmüştür. Elde edilmesi planlanan bu enerji, proje üzerinde dizaynı yapılan 5000 adet 330 W'lık monokristal güneş paneli ile elde edilebilmektedir. Sistemin kurulu güç bedeli 1.485.000,00 $ olup,

yapılan hesaplamalar neticesinde sistemlerin kendisini yaklaşık 4,5 yılda amorti edeceği görülmektedir.

Yozgat Havalimanı'nda kurulması planlanan PV sistemler ile kaplı alanlarda; parıltı ve parlama, PV parçalarının ayrılması, fiziksel penetrasyon, yaban hayatı ve elektromanyetik dalga konularındaki olası riskler araştırılarak sistemlerin kurulumundan önce ve kullanımı esnasında alınması gereken önlemler açıklanmıştır. Yozgat Havalimanı'nda PV sistemlerin kurulumunu engelleyecek kadar yüksek güvenlik kaygısı oluşturmadığı, elde edilecek enerjinin işletme maliyetini, çevre kirliliğini azaltacağı ve ülkemiz ekonomisine olumlu katkıda bulunacağı sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

Adak S., Cangi H. ve Yılmaz A. 2019. Fotovoltaik Sistemin Çıkış Gücünün Sıcaklık ve Işımaya Baağlı Matematiksel Modellemesi ve Simülasyonu. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi. 11(1): 316-327.

Anurag, A., Zhang, J., Gwamuri, J. and Pearce, J.M. 2017. General Design Procedures for Airport-Based Solar Photovoltaic Systems., 1–19.

A.E., Antalya Enerji. Güneş Paneli Verimliliği. Web sitesi. https://www.antalyaenerji.com/gunes-paneli-verimliligi/Erişim Tarihi:24.02.2022.

Ayran, Z. A. 2019. Kütahya İli Güneş Enerji Potansiyelinin Araştırılması ve Örnek Bir Güneş Enerji Santralinin Ekonomik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, 94 sayfa, Kütahya.

Banda, M. H., Nyeinga, K. and Okello, D. 2019. Performance Evaluation of 830 kWp Grid Connected Photovoltaic Power Plant at Kamuzu International Airport-Malawi. Energy for Sustainable Development, 50- 55.

Baxter, G., Srisaeng, P. and Wild, G. 2019. Environmentally Sustainable Airport Energy Management Using Solar Power Technology: The Case of Adelaide Airport, Australia. International Journal for Traffic and Transport Engineering, 9(1): 81-100.

Bedeloğlu, A., Demir, A. ve Bozkurt, Y. 2010. Fotovoltaik Teknolojisi: Türkiye ve Dünyadaki Durumu, Genel Uygulama Alanları ve Fotovoltaik Tekstiller. Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi, 4(2): 43-58.

Boz, O. H. 2011. Günümüzün Alternatif Enerji Kaynağı: Fotovoltaik Güneş Pilleri. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, 104 sayfa, Balıkesir.

Cebeci, S. Aralık 2017. Türkiye'de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretim Potansiyelinin Değerlendirilmesi. Uzmanlık Tezi. İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, T.C. Kalkınma Bakanlığı.

CNBM, Yansıma Önleyici Kaplamalı Panel. Web sitesi. http://www.cnbmnj.com/en/product_detail.asp?id=1113&cid=335&bid=334. Erişim Tarihi: 24.02.2021.

Çelik A. ve Koç F. 2020. Polikristal Tür Bir Fotovoltaik Panelin I-V Karakteristiğinin Analitik Modellenmesi ve Deneysel Doğrulanması. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi. 2491-2515.

DHMİ, Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü İşletme Dairesi Başkanlığı Teknik Hizmetler Şube Müdürlüğü. 2014. Özel Aydınlatma Sistemleri Ders Notları.

DHMİ, Havacılık Terimleri Sözlüğü. 2011. Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü APK Daire Başkanlığı, Türkiye.

DHMİ, İstanbul Havalimanı. Web sitesi. https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/Havalimani/Istanbul/AnaSayfa.aspx. Erişim Tarihi: 28.05.2021.

DHMİ, Seyrüsefer Servisler. Web sitesi. https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/Havalimani/Hatay/ Hizmetleri.aspx. Erişim Tarihi:26.07.2021.

EMA Tesisat, Havalimanı Pist Aydınlatma Sistemleri. Web Sitesi. https://ematesisat.com.tr/product-groups/havalimani-pist-aydinlatma-sistemleri/. Erişim Tarihi: 25.07.2021.

E.G., Enerjim Güneşten, Polikristal ve Monokristal Solar Paneller. Web Sitesi. https://www.enerjimgunesten.com/polikristal-ile-monokristal-solar-panelleri-nasil-ayirt-ederiz.html Erişim Tarihi: 05.03.2022.

Turhan, M. S. ve Çetiner, İ. 12 – 13 Nisan 2012. Fotovoltaik Sistemlerde Performans Değerlendirmesi. 6. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, Uludağ Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bursa.

Girgin, M. H. 2011. Bir Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santralinin Fizibilitesi, Karaman Bölgesinde 5 Mw'lık Güneş Enerjisi Santrali İçin Enerji Üretim Değerlendirmesi ve Ekonomik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 202 sayfa, İstanbul.

International Civil Aviation Organization (ICAO). July 2018. Annex-14 Volume I Aerodrome Design and Operations. 8th Ed.

Janssen, P., Myrzik, J., Kling, W. and Reinders, L. March 23–25, 2010.Technical Feasibility Study For a Solar Energy System at Amsterdam Airport Schiphol (AAS). International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'10), 909-914.

Kutluca, M. 2020. Şebekeden Bağımsız Mikro Güneş Enerji Santralinin Tasarımı ve Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Kırklareli Üniversitesi, 103 sayfa, Kırıkkale.

Kılıç, F. Ç. 2015. Güneş Enerjisi, Türkiye'deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri. Mühendis ve Makina. 56(671): 28-40.

Koç, E. ve Şenel, M. C. 2013. Dünyada ve Türkiye'de Enerji Durumu- Genel Değerlendirme. Mühendis ve Makina. 54(639): 32-44.

Koç, E. ve Kaya, K. 2015. Enerji Kaynakları–Yenilenebilir Enerji Durumu. Mühendis ve Makine. 56(668): 36-47.

MGM, Türkiye Cumhuriyeti, Çevre ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü. Yozgat İli'ne ait Genel İstatistik Verileri. Web sitesi. https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=YOZGAT. Erişim Tarihi: 25.02.2021.

MGM, Türkiye Cumhuriyeti, Çevre ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü. Yozgat İli Güneş Radyasyonu. Web sitesi. https://www.mgm.gov.tr/kurumici/ iller.aspx?il=yozgat. Erişim Tarihi: 25.02.2021.

Mostafa, M. F. A., Abdel Aleem, S. H. E. and Ibrahim, A. M. December 27-29, 2016a. Using Solar Photovoltaic At Egyptian Airports: Opportunities And Challanges. In Proceedings Of The Power Systems Conference (MEPCON), Eighteenth International Middle East, 73-80.

Mostafa, M. F., Aleem, S. H. A. and Zobaa, A. F. December 2016b. Risk Assessment and Possible Mitigation Solutions For Using Solar Photovoltaic at Airports. In Power Systems Conference (MEPCON), Eighteenth International Middle East, 81–88.

Mutlu, B. 2019. Türkiye'de Havaalanı Mânia Hatlarının Arazi Yönetimi Açısından İrdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 63 sayfa, İstanbul.

Orhan N. ve Şahin S. 2022. Bir Besi Çiftliğinde Güneş Enerji Sisteminin Uygulanması ve Ekonomik Analizi. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi. 9(1): 33-40.

Özgür, E. Türkiye'de Güneş Enerjisi. Makine Mühendisleri Odası. 297-316.

Öztürk H. Hüseyin. 2017. Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Yöntemle Elektrik Üretiminde Güç Dönüşüm Verimi ve Etkili Etmenler. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi Bildirileri 1, 1-14.

P.H., Pilotaj Haber. Yaklaşma Işıkları. Web sitesi. https://www.pilotajhaber.com/yaklasma-isiklari/ Erişim Tarihi: 02.03.2022.

S.C.W., Smart Cities World, Pist Işıklandırma Sistemleri. Web sitesi. https://www.smartcitiesworld.net/news/news/texas-creates-future-mobility-innovation -zone-4266 Erişim Tarihi: 07.03.2022.

SHGM, Havaalanı Pistleri. 2016. Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü Yayınları. Havaalanları Daire Başkanlığı, Türkiye.

SHT-HES, Annex-14. Havaalanı Tasarımı ve İşletimi Cilt:1. 2008. Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü Yayınları. Havaalanları Daire Başkanlığı, Türkiye.

Sreenath S., Sudhakar K., Yusop A. F., Solomin E. and Kirpichnikova I. M. 2020a. Solar PV Energy System in Malaysian Airport: Glare Analysis. General Design and Performance Assessment. Energy Reports, 698-712.

Sreenath, S., Sudhakar, K. and Yusop, A. F. 2020b. Solar Photovoltaics in Airport: Risk Assessment and Mitigation Strategies. Environmental Impact Assessment Review, 106418.

Sukumaran, S. and Sudhakar, K. 2017. Fully Solar Powered Airport: A Case Study of Cochin International Airport. Journal of Air Transport Management, 176-188.

T.C.E.T.K.B. Türkiye Cumhuriyeti, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. Elektrik. Web sitesi. https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik. Erişim Tarihi: 15.05.2021.

T.C.U.A.B., Türkiye Cumhuriyeti, Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Yozgat Havalimanı. Web sitesi. https://aygm.uab.gov.tr/hava-meydanlari-daire-baskanliklari. Erişim Tarihi: 19.02.2021.

T.C.Y.V., Türkiye Cumhuriyeti, Yozgat Valiliği. Yozgat Havalimanı. Web sitesi. http://www.yozgat.gov.tr/yozgat-havalimani. Erişim Tarihi: 19- Şubat-2021

Tulan, H. ve Ercoşkun, Ö. Y. 2019. Dolgu Havalimanlarının Çevresel Etkileri: Hong Kong Havalimanı ve Ordu-Giresun Havalimanı Karşılaştırması. Balkan and Near Eastern Journal of Social Sciences.

UBS, Pist Aydınlatma Sistemleri. Web sitesi. https://docplayer.biz.tr/7818533-Www-ubs-com-tr-pist-aydinlatma-sistemleri.html. Erişim Tarihi: 06.07.2021

Ulubay, A. ve Varol, M. B. 16–19 Ekim 2012. Havaalanları Etrafında Emniyetli Sahaların Oluşturulması ve Sunulması. IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, Zonguldak.

Ustaoğlu, İ. 2010. Taşınabilir Elektronik Cihazların Uçak Seyrüsefer Ve İletişim Sistemlerine Karışım Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, 141 sayfa, Zonguldak.

WIKIPEDIA, Yozgat Havalimanı. Web sitesi. https://tr.wikipedia.org/wiki/Yozgat_Havaliman%C4%B1. Erişim Tarihi: 19.02.2021.

WIKIPEDIA, Türkiye'deki Havaalanları Listesi, Web sitesi. https://tr.wikipedia.org/wiki/T%C3%BCrkiye%27deki_havaalanlar%C4%B1_listesi Erişim Tarihi: 25.01.2022.

Yıldız, Ö. F., Yılmaz, M. ve Çelik, A. 2019. Havalimanlarında Fotovoltaik Sistemlerin Kullanılması. 22th Congress Of Thermal Sciences and Technology. Kocaeli, Türkiye, 121-129.

Yıldız, Ö. F., Yılmaz, M., Çelik, A. ve İmik, E. 2020. Havalimanlarında Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanılması. Journal of Aviation, 4(1): 162-174.

Yıldız, B. 2020. Sivil Havacılık İşletmelerinde Sürdürülebilirlik Politikalarının Örgütsel Performansa Etkisi: Tav Havalimanı Örneği. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Arel Üniversitesi, 177 sayfa, İstanbul.

Yılmaz, U. 2008. Gökçeada'da Yenilenebilir Enerji Kaynaklarıyla Elektrik Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 134 sayfa, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı ve Soyadı : Duygu YILMAZ

Eğitim

Yüksek Lisans	Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı	2019-Halen
Lisans	Atılım Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü	2012-2017

İş Deneyimi

Yıl	**Kurum**	**Görev**
2018-Halen	Apco – Altınok İş Ortaklığı	Elektrik - Elektronik Mühendisi