



**YÜZER FOTOVOLTAİK PANEL SİSTEMLERİNİN DÜNYA UYGULAMALARI VE
TÜRKİYE’DE UYGULANABİLİRLİĞİ
(Uzmanlık Tezi)**

Nidanur YILDIRIM

Temmuz 2020

Ankara



**YÜZER FOTOVOLTAİK PANEL SİSTEMLERİNİN DÜNYA UYGULAMALARI VE
TÜRKİYE'DE UYGULANABİLİRLİĞİ
(Uzmanlık Tezi)**

Nidanur YILDIRIM

Danışman: Deniz DAŞTAN

Temmuz 2020

Ankara

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	iii
KISALTMALAR LİSTESİ	x
ÖZET	xiii
GİRİŞ.....	1
BİRİNCİ BÖLÜM.....	4
TÜRKİYE’DE YENİLENEBİLİR ENERJİNİN GELİŞİMİ, GÜNEŞ ENERJİSİ VE UYGULAMALARI	4
1.1.Türkiye’de Yenilenebilir Enerjiye İlişkin Yasal Düzenlemeler.....	5
1.2.Yenilenebilir Enerji İçin Verilen Teşvikler.....	9
1.3.Türkiye’deki Yenilenebilir Enerji Kaynakları	15
1.3.1. Hidrolik Enerji.....	17
1.3.2. Rüzgar Enerjisi	18
1.3.3. Jeotermal Enerji.....	20
1.3.4. Biyokütle Enerjisi	21
1.3.5. Güneş Enerjisi	22
1.4.Güneş Enerjisi ve Kullanımının Tarihsel Gelişimi	22
1.5. Türkiye’de Güneş Enerjisinin Gelişimi	24
1.6. Türkiye’nin Güneş Enerjisi Potansiyeli	25
1.7. Güneş Enerjisine İlişkin Yapılan Düzenlemeler ve Getirilen Teşvikler.....	28
1.7.1. Birincil Mevzuat Çerçevesinde Getirilen Düzenlemeler	29
1.7.2. İkincil Mevzuat Çerçevesinde Getirilen Düzenlemeler	32
1.7.2.1. Lisans Yönetmeliği ve Güneş Enerjisi Piyasasındaki Lisanslı Projelere İlişkin Gelişmeler	33
1.7.2.2. Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik ve Güneş Enerjisi Piyasasındaki Lisanssız Projelere İlişkin Gelişmeler	35
1.7.3. Mevzuatta Yer Alan Diğer Düzenlemeler.....	37

1.8. Türkiye’de Güneş Enerjisi Uygulamaları	39
1.8.1. Isıl Güneş Teknolojileri	39
1.8.1.1. Düşük Sıcaklık Sistemleri	39
1.8.1.2. Yoğunlaştırıcı Sistemler	40
1.8.2. Fotovoltaik Güneş Teknolojileri.....	41
1.8.2.1. Fotovoltaik Hücre ve Çalışma Prensipleri.....	42
1.8.2.2. FV Sistem ve Elemanları.....	43
1.8.2.3. FV Hücre Çeşitleri	44
1.8.2.4. FV Sistem Türleri	45
1.8.2.5. FV Sistemlerin Kurulum Çeşitleri	46
İKİNCİ BÖLÜM	51
YÜZER FOTOVOLTAİK PANELLER VE DÜNYA UYGULAMALARI	51
2.1. Yüzer Fotovoltaik Sistemler.....	51
2.1.1. Yüzer Fotovoltaik Sistemin Uygulama Alanları	52
2.1.2. Yüzer Fotovoltaik Sistemin Elemanları.....	53
2.1.2.1. Yüzdürücü Sistem (Dübe-Şamandıra)	53
2.1.2.2. Ankraj ve Palamar Sistemi	54
2.1.2.3. Elektriksel Konfigürasyon.....	55
2.1.3. YFV Teknolojilerine İlişkin Gelişmeler	56
2.1.4. Yüzer Fotovoltaik Sistemin Tarihçesi	60
2.1.5. YFV Sistemlerin Dünya Geneline Mevcut Durumu.....	63
2.1.6. Yüzer Fotovoltaik Sistemin Avantajları	65
2.1.7. Yüzer Fotovoltaik Sistemin Dezavantajları	68
2.2. Hidroelektrik Bağlantılı Fotovoltaik Sistemler	70
2.3. Hidroelektrik Bağlantılı YFV Sistemlerin Dünya Uygulamaları.....	73
2.3.1. Arnavutluk.....	74
2.3.2. Bangladeş	74

2.3.3. Brezilya	75
2.3.4. Çin.....	76
2.3.5. Hindistan	77
2.3.6. Endonezya	78
2.3.7. Portekiz	78
2.3.8. Singapur	78
2.3.9. Tayland.....	79
2.3.10. Ukrayna	80
2.3.11. Vietnam	81
2.4. Seçilmiş Ülkelerdeki Finansal Teşvikler ve Destekleyici Hükümet Politikaları	81
2.4.1. Finansal Teşvikler ve Destek Mekanizmaları	82
2.4.2 Destekleyici Hükümet Politikaları.....	84
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM.....	86
TÜRKİYE’DE YÜZER FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN UYGULANMASI	86
3.1. Pilot Uygulamalar	87
3.1.1. Hydrosolar Azmak Projesi	87
3.1.2. Büyükçekmece Gölü Yüzer GES Projesi.....	88
3.2. YFV Sistemlerin Kurulumuna İlişkin Mevzuatın Oluşturulması.....	94
3.2.1. Hibrit Tesislere İlişkin Yapılan Kanuni Düzenlemeler	95
3.2.2. Mevzuat Değişikliğine İlişkin Görüşlerin Oluşturulması	97
3.2.3. İkincil Mevzuat Çerçevesinde Gelişmeler	99
3.3. YFV Sistemlerin Kurulumuna İlişkin Kriterler.....	101
3.3.1. YFV Sistemlerin Yeni Başvuru Kapsamında Uygulanması	102
3.3.2. YFV Sistemlerin Mevcut Önlisans/Lisans Tadili Kapsamında Uygulanması	105
3.4. YFV Sistemler İçin Saha Belirlenmesi.....	107
3.5. Elektrik Piyasası Mevzuatı Çerçevesinde Mevcut Tesislere YFV Sistem Kurabilecek Kuruluşlar	110

3.6. Yönetmelik Çerçevesinde YFV Tesislerin Kurulabileceği Potansiyel Kapasite	116
3.7. YFV Sistemler için Getirilen Teşvikler	121
3.8. YFV Sistemlere İlişkin Öneriler.....	123
3.8.1. YFV Sistemlerin Geliştirilmesine Yönelik Getirilebilecek Öneriler.....	124
3.8.2. YFV Sistemlere Mevzuatsal Açıdan Getirilebilecek Öneriler	126
SONUÇ.....	131
KAYNAKÇA.....	137

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1: 2018 Yılı Türkiye Yenilenebilir Kaynaklardan Elektrik Enerjisi Üretimi.....	16
Şekil 1.2:Türkiye Güneş Enerjisi potansiyeli Atlası (GEPA).....	26
Şekil 1.3: Lisanslı GES Projesi İçin Lisanslama Süreci.....	34
Şekil 1.4: 2020 Yılı Nisan Ayı Sonu İtibariyle Lisanslı GES’lerin Kurulu Gücünün Kaynak Bazında Dağılımı (%).....	35
Şekil 1.5: Lisanssız GES Projesinin Kurulum Süreci.....	36
Şekil 1.6: a) FV Hücresinin Çalışma Yapısı b) FV Hücresinin Yapısı.....	42
Şekil 1.7: FV Hücre, Modül ve Dizi Tasarımları.....	43
Şekil 1.8: Güneş Pili Elektrik Üretimi ve Akış Diyagramı.....	44
Şekil 1.9: Bir Fotovoltaik Enerji Santralinin Genel Konfigürasyonu.....	46
Şekil 1.10: Fotovoltaik Sistemlerin Kurulumlarına Göre Çeşitleri.....	46
Şekil 1.11: Arazi Kurulumlu Fotovoltaik Sistem Örneği.....	47
Şekil 1.12: Çatı Üstü Kurulumlu Fotovoltaik Sistem Örneği.....	48
Şekil 1.13: Kanal Üstü Kurulumlu 1 MW Kapasiteli Fotovoltaik Sistem Örneği, Hindistan.....	48
Şekil 1.14: Zon op Zee (Denizde Güneş) Projesi 8,5 kW’lık Kurulumu.....	50
Şekil 2.1: Tipik Bir Büyük Ölçekli YFV Sisteminin Temel Bileşenleri ile Şematik Gösterimi	51
Şekil 2.2: Tipik YFV Uygulama Alanları.....	53
Şekil 2.3: Panel Taşıyıcı Duba, Yürüyüş Yolu Dubası ve FV Panelden Oluşan Yüzdürücü Sistem Örneği.....	54
Şekil 2.4: Alt Ankraj (Beton Platin Ağırlıklı), Banka Ankrajı ve Kazık Ankraj.....	55
Şekil 2.5: Merkezi Bir Yığın Etrafında Tüm Bir Platform İçin Azimut İzleme Çizimi.....	56
Şekil 2.6: Kore, Hapcheon Barajı’ndaki 100 kW’lık İzleme YFV Tesis.....	57
Şekil 2.7: Avustralya’da Bir Atıksu Tesisinde Azimut İzlemeli Konsatre YFV Sistem Kurulumu.....	58
Şekil 2.8: Kanada’da 0,57 kW Gücünde Yarı Batık Yüzen İnce Film Sistemi.....	58
Şekil 2.9: YFV Sisteme Uygulanan Aktif Soğutma Çözümü.....	59
Şekil 2.10: Maldivler’deki Bir Tatil Adasında Açık Deniz FPV Tesisi (Pilot Çalışma).....	60
Şekil 2.11: Kaliforniya’daki Far Niente Bağ-Göleti ve YFS.....	61
Şekil 2.12: Pilot YFV Tesis Kurulumları (2007-2014).....	62
Şekil 2.13: Küresel Kurulu Yüzer FV Kapasitesi ve Yıllık İlaveler.....	63

Şekil 2.14: YFV tesislerinin 2018 Aralık Ayı İtibarıyla Büyüklüklerine Göre Dağılımı.....	64
Şekil 2.15: Longyangxia Hidroelektrik Santrali ve Gonghe Güneş Enerjisi Santralinin Yer Aldığı Hibrit Sistem Çizimi.....	71
Şekil 2.16: Longyangxia hidroelektrik santrali ve Gonghe güneş enerjisi santralinin yer aldığı hibrit sistemin uzaydan alınan görüntüsü.....	72
Şekil 2.17: Alto Rabagão PHES Barajı ve YFV Paneller.....	72
Şekil 2.18: Ocean Sun Şirketinin Uyguladığı YFV Sistem Örneği.....	74
Şekil 2.19: Balbina HES Üzerindeki Pilot YFV Tesis.....	75
Şekil 2.20: Aralık Ayında Bir Gün İçin Hibridizasyon İşleminde Önce ve Sonra Hidroelektrik Santralin (üst) ve Toplam Sistemin (alt) Çıkış Gücü.....	76
Şekil 2.21: Tengeh Rezervuarında SERIS Tarafından İşletilen 1 MW Kapasiteli YFV Test Yatağı.....	79
Şekil 2.22: 45 MW'lık YFV Tesisin Kurulacağı Sirindhorn Barajı.....	80
Şekil 3.1: 10 kW Gücündeki Hydrosolar Azmak Projesi.....	88
Şekil 3.2: 240 kW Gücündeki Büyükçekmece Gölü Yüzer GES Projesi.....	90
Şekil 3.3: Hidroelektrik-Yüzer GES Hibrit Elektrik Üretim Tesisi İçin Yeni Başvuru Süreci.....	103
Şekil 3.4: Önlisans veya Lisanslı Projenin Tadil İşlemi ile Hibrit Tesise Dönüştürülmesi Süreci.....	106
Şekil 3.5: Rezervuarlı ve Kanal Tipi HES ile Rezervuarlı HES'in Santral Sahası Çizimi.....	109
Şekil 3.6: Regülatörlü HES'in Santral Sahası Çizimi.....	110

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 1.1: Yenilenebilir Kaynaklı Kurulu Gücün Türkiye Toplam Kurulu Gücü İçindeki Payı.....	14
Tablo 1.2: Türkiye'nin Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin ve Güneşlenme Süresinin Aylara Göre Dağılımı	27
Tablo 1.3: Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı.....	28
Tablo 1.4: Kaynak Bazında Farklı Destek Fiyatları.....	30
Tablo 1.5: Fotovoltaik Güneş Enerjisine Dayalı Üretim Tesislerinde Kullanılacak Yerli Aksam İçin Destekleme Fiyatı.....	31
Tablo 1.6: 2019 Yılı Aralık Ayı Sonu İtibariyle Lisanssız GES'lerin Kurulu Gücünün Kaynaklara Göre Dağılımı (MW).....	37
Tablo 1.7: FV Teknolojilerinin Durumu.....	45
Tablo 3.1: 2020 Yılı Nisan Ayı Verilerine Göre İşletmedeki Hidroelektrik Santrallerin Kurulu Güç Dağılımları.....	111
Tablo 3.2: 2020 Yılı Nisan Ayı Verilerine Göre İşletmedeki Hidroelektrik Santrallerin Sayısı.....	111
Tablo 3.3: Türkiye'deki Rezervuarlı HES'lere Kurulabilir YGES Kapasite Potansiyeli.....	119
Tablo 3.4: Türkiye'deki İçme Suyu, Sulama Amaçlı Barajlar ve Doğal Göllerin Su Yüzeyine Kurulabilir YGES Kapasite Potansiyeli.....	121

KISALTMALAR LİSTESİ

°C	: Santigrat
AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AC	: Alternatif Akım
ADB	: Asya Kalkınma Bankası (Asian Development Bank)
AR-GE	: Araştırma-Geliştirme
BEPA	: Biyokütle Enerjisi Potansiyel Atlası
BMİDÇS	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
Cal	: Kalori
CAPEX	: Yatırım Harcaması (Capital Expenditure)
cm ²	: santimetrekare
CO ₂	: Karbondioksit
CPV	: Yoğunlaştırılmış Fotovoltaik Hücreler
ÇED	: Çevresel Etki Değerlendirmesi
DC	: Doğru Akım
DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
DSİ	: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
EGAT	: Tayland Elektrik Üretim Kurumu (Electricity Generating Authority of Thailand)
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü
EİGM	: Enerji İşleri Genel Müdürlüğü
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EPK	: Elektrik Piyasası Kanunu
EPLY	: Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EÜAŞ	: Elektrik Üretim Anonim Şirketi
FIT	: Tarife Garantisi (Feed in Tariff)
FV	: Fotovoltaik
GAP	: Güneydoğu Anadolu Projesi
GEPA	: Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
GES	: Güneş Enerjisi Santrali
GWh	: Gigawatt hours

HDPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen (High Density Polyethylene)
HES	: Hidroelektrik Santral
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency)
İHD	: İşletme Hakkı Devri
İSKİ	: İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi
J	: Joule
kcal	: kilokalori
KHK	: Kanun Hükmünde Kararname
km	: Kilometre
km ²	: Kilometrekare
KP	: Kyoto Protokolü
kW	: kilovat
kWh	: kilovat saat
kWp	: kilowatt peak
LSS	: Büyük Ölçekli Güneş Enerjisi (Large Scale Solar)
LÜY	: Lisanssız Elektrik Üretimi Yönetmeliği
LY	: Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği
m	: metre
M.Ö.	: Milattan Önce
m ²	: metrekares
m ³	: metreküp
MAM	: Marmara Araştırma Merkezi
MBEAE	: Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü
MKE	: Makina ve Kimya Enstitüsü
mm	: milimetre
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
MTEP	: Milyon Ton Eşdeğer Petrol
MW	: Megavat
MWh	: Megavat saat
MWp	: Megawatt peak
NEM	: Net Enerji Ölçümü (Net Energy Metering)
NREL	: Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (National Renewable Energy Laboratory)
ODTÜ	: Ortadoğu Teknik Üniversitesi

OPEX	: İşletme-Bakım Harcaması (Operational Expenditure)
PHES	: Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santral
PV	: Photovoltaic
RE	: Yenilenebilir Enerji (Renewable Energy)
REPA	: Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası
RES	: Rüzgâr Enerji Santrali
SCADA	: Merkezi Denetleme Kontrol ve Veri Toplama
SERIS	: Solar Energy Research Institute of Singapore
SKHA	: Su Kullanım Hakkı Anlaşması
SMART	: Solar Massachusetts Yenilenebilir Hedef Programı (Solar Massachusetts Renewable Target Program)
sn	: saniye
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TEK	: Türkiye Elektrik Kurumu
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TÜREB	: Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği
UGET-TB	: Uluslararası Güneş Enerjisi Derneği Türkiye Şubesi (International Solar Energy Society Turkey Branch)
vb.	: ve benzeri
Wp	: Watt peak
YEGM	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
YEK	: Yenilenebilir Enerji Kaynakları
YEKA	: Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları
YEKDEM	: Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması
YFV	: Yüzer Fotovoltaik
YGES	: Yüzer Güneş Enerjisi Santrali
YİD	: Yap İşlet Devret
YPK	: Yüksek Planlama Kurulu

ÖZET

Gelişmekte ve enerji ihtiyacı giderek büyümekte olan ülkemiz, coğrafyası ve dört mevsimin yaşandığı iklim koşullarıyla yenilenebilir enerji kaynakları açısından oldukça önemli bir potansiyele sahiptir. Ancak bu potansiyel tam olarak kullanılamamakta ve enerji ihtiyacının büyük bir bölümü fosil kökenli yakıtlardan karşılanmaktadır. Tüm dünyada ve ülkemizde uygulanmakta olan enerji politikalarında süregelen değişiklikler neticesinde toplumlar artık var olan enerji ihtiyaçlarının temiz, güvenilir ve sürdürülebilir nitelikteki alternatif enerji kaynaklarından karşılanması gerektiğinin ve bu kaynakların en önemlilerinden birinin de tükenmeyen bir enerji kaynağı olması sebebiyle güneş enerjisi olduğunun farkına varmış durumdadırlar.

Çok eski çağlardan beri potansiyelinin farkına varılan ve üzerine çalışmalar yapılan güneş enerjisi, ülkemizde ilk defa 1960'lı yılların başında alternatif enerji kaynağı olarak gündeme gelmiş, fotovoltaik sistemlere ilişkin çalışmalar ise 1980 ve 1990'lı yıllarda yapılmaya başlanmıştır.

Bu tez çalışmasında; fotovoltaik sistemlerin su yüzeyine kurulumları konusu ele alınmış, yüzer fotovoltaik (FV) sistemlerin uygulama alanları ve teknolojileri, dünyadaki pilot uygulamaları ve daha sonra gerçekleşen büyük ölçekli kurulumlar ile birlikte dünya genelinde mevcut durumu araştırılmıştır. Seçilmiş bazı ülkelerdeki finansal teşvikler ve destekleyici hükümet politikaları incelenmiştir. Daha sonra Türkiye'de 2018 yılı itibariyle mevzuatsal anlamda ifade edinilmeye başlanan yüzer güneş enerjisi sistemlerinin, elektrik piyasasında gerçekleştirilen mevzuat değişikliği kapsamında yüzer GES (YGES) olarak ele alınması incelenmiştir.

Elektrik piyasasında gerçekleşen birden çok kaynaklı elektrik üretim tesislerine ilişkin mevzuat düzenlemesi ile; mevcut kapasitenin en verimli şekilde kullanılması ve böylece tesislerde optimum verimliliğe ulaşılması, kullanılmayan atıl durumdaki sahaların değerlendirilmesi, imkanı olan tesislerde diğer enerji kaynaklarının ekonomiye kazandırılması ve üretimde sürekliliğin sağlanması hedeflenmiştir. Söz konusu mevzuat kapsamında; hidroelektrik santrallerin santral sahası içerisindeki su yüzeylerine gerçekleştirilebilecek kurulumlar ile karşımıza çıkan yüzer fotovoltaik (YFV) sistemlerin kurulabileceği potansiyel kapasitenin, ülkemizin coğrafi konumu itibariyle sahip olduğu göller, içme suyu ve sulama

amaçlı tesis edilen barajlar göz önüne alındığında, çok daha büyük rakamlara ulaşabileceği değerlendirilmiştir. Bu sebeple yapılan araştırmalar sonucunda, ülkemizde başlangıç aşamasında olan yüzer fotovoltaik (YFV) sistemlerin uygulamaları ve kurulum alanları için öneriler getirilmiş, elektrik piyasası mevzuatına ilişkin yasal düzenlemelerin yapılmasının gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik sistemler, yüzer fotovoltaik sistemler, yüzer GES, birden çok kaynaklı elektrik üretim tesisleri.

GİRİŞ

Enerji, önemini insanlık tarihinden günümüze kadar katlayarak devam ettirmiştir. Başlangıçta temel gereksinimler için vazgeçilmez bir kaynak olan enerji, 21. yüzyılın temel gereksinimleri ile birlikte değerlendirildiğinde, ülkelerin refah seviyelerinin, gelişmişlik düzeylerinin belirlenmesinde, jeostratejik dengelerin kurulmasında da temel dayanak olmuş durumdadır. Fosil enerji kaynaklarının belli bir süre sonra tükenecek olması gerçeği, doğaya verdiği zarar, artan fosil kaynak fiyatları, küresel ısınma ve iklim değişikliğine doğrudan etki etmesi, canlılar üzerinde yarattığı çevresel tahribat ve bunun gibi daha birçok neden pek çok devleti yeni alternatif enerji kaynak arayışlarına itmiştir.

Küresel ölçekte çevre kirliliğine ve iklim değişikliğine sebep olan klasik fosil yakıt kaynaklı enerji üretim sistemleri ve geleneksel üretim teknolojileri yerine, çevreci, sürdürülebilir, yenilenebilir enerji kaynakların değerlendirilmesi ve bunlara ait teknolojilerin geliştirilmesi büyük önem kazanmış, gelişen teknoloji ile birlikte enerji politikaları yenilenebilir enerji kaynaklarının kısa sürede fosil kaynaklar yerine kullanılabilir olmasını hedeflemiştir. Enerji üretimi ve kullanımında öncelikle, ulusal ve uluslararası hukuki düzenlemeler yeniden yapılmıştır. Yeniden şekillenen ulusal, bölgesel ve küresel enerji politikalarının temelinde, yenilenebilir kaynaklardan enerji üretiminin arttırılmasına yönelik çözümler yer almaktadır.

Günümüzde hızla giderek artan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, bu kaynaklardan daha verimli bir şekilde yararlanma konularını gündeme getirmiştir. Bu kapsamda; yenilenebilir enerji kaynakları için uygulanmakta olan teknolojinin geliştirilmesine, kaynakların kullanım alanlarının genişletilmesine ve birden çok enerji kaynağının birlikte kullanım ile birbirinin verimini artırarak farklı şekillerde kullanılabilir olmasına önem verilmektedir.

Bugün geline nokta, özellikle yüksek nüfus yoğunluğuna ve mevcut arazinin başka ihtiyaçlar doğrultusunda kullanımlara sahip olduğu ülkelerde güneş enerjisi üretim kapasitesini arttırmak için güneş enerjisi sistemlerinin su yüzeyine kurulumunun gerçekleştirilmesi değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada; dünya genelindeki teknolojik gelişmeler neticesinde farklı bir uygulama alanı olarak karşımıza çıkan ve yüzer fotovoltaik (FV) sistemler olarak nitelenen güneş enerjisi sistemlerinin su yüzeyine kurulumu ele alınarak, yüzer fotovoltaik sistemlerin ülkemizdeki elektrik piyasası mevzuatında son yıllarda meydana gelen değişiklikler kapsamında uygulamaları ve kurulum alanları değerlendirilmiş, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında daha etkin bir yol kat edilmesine katkı sağlamak için ülkemizde gerçekleştirilecek uygulamalara yönelik olarak yüzer fotovoltaik sistemlerin geliştirilmesi açısından ve kurulum alanlarının yaygınlaştırılması için yapılması gereken yasal düzenlemeler açısından öneriler getirilmesi amaçlanmıştır.

Bu kapsamda tezin birinci bölümünde; Türkiye’de yenilenebilir enerjiye ilişkin yasal düzenlemeler kronolojik olarak ele alınmış, bu çerçevede verilen teşvikler aktarılmış ve yenilenebilir enerji kaynaklarının gelişim süreçleri üzerinde durulmuştur. İkinci bölüme zemin hazırlaması bakımından güneş enerjisi ayrıca değerlendirilmiş, uygulama alanları, teknolojileri, fotovoltaik (FV) sistemlerin elemanları ve son olarak kurulum çeşitleri açıklanmıştır.

Tezin ikinci bölümünde; güneş enerjisi sistemlerinin farklı bir uygulama alanı olarak su yüzeyine kurulumu incelenmiş, bu çerçevede yüzer fotovoltaik (YFV) sistemlerin elemanları, uygulama alanları ele alınmıştır. Sistemlerin avantajları ve dezavantajları değerlendirilerek, dünya geneli YFV sistemlerin mevcut durumu açıklanmıştır. Ülkemizde YFV sistemlerin kurulumu, gerçekleşen mevzuat değişiklikleri kapsamında hidroelektrik santrallerin santral sahaları içerisindeki su yüzeylerine yapılabilecek kurulum ile sınırlı kalmış olması sebebiyle, günümüzde dünya geneli uygulamalar ve literatürde yer alan çalışmalar arasından hidroelektrik santraller ile bağlantılı YFV sistemler ele alınmıştır. Seçilmiş bazı ülkelerde uygulanan finansal teşvikler ve destekleyici hükümet politikaları değerlendirilmiştir.

Üçüncü ve son bölümde ise ülkemizde gerçekleştirilen iki pilot çalışmaya yer verilmiş, 2018 yılı itibarıyla mevzuatta kurulumuna imkan tanınan yüzer güneş enerjisi sistemlerinin son yıllarda gerçekleştirilen elektrik piyasası mevzuat değişiklikleri kapsamında nasıl değerlendirildiği incelenmiştir. Birden çok kaynaklı elektrik üretim tesislerinin yapılmasına imkan tanınan ikincil mevzuat düzenlemeleri çerçevesinde “Yüzer güneş enerjisi santrali (YGES)” olarak tanımlanan YFV sistemlerin, kurulumlarına ilişkin söz konusu mevzuat kapsamındaki yükümlülükler ele alınmıştır. YFV sistemlerin kurulumunun, bir hidroelektrik santralin santral sahası içerisinde yeni başvuru veya mevcut lisansların birden çok kaynaklı

elektrik üretim tesislerine dönüştürülmesi kapsamında gerçekleştirilmesine ilişkin değerlendirmeler yapılmış, ülkemizde YFV sistemlerin kurulabileceği potansiyel kapasite belirlenmiştir. Gerçekleştirilen mevzuat değişiklikleri haricinde kurulumu yapılabilecek ancak içme veya sulama amaçlı barajlar, doğal göller gibi hibrit elektrik üretim tesisi olmayacak su yapılarında da yüzer sistemlerin kurulumu halinde elde edilebilecek potansiyel kapasite belirlenmiştir. YFV sistemler ile elektrik üretiminin, Türkiye elektrik üretim piyasasında etkin bir şekilde yer alması için uygulamalara yönelik olarak bu sistemlerin geliştirilmesine ve yapılması gereken yasal düzenlemelere dair önerilerde bulunulmuştur.

BİRİNCİ BÖLÜM

TÜRKİYE’DE YENİLENEBİLİR ENERJİNİN GELİŞİMİ, GÜNEŞ ENERJİSİ VE UYGULAMALARI

Endüstri devrimi sonrasında insanoğlunun enerji kaynaklarına talebi artmış ve bu artış günümüze kadar devam etmiştir. Hem ucuz olmaları hem de üretim teknolojilerindeki gelişmeler nedeniyle fosil yakıtlar yoğun şekilde kullanılmış, süreç itibariyle kömüre dayalı olan enerji arzına, zamanla petrol ve doğal gaz da eklenmiştir. Ancak 1973 yılında meydana gelen birinci petrol krizinin ardından bu enerji kaynaklarına karşı güven sorunu oluşmuş ve enerjinin önemi tüm dünya ülkeleri tarafından daha iyi anlaşılmaya başlanmıştır. Bu tarihten sonra ülkeler enerji kaynaklarını çeşitlendirme ve alternatif enerji kaynakları kullanma noktasında önemli adımlar atmış, özellikle enerji ithal eden ülkeler enerjinin sürdürülebilir kullanımı adına çeşitli politika arayışları içine girmişlerdir. 2000’li yıllara gelindiğinde alternatif enerji arayışları büyük bir ivme kazanmış ve yenilenebilir enerji konusundaki çalışmalar artmaya başlamıştır.¹

Öte yandan iklim değişikliği, günümüzde küresel ölçekte karşılaşılan en büyük sorunlarından biri olarak kabul edilmektedir. 1980’li yılların sonlarından başlayarak, insanların iklim sistemi üzerindeki olumsuz etkisini ve baskısını azaltmak için, Birleşmiş Milletlerin ve uluslararası kuruluşların öncülüğündeki çalışmalar neticesinde 1992 yılında Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) ve 1997 yılında Kyoto Protokolü (KP) oluşturulmuştur. Türkiye, küresel ısınmanın ve enerji kaynaklı sera gazı emiliminin önüne geçme yolunda atılan adımların başında gelen KP’ye 24 Mayıs 2004 tarihinde 189. taraf ülke olarak katılmıştır.²

KP’ye dahil olan Türkiye’nin yerine getirmek zorunda olduğu bazı yükümlülükler bulunmaktadır. Bu çerçevede, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından 2020 yılına kadar uygulanacak olan enerji politikası değerlendirildiğinde iki kritik karar göze

¹ Erdal Tanas Karagöl ve İsmail Kavaz, “Dünyada ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji”, SETA Siyaset, Ekonomi ve Toplum Araştırmaları Vakfı, 2017, S:197, s.8
<https://setav.org/assets/uploads/2017/04/YenilenebilirEnerji.pdf> Erişim Tarihi: 23 Kasım 2019

² <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Iklim-Degisikligi-ve-Uluslararası-Muzakereler> Erişim Tarihi: 25 Kasım 2019

çarpmaktadır. Bunlardan ilki, kapasiteye dahil olacak 54 bin megavat gücün 5 bin megavatının nükleer enerjiden sağlanması, bir diğeri ise Avrupa Birliği (AB) tarafından büyük önem verilen KP'deki emisyon hedeflerine ulaşılmasıdır. Bunun için yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji sektöründeki payının artırılması planlanmaktadır. Sera gazı emisyonlarının azaltılması ve KP'ye dahil olunması, Türkiye açısından AB ile yapılan müzakerelerde “çevre” başlığı altındaki uyum kriterleri açısından oldukça önem arz etmektedir.³ 2004 yılından beri KP'ye taraf olan Türkiye, fosil yakıta dayalı kalkınma politikasından, yenilenebilir enerji ile kalkınma politikasına geçme yükümlülüğü altına girmiştir.

Öte yandan, 2015 yılında Paris'te düzenlenen BMİDÇS 21. Taraflar Konferansı'nda 2020 sonrası iklim değişikliği rejiminin çerçevesini oluşturan Paris Anlaşması kabul edilmiştir. Paris Anlaşması'nın, BMİDÇS ile karşılaştırıldığında en belirgin özelliği, tüm ülkelerin katkılarına dayanacak bir sistem öngörülmüş olmasıdır. Kabulünden sonra bir yıl geçmeden yürürlüğe giren ilk küresel anlaşma olan Paris Anlaşması'nın uzun dönemli hedefi, endüstriyelleşme öncesi döneme kıyasen küresel sıcaklık artışının 2°C'nin olabildiğince altında tutulmasıdır. Bu hedef fosil yakıt (petrol, kömür) kullanımının tedricen azaltılarak, yenilenebilir enerjiye yönelinmesini gerektirmektedir. Ülkemiz, Paris Anlaşması'nı, 22 Nisan 2016 tarihinde imzalamıştır.⁴

1.1. Türkiye'de Yenilenebilir Enerjiye İlişkin Yasal Düzenlemeler

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından güneş, rüzgar gibi doğal kaynaklardan elde edilen, tüketildikten sonra hızlı bir şekilde kendini yenileyebilen ve kullanıldıkça tükenmeyen enerji olarak tanımlanan yenilenebilir enerji, Türkiye'nin yenilenebilir enerji politikasına yönelik olarak hazırlanmış ilk yasal düzenleme olan *5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun*⁵ (YEK Kanunu) ile elektrik piyasasına ilişkin mevzuata girmiştir. Kanun kapsamında yenilenebilir enerji kaynakları; rüzgâr, güneş, jeotermal, biyokütle, biyokütleden elde

³ M.Akif Çukurçayır ve Hayriye Sağır, “Enerji Sorunu, Çevre Ve Alternatif Enerji Kaynakları”, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 2008, S:20, s.271. (Alıntı: Deniz Zeyrek, “Nükleer ve Kyoto 2012’de”, Radikal, (20/03/2005)) <http://dergisosyalbil.selcuk.edu.tr/susbed/article/view/367/349> Erişim Tarihi: 15 Aralık 2019

⁴ <http://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa> Erişim Tarihi: 15 Aralık 2019

⁵ 5346 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun (2005, 10 Mayıs) T. C. Resmi Gazete, 25819

edilen gaz (çöp gazı dâhil), dalga, akıntı enerjisi ve gel-git ile kanal, nehir tipi veya rezervuar alanı onbeş kilometrekarenin altında olan hidroelektrik üretim tesisi kurulmasına uygun elektrik enerjisi üretim kaynakları olarak tanımlanmıştır.

Diğer taraftan bu *Kanun* kapsamındaki yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim faaliyeti gösterenlerin faydalanabileceği alım garantisini düzenleyen YEK (Yenilenebilir Enerji Kaynakları) Destekleme Mekanizması (YEKDEM) da tanımlanmıştır. *Kanun* ile sektöre verilen teşvikler yeterli bulunmayınca sonraki yıllarda kısmen değişikliğe gidilmiştir.

5346 sayılı *Kanun*'dan önce yenilenebilir enerjiyi doğrudan konu alan yasal bir düzenleme olmasa da elektrik ve/veya enerji ile ilgili yapılan yasal düzenlemeler aynı zamanda dolaylı olarak yenilenebilir enerji konusuna da değinmiştir.⁶ Örneğin; 2001 yılında yürürlüğe giren ve Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'nun (EPDK) kurulması ile çalışma usul ve esaslarını kapsayan 4628 sayılı *Enerji Piyasası Düzenleme Kurumunun Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun*⁷ ile; yenilenebilir enerji kaynaklarının ve yerli enerji kaynaklarının kullanımını özendirmek amacıyla gerekli tedbirleri alma ve bu konuda teşvik uygulamaları için ilgili kurum ve kuruluşlar nezdinde girişimde bulunma hususlarında EPDK'ya görevler verilmiştir. Söz konusu *Kanun* ile rekabetin arttırılarak vatandaşlara daha ucuz, sürekli ve yeterli elektriğin sunulması amaçlanmıştır.⁸

Daha sonra Haziran 2007'de, yerli kaynakların ülkemizin enerji üretimindeki çeşitliliğini ve kullanım payını arttırmak ve de en büyük eksiklik olarak görülen bu alanlardaki uygulamalara ilişkin mevzuat boşluğunu gidermek amacıyla, 5686 sayılı *Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu*⁹ yürürlüğe girmiştir. *Kanun* ile, yenilenebilir enerji kaynakları açısından çeşitlendirmeye gidilmiş, jeotermal kaynaktan

⁶ Dilek Akbaş Akdoğan, (2018), “Yenilenebilir Enerjide Kamu Politikaları Ve Türkiye”, *Doktora Tezi*, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul

⁷ 4628 Sayılı Enerji Piyasası Düzenleme Kurumunun Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun (2001, 3 Mart) *T. C. Resmi Gazete*, 24335

⁸ Deniz Daştan, (2008), “Enerji Piyasalarında Yeni Bir Oluşum Güney Doğu Avrupa Enerji Topluluğu”, Uzmanlık Tezi, EPDK, Ankara, s.93

⁹ 5686 Sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu (2007, 13 Haziran) *T. C. Resmi Gazete*, 26551

üretim ve dağıtım yapan şirketlere, sanayi ve atık arıtma kuruluşlarının yararlandığı başta elektrik tarifesini olmak üzere tüm teşvik ve haklardan yararlanma imkanı getirilmiştir.¹⁰

2009 yılında Yüksek Planlama Kurulu (YPK) tarafından hazırlanan *Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesi* ile; 2023 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi içerisindeki payının en az %30 düzeyinde olması, hidroelektrik potansiyelin tamamının elektrik enerjisi üretiminde kullanılması, rüzgar enerjisi kurulu gücünün 20.000 MW'a çıkarılması, 600 MW'lık jeotermal potansiyelimizin tamamının işletmeye alınması, yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı için alınacak tedbirler sonucunda elektrik enerjisi üretiminde doğal gazın payının %30'a düşürülmesi ve son olarak güneş enerjisinin elektrik üretiminde kullanılmasının yaygınlaştırılması hedeflenmiştir.¹¹ YPK tarafından belirtilen 2023 yılı hedefleri, 2009 yılı itibarıyla yapılması planlanan yeni düzenlemelerde yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitliliğinin ve kurulum gücünün artırılması gerekliliğini ortaya koymuştur.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının desteklenmesi ve geliştirilmesine ilişkin mevzuatın dayandığı kanunlardan ilki 5346 sayılı *YEK Kanunu* iken, bir diğeri 8 Ocak 2011 tarihinde yürürlüğe giren 6094¹² sayılı *Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına Dair Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun*'dur. *YEK Kanunu*'nda getirilen teşvikler yeterli olmayınca kısmen değiştirilmiş, ek teşvikler getirilmiştir. Ayrıca değişiklik ile, 5346 sayılı *Kanun*'da belirtilen yenilenebilir enerji kaynakları arasına çöp gazı dahil edilmiştir.

Birincil mevzuat çerçevesinde son olarak, 2013 yılında çağın gereksinimlerine ayak uydurularak yapılan düzenleme ile 6446 sayılı *Elektrik Piyasası Kanunu*¹³ (*EPK*) yürürlüğe girmiştir. 6446 sayılı *Kanun* ile yenilenebilir enerji alanında önemli bir takım değişiklikler yapılmış ve teşvikler getirilmiştir.

¹⁰ http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/kutuphane/ekonomi-bultenleri/2013_15/1.pdf Erişim Tarihi: 31 Aralık 2019

¹¹ Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesi, 18 Mayıs 2009

¹² 6094 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına Dair Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun (2011, 08 Ocak) *T. C. Resmi Gazete*, 27809

¹³ 6446 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu (2013, 30 Mart) *T.C. Resmi Gazete*, 28603

6446 sayılı EPK sonrasında, elektrik piyasasındaki önlisans ve lisanslandırma uygulamalarına ilişkin usul ve esaslar ile önlisans ve lisans sahiplerinin hak ve yükümlülüklerinin belirlenmesi amacıyla 2 Kasım 2013 tarihinde *Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği*¹⁴ (EPLY) yürürlüğe girmiştir.. Hızla gelişen yenilenebilir enerji sektörünün ihtiyaçlarına, mevcut mevzuatın uygulanmasıyla ilgili ortaya çıkan aksaklıkların giderilmesine ve diğer mevzuatlara uyum konusunda gerekli değişikliklerin yapılmasına yönelik olarak *Yönetmelik*'te sonraki yıllarda ard arda değişikliklere gidilmiştir.

21 Temmuz 2011 tarihinde ise 5346 sayılı Kanun kapsamında işletilecek olan YEKDEM'in kuruluşunu ve işleyişini düzenlemek amacıyla *Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmelik*¹⁵ çıkartılmıştır. Bahse konu mekanizma, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim faaliyeti gösteren üretim lisansı sahibi tüzel kişilerin bizzat, yenilenebilir enerji kaynaklarından lisanssız üretim yapan kişilerin ise bölgelerinde bulundukları perakende satış lisansı sahibi dağıtım şirketleri aracılığıyla faydalanabileceği fiyatlar, süreler ve bunlara yapılacak ödemelere ilişkin usul ve esasları içeren destekleme mekanizmasını ifade etmektedir. *Yönetmelik*'te ayrıca üretim lisansı sahibi tüzel kişilere yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisleri için YEK belgesi verilmesine ilişkin usul ve esaslarda belirlenmiştir.

01/10/2013 tarihli ve 28782 sayılı Resmi Gazete'de yeni bir *Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmeliğin*¹⁶ yayımlanmasıyla, 2011 yılında yayımlanan yönetmelik kaldırılmıştır. 2013 tarihli bu *Yönetmelik* ilerleyen yıllarda birçok değişikliklere uğrayarak son halini 08/03/2020 tarihli ve 31062 sayılı Resmi Gazete'de almıştır.¹⁷

Yönetmelik son haliyle; YEK Kanunu kapsamında belirtilen yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı olup 31/12/2015 tarihine kadar (18/11/2013 tarihli ve 2013/5625

¹⁴ Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği (2013, 2 Kasım) *T.C. Resmi Gazete*, 28809

¹⁵ Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmelik (2011, 21 Temmuz) *T.C. Resmi Gazete*, 28001

¹⁶ Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmelik (2013, 1 Ekim) *T.C. Resmi Gazete*, 28782

¹⁷ Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik (2020, 3 Mart) *T.C. Resmi Gazete*, 31062

sayılı Bakanlar Kurulu Kararı¹⁸ ile bu süre 31/12/2020 tarihine kadar uzatılmıştır) kısmen veya tamamen işletmeye girmiş veya girecek olan üretim tesislerine ilişkin üretim lisansı sahibi tüzel kişilerin, lisansına dercedilen ilk kurulu gücün tamamının işletmeye giriş tarihinden veya tamamı işletmeye girmeden YEKDEM'e katılması halinde, YEKDEM'e ilk katıldığı tarihten itibaren on yıl süreyle YEKDEM'den yararlanabileceğine ilişkin hükümlerini içermektedir.

Yine 2011 yılında¹⁹ yürürlüğe giren, ancak 2013 yılında yenilenen *Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik*²⁰ ile yenilenebilir enerji kaynaklarından lisanssız elektrik üretimine ilişkin koşullar belirlenmiştir. *Yönetmelik*; elektrik piyasasında yalnızca kendi ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla kojenerasyon tesisi kuran gerçek ve tüzel kişilerden lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğünden muaf tutulacaklara ve yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı kurulu gücü azami beş yüz kilovatlık üretim tesisi ile mikro kojenerasyon tesisi kuran gerçek ve tüzel kişilerden lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğünden muaf tutulanlara uygulanacak usul ve esaslar ile yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı kurulu gücü azami beş yüz kilovatlık üretim tesisi ve mikro kojenerasyon tesisi kuran tüzel kişilerin ihtiyaçlarının üzerinde ürettikleri elektrik enerjisinin sisteme verilmesi halinde uygulanacak teknik ve mali usul ve esasları kapsamıştır. 2013 yılında yenilenen *Yönetmelik*, sektöre yeni düzenlemeler getirmiştir. *Yönetmelikte* daha sonra yapılan değişikliklerle ihtiyaca uygun olarak yenilenebilir kaynaklardan lisanssız elektrik üretim koşulları güncellenmiştir.²¹

1.2. Yenilenebilir Enerji İçin Verilen Teşvikler

5346 sayılı *YEK Kanunu* çerçevesinde yenilenebilir enerji alanındaki teşvikler sabit alım fiyat garantisi ile sınırlı tutulmamış, hizmet bedellerinden muafiyet, tesisler ve

¹⁸ 18/11/2013 tarihli ve 2013/5625 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı; “1/1/2016 tarihinden 31/12/2020 tarihine kadar işletmeye girecek olan Yenilenebilir Enerji Kaynakları (YEK) Destekleme Mekanizmasına tabi YEK Belgeli üretim lisansı sahipleri için 5346 sayılı Kanuna ekli I sayılı Cetvelde yer alan fiyatlar, on yıl süreyle uygulanır.”

¹⁹ Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik (2011, 3 Aralık) *T.C. Resmi Gazete*, 27774

²⁰ Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik (2013, 2 Ekim) *T.C. Resmi Gazete*, 28783

²¹ Nihal Açıklan, (2018), “Sürdürülebilir Kalkınmada Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Rolü: Türkiye ve Almanya’da Rüzgâr Enerjisi Üzerine Yasal ve Kurumsal Bir Değerlendirme”, *Doktora Tezi*, Bursa Uludağ Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Bursa

AR-GE yatırımları gibi çeşitli konularda verilecek teşvikler de sunulmuştur. Buna ek olarak, Türkiye’de lisanslı elektrik üretiminin yanı sıra lisanssız elektrik üretimi yapma imkânı da sağlanmıştır.²² 5346 sayılı YEK Kanunu çerçevesinde yenilenebilir enerji alanında verilen teşvikler arasında;

- *Kanun*’un yürürlüğe girdiği 18/05/2005 tarihinden 31/12/2020 tarihine kadar işletmeye girmiş veya girecek olan ve *Kanun* kapsamındaki yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim faaliyeti gösterenlerin faydalanabileceği YEK Destekleme Mekanizmasına tabi olan üretim lisansı sahipleri için, *Kanun*’a ekli I sayılı Cetvelde yer alan fiyatların on yıl süre²³ ile uygulanması,

- *Kanun* kapsamındaki yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı ve 31/12/2015 tarihinden önce işletmeye giren üretim tesislerinde kullanılan mekanik ve/veya elektro-mekanik aksamın yurt içinde imal edilmiş olması halinde; bu tesislerde üretilerek iletim veya dağıtım sistemine verilen elektrik enerjisi için, I sayılı Cetvelde belirtilen fiyatlara, üretim tesisinin işletmeye giriş tarihinden itibaren beş yıl süreyle; bu Kanuna ekli II sayılı Cetvel’de²⁴ belirtilen fiyatlar ilave edilmesi,

- Lisans alan tüzel kişilerin, lisanslarında belirlenen sahaların dışına çıkılmaması ve işletme anında sisteme verilen gücün lisanslarında belirtilen kurulu gücü aşmaması kaydıyla ek kapasite²⁵ kurabilmesi,

- EPDK tarafından lisans başvuruları değerlendirilirken bağlantı görüşünün oluşturulması aşamasında söz konusu yenilenebilir enerji kaynaklı üretim tesislerine öncelik²⁶ tanınması,

- Lisanssız elektrik üretim tesisi ve şebeke destekli elektrik üretim tesisi kuran gerçek ve tüzel kişilerden kesin projesi, planlaması, master planı, ön incelemesi veya ilk

²² Olcay Yılmaz, Hakan Hotunluoğlu, “Yenilenebilir Enerjiye Yönelik Teşvikler ve Türkiye”, Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 2015, S:2, s.78 <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/166364> Erişim Tarihi: 1 Ocak 2020

²³ 5346 Sayılı Kanun, Madde 6

²⁴ 5346 Sayılı Kanun, Madde 6/B

²⁵ 5346 Sayılı Kanun, Madde 6/C

²⁶ İbid.

etüdü Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) veya mülga Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE) tarafından hazırlanan projeler için hizmet bedelleri²⁷ alınmaması,

- *Kanun*'un yürürlüğe girdiği tarih itibariyle işletmede olanlar dahil, 31/12/2015 tarihine kadar işletmeye girecek üretim tesislerinden, ulaşım yollarından ve lisanslarında belirtilen sisteme bağlantı noktasına kadar olan, TEİAŞ ve dağıtım şirketlerine devredilecek olanlar da dahil, enerji nakil hatlarından yatırım ve işletme dönemlerinin ilk on yılında izin, kira, irtifak hakkı ve kullanma izni bedellerine %85 indirim²⁸ uygulanması,

- Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisinin iç piyasada ve uluslararası piyasalarda alım satımında kaynak türünün belirlenmesi ve takibi için üretim lisansı sahibi tüzel kişiye EPDK tarafından “Yenilenebilir Enerji Kaynak (YEK) Belgesi”nin²⁹ verilmesi,

- Orman vasıflı olan veya hazinenin özel mülkiyetinde ya da devletin hüküm ve tasarrufu altında bulunan taşınmazlardan elektrik enerjisi üretimi yapılmak amacıyla tesis, ulaşım yolları ve şebekeye bağlantı noktasına kadarki enerji nakil hattı için kullanılacak olanlar hakkında Çevre ve Orman Bakanlığı veya Maliye Bakanlığı tarafından bedeli karşılığında izin verilmesi, kiralama yapılması, irtifak hakkı tesis edilmesi veya kullanma izni verilmesi, bu taşınmazların mera, yaylak, kışlak ile kamuya ait otlak ve çayır olması halinde, ilgili mevzuat hükümleri uyarınca bu taşınmazların, tahsis amacı değiştirilerek hazine adına tescil edilmesi, Maliye Bakanlığı tarafından bedeli karşılığında kiralama yapılması veya irtifak hakkı tesis edilmesi,³⁰

- Milli park, tabiat parkı, tabiat anıtı ile tabiatı koruma alanlarında, muhafaza ormanlarında, yaban hayatı geliştirme sahalarında, özel çevre koruma bölgelerinde ilgili Bakanlığın, doğal sit alanlarında ise ilgili koruma bölge kurulunun olumlu görüşü alınmak kaydıyla yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretim tesislerinin kurulmasına izin verilmesi,³¹

²⁷ 5346 Sayılı Kanun, Madde 7

²⁸ 5346 Sayılı Kanun, Madde 8

²⁹ 5346 Sayılı Kanun, Madde 5

³⁰ 5346 Sayılı Kanun, Madde 8

³¹ İbid.

yer almaktadır. *Kanun* yürürlüğe girdikten sonra içermiş olduğu bu teşvikler ile yenilenebilir enerji alanında bir ivme yakalasa da ikincil mevzuatın yokluğu ve nispeten düşük sabit fiyat garantisi düzeyleri neticesinde 2005-2010 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar sınırlı kalmıştır.³²

Sonrasında 6094 sayılı *Kanun* ile; 5346 sayılı *Kanun*'a ilave birtakım teşvikler getirilmiştir. Bunların arasında en önemlisi olarak, 5346 sayılı *Kanun*'a ekli II sayılı Cetvelde yer alan yerli katkı ilavesinin verilmesi gelmektedir. Daha sonra yayımlanan *Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Enerjisi Üreten Tesislerde Kullanılan Aksamın Yurt İçinde İmalatı Hakkında Yönetmelik*³³ ile *Kanun*'a ekli II sayılı Cetvelde fiyatların belgelendirilmesi, denetlenmesi, yurt içinde imalatının kapsamının tanımı, standartları ve sertifikasyonu ile ilgili usul ve esaslar belirlenmiştir. Yerli aksamın *Yönetmelik*'teki tanımı³⁴; *elektrik üretim tesisinde kullanılan aksama ait yurt içinde imal edilen bütünleştirici parçaların aksam içindeki oranlarının toplamının en az % 55 olduğu aksam*'dir. Burada, yurt içinde gerçekleşen imalat kapsamında önemli olan husus; üretilen aksamın, bütünleştirici parçanın veya üretime tabi olan ögenin üretiminin Türkiye sınırları içerisinde gerçekleşmesidir.

6446 sayılı *EPK* kapsamında ise; lisanssız elektrik üretiminin yolu açılmış, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı bu üretim tesisleri için, üretim faaliyetleri lisansız yürütülebilecek faaliyetler arasında sayılarak lisans alma ve şirket kurma muafiyeti tanınmıştır. Ayrıca lisanssız elektrik üretim tesislerinin kurulu gücü 500 kW'tan 1 MW'a çıkartılmıştır. Daha sonra 10/05/2019 tarihli ve 30770 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan 09/05/2019 tarihli ve 1044 sayılı Cumhurbaşkanı Kararı ile; yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisinin kurulu gücünün 5 kata kadar (5 MW) arttırılması kararlaştırılmıştır.

EPK kapsamında yine kısa dönemde gerekli arz kapasitesinin yeterli bir yedekle oluşturulması amacıyla, 31/12/2020 tarihine kadar ilk defa işletmeye girecek üretim lisansı sahibi tüzel kişilere birtakım teşvikler sağlanmıştır. Bu teşvikler³⁵ arasında ;

³² Dilek Akbaş Akdoğan, s.192

³³ Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Enerjisi Üreten Tesislerde Kullanılan Aksamın Yurt İçinde İmalatı Hakkında Yönetmelik (2016, 24 Haziran) *T.C. Resmi Gazete*, 29752

³⁴ Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Enerjisi Üreten Tesislerde Kullanılan Aksamın Yurt İçinde İmalatı Hakkında Yönetmelik, Madde 3

³⁵ 6446 Sayılı EPK, Geçici Madde 4

- Üretim tesislerinin işletmeye giriş tarihlerinden itibaren beş yıl süreyle iletim sistemi sistem kullanım bedellerine yüzde elli indirim uygulanması,

- Üretim tesislerinin yatırım döneminde, üretim tesisleriyle ilgili yapılan işlemler harçtan ve düzenlenen kâğıtlar damga vergisinden müstesna sayılması,

- Orman vasıflı olan veya Hazinesinin özel mülkiyetinde ya da Devletin hüküm ve tasarrufu altında bulunan taşınmazlar için üretim tesislerinde; tesis, ulaşım yolları ve şebeke bağlantı noktasına kadar ki enerji nakil hattı için kullanılacak olanlar hakkında Orman ve Su İşleri Bakanlığı veya Maliye Bakanlığı tarafından bedeli karşılığında izin verilmesi, kiralama yapılması, irtifak hakkı tesis edilmesi veya kullanma izni verilmesi,

- Yine tesis, ulaşım yolları ve şebeke bağlantı noktasına kadar ki enerji nakil hattı için kullanılacak olan taşınmazların *Mera Kanunu* kapsamında bulunan mera, yaylak, kışlak ile kamuya ait otlak ve çayır olması hâlinde, bu *Kanun* hükümleri uyarınca taşınmazların, tahsis amacı değiştirilerek Hazine adına tescil edilmesi, bu taşınmazlara ilişkin olarak, Maliye Bakanlığı tarafından bedeli karşılığında kiralama yapılması veya irtifak hakkı tesis edilmesi,

- Bu *Kanun*'un yayım tarihi itibarıyla işletmede olanlar dahil 31/12/2025 tarihine kadar işletmeye girecek olan 5346 sayılı *Kanun* kapsamındaki yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretim tesislerinden, ulaşım yollarından ve lisanslarında belirtilen sisteme bağlantı noktasına kadarki TEİAŞ ve dağıtım şirketlerine devredilecek olanlar da dahil enerji nakil hatlarından, ilgili kurum tarafından verilmiş izin tarihinden itibaren yatırım ve işletme dönemlerinin ilk on yılında izin, kira, irtifak hakkı ve kullanma izni bedellerine yüzde seksen beş indirim uygulanması, bunlardan Orman Köylüleri Kalkındırma Geliri ile Ağaçlandırma ve Erozyon Kontrolü Gelirinin alınmaması,

yer almaktadır.

EPLY'de ise; önlisans başvurusuna konu üretim tesisinin kaynağı veya yakıt cinsi dikkate alınarak yerli kömür, ithal kömür ve yenilenebilir enerji kaynağına dayalı başvurulara sırasıyla öncelik verileceği, farklı yenilenebilir enerji kaynağına dayalı birden fazla başvuru olması durumunda ise lisanslama sürecinin devam edeceği başvurunun

belirlenmesinde sırasıyla jeotermal, hidrolik, rüzgar ve güneş enerjisi kaynaklarına dayalı başvurulara öncelik verileceği belirtilmiştir. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisi kurmak üzere önlisans almak için yapılan başvurularda önlisans alma bedelinin sadece yüzde onunun tahsil edileceği, aynı şekilde lisans almak için yapılan başvurularda lisans alma bedelinin sadece yüzde onunun tahsil edileceği, üretim tesisinin ilk geçici kabulünün yapıldığı tarihten itibaren ilk sekiz yıl süresince yıllık lisans bedeli alınmayacağı verilen teşvikler arasında gösterilebilir. *Yönetmeliğe* 2016 yılında 5346 sayılı *YEK Kanunu*'nun 4 üncü maddesi kapsamında belirlenecek yenilenebilir enerji kaynak alanlarının (YEKA) tanımlaması eklenmiş ve YEKA'ya ilişkin yeni düzenlemeler getirilmiştir.

Ayrıca *Elektrik Piyasası Bağlantı ve Sistem Kullanım Yönetmeliği* ile iletim sistemine aynı bağlantı noktasından bağlanmak üzere birden fazla başvurunun olması ve başvuruların tümünün karşılanmasının mümkün olmaması halinde üretim tesisleri için sırasıyla yerli kömüre ve yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesislerine ilişkin yapılan başvurulara öncelik tanınacağı bildirilmiştir.

Tablo 1.1: Yenilenebilir Kaynaklı Kurulu Gücün Türkiye Toplam Kurulu Gücü İçindeki Payı³⁶

YILLAR	HİDROLİK	JEOTERMAL	RÜZGAR	GÜNEŞ	BİYOKÜTLE*	YENİLENEBİLİR KURULU GÜCÜ(MW)	TÜRKİYE TOPLAM KURULU GÜCÜ(MW)	YENİLENEBİLİRİN PAYI %
2001	11.672,9	17,5	18,9		10,0	11.719,3	28.332,4	41,4
2002	12.240,9	17,5	18,9		13,8	12.291,1	31.845,8	38,6
2003	12.578,7	15,0	18,9		13,8	12.626,4	35.587,0	35,5
2004	12.645,4	15,0	18,9		13,8	12.693,1	36.824,0	34,5
2005	12.906,1	15,0	20,1		13,8	12.955,0	38.843,5	33,4
2006	13.062,7	23,0	59,0		19,8	13.164,4	40.564,8	32,5
2007	13.394,9	23,0	147,5		21,2	13.586,6	40.835,7	33,3
2008	13.828,7	29,8	363,7		38,2	14.260,4	41.817,2	34,1
2009	14.553,3	77,2	791,6		65,0	15.487,1	44.761,2	34,6
2010	15.831,2	94,2	1.320,2		85,7	17.331,3	49.524,1	35,0
2011	17.137,1	114,2	1.728,7		104,2	19.084,2	52.911,1	36,1
2012	19.609,4	162,2	2.260,6		147,3	22.179,5	57.059,4	38,9
2013	22.289,0	310,8	2.759,7		178,0	25.537,5	64.007,5	39,9
2014	23.643,2	404,9	3.629,7	40,2	227,0	27.945,0	69.519,8	40,2
2015	25.867,8	623,9	4.503,2	248,8	277,1	31.520,8	73.146,7	43,1
2016	26.681,1	820,9	5.751,3	832,5	363,8	34.449,6	78.497,4	43,9
2017	27.273,1	1.063,7	6.516,2	3.420,7	477,4	38.751,1	85.200,0	45,5
2018	28.291,4	1.282,5	7.005,4	5.062,8	621,9	42.264,0	88.550,8	47,7

* Endüstriyel Atık Dahil.

³⁶ <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri> Erişim Tarihi: 28 Nisan 2020

Elektrik piyasasında yenilenebilir enerji kaynaklarına ilişkin mevzuatlarda yer alan teşvikler neticesinde yıllar içerisinde ülkemizde yapılan yenilenebilir enerjiye yönelik yatırımların arttığı bilinmektedir. Tablo 1.1’deki veriler incelendiğinde, özellikle 2011 yılı ve sonrasında *6094 sayılı Kanun* ve *YEKDEM Yönetmeliği*’nin yürürlüğe girmesi ile birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminin daha büyük bir ivme ile arttığı görülmektedir.

2013 yılı sonrasında ise *6446 sayılı Kanun*, *EPLY* ve yeni *YEKDEM Yönetmeliği* ile yatırımcıya yönelik verilen diğer teşvikler neticesinde, güneş enerjisine dayalı elektrik üretim tesisleri elektrik piyasasına giriş yapmış ve rüzgâr başta olmak üzere diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminde giderek artan bir kapasiteye ulaşılmıştır.

2019 yılında YEKDEM kapsamındaki teşviklerden kurulu gücü 20.921 MW’yi bulan 777 santral yararlanmış, bu santrallere toplamda 38.036.854.434 TL teşvik verilmiştir. YEKDEM kapsamındaki bu teşvik ödemesinden, sadece 7.346.423.726 TL kadarı lisanssız elektrik üretim yapan santrallere tahsis edilmiştir.³⁷

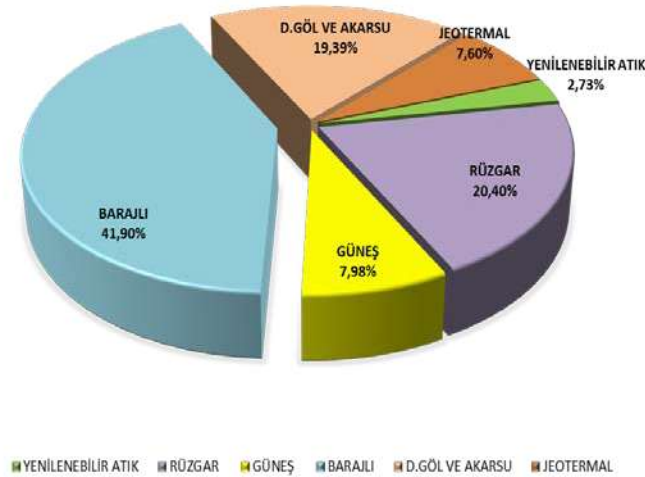
1.3. Türkiye’deki Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Gelişmekte ve enerji ihtiyacı giderek büyümekte olan ülkemiz, coğrafyası ve dört mevsimin yaşandığı iklim koşullarıyla yenilenebilir enerji kaynakları açısından oldukça önemli bir potansiyele sahiptir. Ancak bu potansiyel tam olarak kullanılamamakta ve enerji ihtiyacının büyük bir bölümü fosil kökenli yakıtlardan karşılanmaktadır. Türkiye’de tüketilen fosil kökenli kaynakların büyük bir kısmı ise ithalat yolu ile karşılanmaktadır. Bir taraftan petrol ve doğalgazda dışa bağımlılık, iklim değişikliğine ilişkin küresel kabul ve yükümlülükler, diğer taraftan fosil kaynaklı enerji rezervlerinin yakın bir zamanda tükenmesine yönelik öngörüler yerli, temiz ve yenilenebilir enerjiye olan ihtiyacı belirlemekte ve yeni enerji politikalarına yön vermektedir. Bu çerçevede Türkiye’de 2008 yılından itibaren, yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimine ilişkin yatırımlar hız kazanmıştır.

³⁷ <https://www.gesdergisi.com/yekdem-tesvik-miktari-38-milyar-lirayi-asti/> Erişim Tarihi: 1 Mayıs 2020

Hidrolik, rüzgâr ve jeotermal kaynakların toplam kurulu gücü içindeki payları, bu sektörlere verilen teşvikler neticesinde artmaya başlamıştır. Diğer taraftan güneş enerjisi ve biyokütle alanında atılan yeni adımlar da, yenilenebilir enerji potansiyelinin farklı kaynaklar bazında çeşitlendirilmesi ve gelişmesi açısından oldukça dikkate değerdir.³⁸

Şekil 1.1’de yer alan Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi’nin (TEİAŞ) 2018 yılındaki yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi dağılımına bakıldığında, barajlardan sağlanan hidroelektrik enerji üretimi %41,90, göl ve akarsu enerjisinden sağlanan üretim ise %19,39 (hidrolik kaynaklı enerji üretimi toplamda %61,29), rüzgardan sağlanan enerji üretimi %20,40’tır. Bu dağılımda son yıllarda barajlar üzerine kurulan santraller aracılığı ile sağlanan hidroelektrik enerjinin yenilenebilir enerji kullanımında ilk sırayı aldığını görmek mümkündür.



Şekil 1.1: 2018 Yılı Türkiye Yenilenebilir Kaynaklardan Elektrik Enerjisi Üretimi ³⁹

2020 yılı Nisan ayı sonu itibarıyla lisanslı kurulu gücümüzün 85,115 MW’e ulaştığı, kaynaklara göre dağılımda %33,62’lik pay ile hidrolik enerjinin yine ilk sırayı aldığı, %9,04’lük pay ile rüzgâr, %1,78’lik pay ile jeotermalin sırasıyla 5 ve 6’ıncı payları aldığı açıklanmıştır.⁴⁰ Ayrıca ülkemizde elektrik enerjisi üretim santrali (lisanssız santraller dahil) sayısı, 2020 yılı Nisan ayı sonu itibarıyla 8.755’e yükselmiştir. Mevcut

³⁸Nihal Açıklan, s.129

³⁹ <https://www.teias.gov.tr/tr/iii-elektrik-enerjisi-uretimi-tuketimi-kayiplar-1> Erişim Tarihi: 28 Aralık 2019

⁴⁰ Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, “Elektrik Piyasası Sektör Raporu”, Nisan 2020, s.2 <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-23/elektrikaylik-sektor-raporlar> Erişim Tarihi: 20 Eylül 2020

santrallerin 685 adedi hidroelektrik, 275 adedi rüzgâr, 54 adedi jeotermal, 7.058 adedi güneş enerjisi santralleridir.⁴¹

1.3.1. Hidrolik Enerji

Suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesiyle elde edilen bu enerji türü, Türkiye’de ve dünyada en yaygın olan yenilenebilir enerji türüdür. Çeşitli enerji kaynakları içerisinde hidroelektrik santraller (HES), tarımsal alanlara sulama sağlaması, içme suyu temini, düşük potansiyel risk taşımaları ve işletim maliyetinin düşük olması gibi nedenlerle tercih edilmektedir. Ülkemizde ilk hidroelektrik santrali 1902 yılında Tarsus’ta kurulmuş ve 60 kW gücündeki küçük ölçekli bir üretim ile hidroelektrik üretimine başlanmıştır.⁴²

Türkiye’deki hidroelektrik santraller 26 ana akarsu havzasına dağılmış durumdadır. Bu havzalar içinde Fırat ve Dicle oldukça önemli bir yer tutmaktadır ve bu bölgede uygulanan Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) Türkiye’nin en büyük elektrik üretim, sulama ve bölgesel kalkınma çalışmasıdır.⁴³ Türkiye’nin akarsu havzalarından akan su miktarı ve enerji potansiyelleri miktarı birçok kaynakta verilmiştir ancak literatürdeki rakamlar teorik potansiyeldir. Başka bir ifade ile nehir ve derelerin bütün sularının elektrik üretimi için kullanılabileceği temel alınmaktadır. Akarsuları petrol gibi, doğalgaz gibi bir enerji kaynağı olarak görmek yanlış bir bakış açısidir. Akarsular bulundukları ekosistemlerin hayat kaynaklarıdır. Bu sebeple hidroelektrik enerji üretimleri çok sınırlı alanlarda ve şartlarda “yeşil” enerji sınıflandırmasına girebilirler.⁴⁴ AB “Temiz Kalkınma Mekanizmaları” hidroelektrik projelerini 20 MW kurulu güç ile sınırlandırmıştır ve bu çerçevede AB kapsamındaki büyük ölçekli projeler “yenilenebilir enerji” sınıfına giremez. Türkiye’de ise 5346 sayılı *YEK Kanunu*’na göre bir hidroelektrik projesinin yenilenebilir enerji kategorisinde sayılabilmesi için kurulu güç sınırlaması

⁴¹ TEİAŞ Yük Tevzi Dairesi Başkanlığı, “Kurulu Güç Raporu”, Nisan 2020 <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/kurulu-guc-raporlari> Erişim Tarihi: 28 Mayıs 2020

⁴² <https://www.temsana.gov.tr/Sayfa/hidroelektrik/36> Erişim Tarihi: 29 Aralık 2019

⁴³ Mutlu Yılmaz, “Türkiye’nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi”, Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, 2012, S: 4(2), s.41 Erişim Tarihi: 29 Aralık 2019

⁴⁴ Ahmet Akın Kurucu, (2015), “Yeşil Enerji: Türkiye’nin Potansiyelinin ve Uygulamalarının Avrupa’dan Örneklerle Karşılaştırılması”, *Doktora Tezi*, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, Ankara

olmaksızın, rezervuar alanının 15 km²'den küçük olması yeterlidir. Kurulu güç sınırlamasının olmaması, yatırımcıları büyük ölçekli projelere yönlendirmektedir.

DSİ'nin 2019 faaliyet raporuna göre; Türkiye'de brüt teorik hidroelektrik potansiyel 433 milyar kWh/yıl, teknik olarak değerlendirilebilir hidroelektrik potansiyel ise 216 milyar kWh/yıl, ekonomik olarak geliştirilen potansiyel ise 160,3 milyar kWh/yıl olup, yeni geliştirilecek projelerle birlikte 2023 yılı sonrasında bu potansiyel yaklaşık 180 milyar kWh/yıl'a ulaşacağı tahmin edilmektedir. 2019 yılı sonu itibarıyla işletmede olan 683 adet hidroelektrik santralin toplam kurulu gücü 28.571 MW ve ortalama yıllık üretimi ise 99.6 milyar kWh olup, bu değer toplam geliştirilen potansiyelin yaklaşık % 55,4'üne karşılık gelmektedir. Bu sebeple, Avrupa ülkeleri içerisinde Rusya'dan sonra en büyük potansiyele sahip ikinci ülke konumunda olmasına rağmen gelişim oranı açısından beklenen seviyede değildir.

Türkiye'de 2019 yılı sonu itibarıyla; toplam 28.571 MW kurulu gücü ile işletme halinde olan 683 HES bulunmaktadır. İnşaat halinde olan toplam 3.636 MW kurulu gücünde, 47 HES bulunmaktadır.⁴⁵ Lisanslı kurulu gücün kaynaklara göre dağılımında barajlı HES'ler % 24,30 pay oranı ile ikinci sırada, % 9,24'lük pay ile kanal tipi HES'ler beşinci sırada yer almaktadır.⁴⁶ Hidroelektrik santraller toplamda %33,54'lük pay oranı ile lisanslı kurulu gücün kaynaklara göre dağılımında birinci sıradadır.

1.3.2. Rüzgar Enerjisi

Rüzgar, diğer enerji kaynakları gibi kaynağını güneşten alır. Güneş kaynaklı radyasyon yer yüzeyinin farklı ısınmasına, bu da hava sıcaklığının, neminin ve basıncının farklı olmasına neden olur. Farklı basınç dolayısıyla ortaya çıkan hava hareketleri rüzgarı meydana getirir. Dünyaya ulaşan güneş enerjisinin yaklaşık %2'si kadarı rüzgâr enerjisine dönüşür.⁴⁷

⁴⁵ Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, "2019 Yılı Faaliyet Raporu", 2019, s.60 <http://strateji.dsi.gov.tr/duyurular/2020/03/20/dsi-2019-y%C4%B1l%C4%B1-faaliyet-raporu> Erişim Tarihi: 29 Aralık 2019

⁴⁶ Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, "Elektrik Piyasası 2019 Yılı Piyasa Gelişim Raporu", Ankara 2020, s.25 <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-24/elektrik-yillik-sektor-raporu> Erişim Tarihi: 20 Ocak 2020

⁴⁷ <https://enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Ruzgar> Erişim Tarihi: 29 Aralık 2019

Türkiye’de rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi elde edinmeye yönelik çalışmalar 1980’li yıllarda başlamış ve ilk olarak 1986 yılında Çeşme Altın Yunus Tesisleri’nde kurulan 55 kW elektrik üreten rüzgar türbininden elektrik enerjisi elde edilmiştir. Şebekeye bağlanan ilk rüzgar enerjisi elektrik üretim santrali ise 1998 yılında yine İzmir Çeşme’de, 8,7 MW’lık (Germiyan Köyü 1,50 MW, Alaçatı 7,20 MW) kapasite ile üretime başlamıştır.⁴⁸ 2007 yılı itibariyle Türkiye’de rüzgar enerjisinden elektrik üretimi için lisans başvuruları başlamış ve rüzgar enerjisi santrallerinin sayıları ve kurulu güçleri hızla artmıştır. Karaya (onshore) ve denize (offshore) kurulan rüzgar santrallerinden, kurulum maliyetlerinin yüksek olması sebebiyle, Türkiye’de kara üstü alanlardaki potansiyelin değerlendirilmesine öncelik verilerek henüz deniz üstü rüzgar enerjisi potansiyeline başlanmamıştır.

Türkiye’de yer seviyesinden 50 metre yükseklikte ve 7,5 m/s üzeri rüzgâr hızlarına sahip alanlarda kilometrekare başına 5 MW gücünde rüzgâr santralı kurulabileceği kabul edilmiş, bu kabuller ışığında orta ölçekli sayısal hava tahmin modeli ve mikro ölçekli rüzgâr akış modeli kullanılarak üretilen, rüzgâr kaynak bilgilerinin verildiği Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) hazırlanmıştır. Bu çerçevede ülkemizin rüzgâr enerjisi potansiyeli 48.000 MW olarak belirlenmiştir. Bu potansiyele karşılık gelen toplam alan Türkiye yüz ölçümünün %1,30’una denk gelmektedir.⁴⁹

2019 yılı sonu itibariyle toplam kurulu gücü 7.591,2 MW olan 275 adet rüzgar enerjisi santralinden bulunmaktadır.⁵⁰ Lisanssız rüzgar enerjisi üretim santralleri toplamda 80 adet santral ile 70,8 MW’lık kurulu gücü oluşturmaktadır. Türkiye’de işletmede olan RES’lerin bölgelere göre dağılımına bakıldığında Ege Bölgesi birinci sırada, Marmara Bölgesi ikinci sırada ve Akdeniz Bölgesi üçüncü sırada yer almaktadır.

2009 yılında hazırlanan Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesi’nde 2023 yılı için hedeflenen 20.000 MW rüzgâr enerji kapasitesi göz önüne alındığında, Türkiye’de henüz istenilen ölçüde rüzgar enerjisinden faydalanılmadığı görülmektedir.

⁴⁸ Nihal Açıkalın, s.142

⁴⁹ <https://enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Ruzgar> Erişim Tarihi: 29 Aralık 2019

⁵⁰ TEİAŞ Yük Tevzi Dairesi Başkanlığı, “Kurulu Güç Raporu”, Aralık 2019 <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/kurulu-guc-raporlari> Erişim Tarihi: 22 Ocak 2020

1.3.3. Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji kısaca yerkürenin doğal ısısı olup, yerkabuğunun derinliklerinde birikmiş olan basınç altındaki sıcak akışkan (su, buharı, gaz) ve sıcak kuru kayaların içerdiği termal enerji ⁵¹ olarak tanımlanır.

İnsanlığın ilk çağlardan beri yıllardır sağlık ve temizlik amaçlarına göre kullandığı jeotermal kaynakların günümüzde ısıtma, elektrik üretimi ve sanayide de kullanması, yenilenebilir olan bu kaynağın önem kazanmasına neden olmuştur. Ancak jeolojik açıdan belirli coğrafyalar bu kaynaklar açısından şanslı durumdadır. Ülkemiz jeolojik ve coğrafi konumu itibarı ile aktif bir tektonik kuşak üzerinde yer aldığı için jeotermal potansiyeli açıdan dünya ülkeleri arasında zengin bir konumdadır.

Bugün ülkemizde elde edilen jeotermal enerji elektrik üretimi, ısıtma (sera ve konut), termal ve sağlık turizmi, endüstriyel mineral eldesi, balıkçılık, kurutmacılık vb. gibi yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Ancak jeotermal kaynaklardan elektrik üretimi amaçlı ilk uygulama 1968 yılında Denizli-Kızıldere sahasında başlatılmıştır. Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü, 1974 yılında 0,5 MW kapasiteli pilot bir türbinde deneme amaçlı ilk santrali kurmuştur. Ardından Türkiye Elektrik Kurumu (TEK) tarafından 1984 yılında Kızıldere’de 20,4 MW kapasiteli bir santral kurularak ticari anlamda ilk elektrik üretimine başlanmıştır.

Ülkemizin her tarafına yayılmış yaklaşık 1.000 adet doğal çıkış şeklinde değişik sıcaklıklarda jeotermal kaynaklar mevcuttur. Ülkemizin jeotermal potansiyeli oldukça yüksek olup, bu potansiyeli oluşturan alanların %78’i Batı Anadolu’da, %9’u İç Anadolu’da, %7’si Marmara Bölgesi’nde, %5’i Doğu Anadolu’da ve %1’i diğer bölgelerde yer almaktadır. Jeotermal kaynaklarımızın %90’ı düşük ve orta sıcaklıkta olup doğrudan uygulamalar (ısıtma, termal turizm, çeşitli endüstriyel uygulamalar vb.) için, %10’u ise dolaylı uygulamalar (elektrik enerjisi üretimi) için uygundur.

Ülkemiz ABD, Filipinler, Endonezya ve Yeni Zelanda ile birlikte dünyada jeotermal enerjiden elektrik üretiminde ilk 5 ülkeden biri olmuştur. Kurulu kapasite

⁵¹ Mutlu Yılmaz, s.43

bakımından 2002 yılında 15 MW iken, 2019 yılı itibariyle 1304 MW çıkmış, % 8600'lük bir artış olmuştur.⁵²

1.3.4. Biyokütle Enerjisi

Bitkilerin ve canlı organizmaların kökeni olarak ortaya çıkan biyokütle, güneş enerjisini fotosentez yoluyla depolayan bitkisel organizmalar olarak adlandırılmaktadır. Biyokütle, belirli bir tür veya çeşitli türlerden oluşmuş bir topluma ait olan yaşayan organizmaların belirli bir zamanda sahip olduğu toplam kütle olarak da adlandırılabilir. Bitkisel ve hayvansal kaynaklı olarak ikiye ayrılmaktadır.⁵³

Tarımsal ve hayvansal atıklar, bitkisel kaynaklar, organik kökenli şehir ve endüstri atıkları (biyokütle kaynakları) kullanılarak elde edilen enerji biyokütle enerjisidir. Biyokütle kaynaklarından elde edilen enerji elektrik enerjisi, ısı enerjisi ve Türkiye’de ulaşım sektöründe kullanılan biyoyakıtlar olarak ön plana çıkmaktadır.

Türkiye, biyokütle potansiyeli açısından oldukça zengin kaynaklara sahip bir ülkedir. Tarımsal ürünler ve ormanlar ülkemiz açısından oldukça önemli bir biyokütle enerji kaynağı durumundadır. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) tarafından Biyokütle Enerjisi Potansiyel Atlası (BEPA) hazırlanmıştır. BEPA’ya göre, Türkiye’nin biyokütle potansiyeli 8,6 milyon ton eşdeğer petrol (MTEP) tahmini elektrik üretimi 100.018 GWh, kurulu güç 20.000 MW olarak belirlenmiştir. 2023 yılında Türkiye’de biyokütle enerji santrali kurulu gücü 1000 MW olarak hedeflenmiştir.⁵⁴

Türkiye’de en yüksek biyokütle enerji kaynağı, bitkisel atıklardır. Ancak yenilenebilir enerji kaynakları arasında şimdiye kadar en az ilgi çeken ve en düşük enerji üretiminin gerçekleştirildiği kaynak da biyokütledir.⁵⁵ Türkiye’de 2019 yılı Aralık ayı itibariyle toplam 801,6 MW kurulu gücünde olan 138’i lisanslı olmak üzere toplamda 181 adet biyokütle enerjisi santrali bulunmaktadır.⁵⁶

⁵² <http://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/jeotermal-enerji-arastirmalari> Erişim Tarihi: 29 Aralık 2019

⁵³ <https://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Biyokutle> Erişim Tarihi: 29 Aralık 2019

⁵⁴ Nihal Açıkalın, s.190

⁵⁵ ibid

⁵⁶ TEİAŞ Yük Tevzi Dairesi Başkanlığı, “Kurulu Güç Raporu”, Aralık 2019 <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/kurulu-guc-raporlari> Erişim Tarihi: 29 Şubat 2019

1.3.5. Güneş Enerjisi

Güneş, nükleer enerji dışındaki bütün enerjilerin dolaylı veya direkt kaynağıdır.⁵⁷ Günümüzde yaygın olarak kullanılan fosil yakıtlar, belirli bir bölgede milyonlarca yıl önce toprağın altına gömülmüş olan bitki-hayvan atıklarının termokimyasal tepkimeler geçirmesi sonucu oluşmuşlardır. Ancak fosil yakıt kullanımının olumsuz etkileri sebebiyle, gezegenimizde ortam sıcaklıklarının yükseldiği, buzulların eridiği ve doğal felaketlerin meydana geldiği; toprak, su ve hava kirliliğinin yol açtığı olumsuz etkilerden dolayı insan, hayvan ve bitkilerin büyük zarar gördüğü, üstelik bu yakıtların yakın gelecekte tükeneceği tüm insanoğlu tarafından bilinmektedir. Bunun yanı sıra, toplumlar var olan enerji ihtiyaçlarının tüm bu çevre sorunlarına neden olmayan, canlıların yaşamlarını tehdit etmeyen, temiz, güvenilir ve sürdürülebilir nitelikteki alternatif enerji kaynaklarından karşılanması gerektiğinin ve bu kaynakların en önemlilerden birinin de tükenmeyen bir enerji kaynağı olması sebebiyle güneş enerjisi olduğunun farkına varmış durumdadırlar.

Tez konusunun, güneş enerjisi sistemlerinden yüzer fotovoltaik panellerin uygulamasına ilişkin olması sebebiyle, bu başlık ve sonraki başlıklar altında güneş enerjisi, teknolojisi, yapılan mevzuatsal düzenlemeler gibi konulara ilişkin olarak detaylı bilgilere yer verilecektir.

1.4. Güneş Enerjisi ve Kullanımının Tarihsel Gelişimi

Eski çağlardan beri potansiyelinin farkına varılan ve üzerine çalışmalar yapılan güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon işlemidir, başka bir ifade ile hidrojen gazının helyuma dönüşmesi ile açığa çıkan ışıma enerjisidir. Doğal ve sürekli bir füzyon reaktörü olan güneşin enerji kaynağı, 4 hidrojen atomunun 1 helyum atomuna dönüşmesinde gizlidir.⁵⁸ 4 hidrojen atomu 4,032 birim ağırlıkta, halbuki 1 helyum atomu 4,003 birim ağırlıktadır. Bu olay sonucu 0,029 birim ağırlık Einstein'ın madde-enerji bağlantısı sonucu enerjiye dönüşmektedir. Yani güneşte her saniyede 564 milyon ton hidrojen, 560 milyon ton helyuma dönüşmekte ve kaybolan 4 milyon ton kütle karşılığı

⁵⁷ http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx Erişim Tarihi: 09 Şubat 2020

⁵⁸ Fatma Ç. Kılıç, “Güneş Enerjisi, Türkiye’deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri”, Mühendis ve Makina, 2015, Cilt No. (56), S. 28-40

$3,86 \times 10^{26}$ J enerji açığa çıkmakta ve bu enerji elektromanyetik ışınlam (radyasyon) biçiminde uzaya yayılmaktadır.

Dünyanın bir yılda güneşten aldığı enerji toplamı insanların 1 yılda tükettiği enerjinin tam 28.000 katına eşdeğerdir. IEA'ya göre, yeryüzüne 90 dakikada vuran güneş ışığı, tüm dünyanın bir yıllık enerji ihtiyacını karşılayacak miktardadır.⁵⁹

Atmosfere gelen güneş radyasyonunun yaklaşık % 17,5'i atmosferi ısıtmak için kullanılırken yaklaşık % 35'i bulutlardan ve yerden yansıtılarak tekrar uzaya dönmektedir. Geriye kalan %47,5 değerindeki miktar ise yeryüzüne düşmektedir ve ısıya dönüşmektedir.⁶⁰

Güneş enerjisinden istifade edebilmek için insanların yapmış olduğu çalışmalar çok eski tarihlere dayanmaktadır. Kaynaklara göre, ilk defa Sokrat (M.Ö. 400) evlerin güney yönüne daha fazla pencere konularak güneş ışınlamının içeri alınmasını belirtmiştir. Arşimet (M.Ö. 250) içbükey aynalarla güneş ışınlamını odaklayarak Sirakuza'yı kuşatan gemileri yakmıştır. Çalışmalar 1600'lü yıllarda Galile'nin merceği bulmasıyla gelişme göstermiştir. İlk olarak 1725 yılında Belidor tarafından güneş enerjisi ile çalışan bir su pompası geliştirilmiştir. Fransız bilim adamı Mohuchok 1860'da parabolik aynalar yardımı ile güneş ışınlamını odaklayarak küçük bir buhar makinası üzerinde çalışmış, güneş pompaları ve güneş ocakları üzerinde deney yapmıştır. Birinci Dünya Savaşı sırasında petrolün önem kazanması ile güneş enerjisine yönelik çalışmalar azalmış, daha sonra petrol krizinin ortaya çıkması insanları alternatif enerji kaynakları konusunda çalışma yapmaya yönlendirmiş bu bağlamda çalışmalar temiz, masrafsız enerji kaynaklarından biri olması sebebiyle güneş enerjisi üzerine yoğunlaşmıştır.⁶¹ Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmaya başlamış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik açıdan ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiştir.⁶²

⁵⁹ Kamil B. Varınca ve M. Talha Gönüllü, " Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma", UGHEK'2006: I. Ulusal Güneş Ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, Eskişehir ESOGÜ, 21-23 Haziran 2006, s. 271

⁶⁰ Fatma Ç. Kılıç, s.30

⁶¹ Metin Yerebakan, Güneş Kollektörü Uygulamaları, İstanbul Ticaret Odası Yayınları, İstanbul 2010, s. 36

⁶² http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx Erişim Tarihi: 10 Şubat 2020

Güneş enerjisi bazı sistemlerle elektrik ve mekanik gibi ikincil enerji türlerine dönüştürülerek veya hava, su gibi akışkan maddelerde depo edilerek kullanılmaktadır. Örneğin günümüzde; konut ve işyerlerinin iklimlendirilmesi, sıcak suyun temin edilmesi, tarımsal teknoloji, sera ısıtması ve tarım ürünlerinin kurutulması, sanayide güneş ocakları, güneş fırınları, pişiricileri, deniz suyundan tatlı-tuzlu su elde edilmesi, güneş pompaları, güneş pilleri, güneş havuzları, ulaşım-iletişim araçları, sinyalizasyon ve otomasyon ve elektrik üretiminde kontrollü olarak güneş enerjisi kullanılmaktadır.⁶³

1.5. Türkiye’de Güneş Enerjisinin Gelişimi

Ülkemizde ilk defa güneş enerjisinin 1960’lı yılların başında alternatif enerji kaynağı olarak kullanılabileceği gündeme gelmiş, bazı yatırımcılar ve üniversitede verilen tezler güneş enerjisine ilişkin çalışmaları başlatmıştır.⁶⁴ Resmi açıdan ilk olarak güneş enerjisinden Dördüncü Beş Yıllık Kalkınma Planında⁶⁵ (1979-1983) bahsedilmiş ve planda, petrol talebinin önemli ölçüde artması nedeniyle alternatif kaynaklara yönelik eğilimin bir gereklilik olduğu ifade edilmiş, alternatif enerji kaynakları arasından güneş enerjisi ile ilgili araştırma ve geliştirme çalışmalarının dikkate alınması gerektiğini vurgulamıştır. Enerji darboğazının aşılmasında öncelikle ulusal kaynakların kullanılacağı ve bu kapsamda uygun yörelerde güneş enerjisinden yararlanma olanakları üzerinde durulacağı ifade edilmiştir. 1970’lerin ortalarında dünyadaki güneş enerjisi teknolojilerine paralel olarak ülkemizde de özellikle güneş enerjisinin ısı uygulamaları konusunda devlet, üniversiteler ve endüstri açısından çalışmalar yapılmış ve bu tarihten itibaren güneş enerjisi çalışmaları artan bir hızla geliştirilmiştir.

1980’li yılların sonlarında güneş enerjisine ilişkin çalışmalar, devlet destekli Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) bünyesindeki Marmara Araştırma Merkezi (MAM) (eski adı ile Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü-MBEAE) tarafından yürütülmüştür. 1992 yılından itibaren Uluslararası Güneş Enerjisi Derneği Türkiye Şubesi (International Solar Energy Society Turkey Branch UGET-TB) devletin izniyle güneş enerjisi konusunda çalışmalarını sürdürmektedir. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ) geçen yüzyılın başından itibaren

⁶³ Kamil B. Varınca ve M. Talha Gönüllü, s. 271

⁶⁴ Metin Yerebakan, s. 37

⁶⁵ http://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2018/10/Dorduncu_Bes_Yillik_Kalkinma_Plani-1979-1983.pdf Erişim Tarihi: 11 Şubat 2020

gittikçe artan sayıdaki istasyonlarda iklimsel verilerin kaydedilmesi, değerlendirilmesi ve bilginin dağıtılması konusunda aktif olarak çalışmaktadır.

Diğer taraftan mülga EİE, ETKB'nin 30/03/1981 tarihli Bakanlık Olur'u ile enerji kaynaklarının rasyonel kullanımı, yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları konularında; 02/05/2007 tarihli 5627 sayılı *Enerji Verimliliği Kanunu* ile ülke çapında enerji verimliliğine yönelik çalışmalarda önemli görevler üstlenmiş⁶⁶, 1982 yılından itibaren yenilenebilir enerji kaynaklarından, özellikle güneş ve rüzgar enerjisinin geliştirilmesinden sorumlu olmuştur.⁶⁷

Makina ve Kimya Enstitüsü (MKE) ise düzlemsel ve silindirik parabolik toplayıcıların üretimi, testleri ve pazarlanmasına yönelik çalışmaları kısa sürelerde gerçekleştirmiştir. 1998 yılında Mülga EİE tarafından Türkiye'nin ilk şebeke bağlantılı 4,8 kWp gücünde FV sistem kurulumu gerçekleştirilmiştir. 2006 yılında FV modül üretim laboratuvarı kurulmuş, daha sonra küçük ölçekli FV sistem uygulamaları yaygınlaşmıştır. İlerleyen yıllarda FV hücre üretimine yönelik çalışmalar hızlanmış ve 2011 yılında Türkiye'nin endüstriyel boyuttaki ilk yerli tek kristal silisyum hücresi ve bu hücrelerden oluşan modülü üretilmiştir. Çalışmalar neticesinde söz konusu FV hücrenin verimliliği % 12'den kademeli olarak %17'ye yükseltilmiştir.

662 sayılı Kanun Hükmünde Kararname uyarınca EİE kapatılmış,yenilenebilir enerji ve enerji verimliliğine ilişkin görevler, YEGM ile devam ettirilmiştir. Daha sonra 1 sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi ile YEGM teşkilatı Enerji İşleri Genel Müdürlüğü bünyesinde birleştirilmiştir.⁶⁸

1.6. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli

Türkiye coğrafi konumu itibariyle Kuzey Yarım Küre'de yer alır ve 36- 42° kuzey enlemleri ile 26- 45° doğu boylamları arasında bulunur. Ülkemiz, sahip olduğu konumu sayesinde güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre çok daha avantajlı konumdadır. Güneş enerjisini etkin ve verimli kullanabilmek ve enerji üretimi için

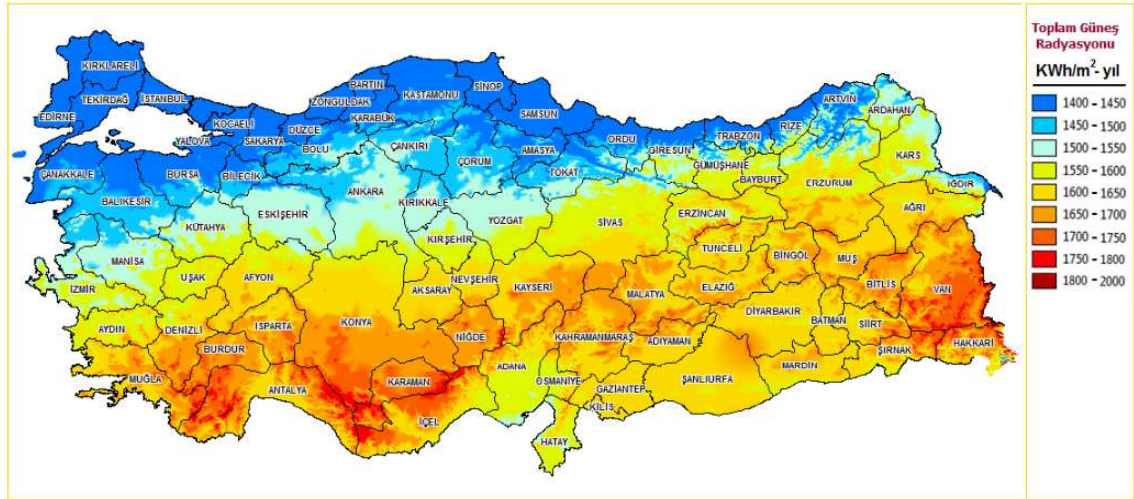
⁶⁶ <http://www.yegm.gov.tr/hakkimizda.aspx> Erişim Tarihi: 12 Şubat 2020

⁶⁷ Metin Yerebakan, s.38

⁶⁸ 1 sayılı Cumhurbaşkanlığı Teşkilatı Hakkında Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi (2018, 10 Temmuz) *T.C. Resmi Gazete*, 30474

değerlendirme yapmaya yönelik potansiyel belirleme çalışmalarına katkı vermek üzere “GEPA (Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası) Albümü” YEGM tarafından hazırlanıp kullanıma sunulmuştur. GEPA uluslararası alanda kanıtlanmış bir model olan “ESRI Güneş Radyasyon Modeli” kullanılarak oluşturulmuştur. Modelde kullanılacak parametrelerin hesaplanması ve model kalibrasyonun yapılması için mülga EİE ve DMİ istasyonlarında 1985-2006 yıllarına ait ve 22 yıl süresince yapılan saatlik güneş ölçüm değerleri kullanılmıştır.⁶⁹

Şekil 1.2’de verilen Türkiye’nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına göre, yıllık toplam güneşlenme süresi 2737 saat (günlük toplamı 7,5 saattir), yıllık toplam gelen güneş enerjisi ise 1527 kWh/m².yıl, yani günlük toplam olarak 4.2 kWh/m² değerinde belirlenmiştir.⁷⁰ Ayrıca ülkemizin bölgesel güneş enerjisi değerleri incelendiğinde, hemen hemen her noktada güneş enerjisinden direk veya dolaylı yararlanma imkanına sahip olduğu değerlendirilmektedir.



Şekil 1.2: Türkiye Güneş Enerjisi potansiyeli Atlası (GEPA) ⁷¹

Türkiye, yıllık 110 gün gibi yüksek bir güneşlenme potansiyeline sahiptir ve gerekli yatırımların yapılması halinde, ülkemizde yılda birim m²'sinden ortalama olarak 1100 kWh'lik güneş enerjisi üretebilir.

⁶⁹ <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Aciklamalar.aspx> Erişim Tarihi: 11 Şubat 2020

⁷⁰ Fatma Ç. Kılıç, s.31

⁷¹ <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx> Erişim Tarihi:10 Şubat 2020

Tablo 1.2’de, Türkiye güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin aylara göre dağılımı verilmiştir. Buna göre yılda toplam 1 cm² alana gelen güneş enerjisi değerinin ortalama 112.74 kcal olduğu ve bu değer ortalama 43.21 kcal/cm²’sinin yani %38,23’lük oranının yaz mevsiminde, 13,92 kcal/cm²’sinin yani %12.35’lik oranının ise kış mevsiminde geldiği belirlenmiştir. Bu değerler mevsimsel olarak yıl içinde en fazla ve en az olarak gelen güneş enerjisi değerleridir.

Tablo 1.2: Türkiye’nin Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin ve Güneşlenme Süresinin Aylara Göre Dağılımı⁷²

Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi (kcal/cm ² -ay) (kWh/m ² -ay)	Güneşlenme Süresi (saat/ay)
Ocak	4.45	51.75
Şubat	5.44	63.27
Mart	8.31	96.65
Nisan	10.51	122.23
Mayıs	13.23	153.86
Haziran	14.51	168.75
Temmuz	15.08	175.38
Ağustos	13.62	158.40
Eylül	10.60	123.28
Ekim	7.73	89.90
Kasım	5.23	60.82
Aralık	4.03	46.87
Toplam	112.74	1311.00
Ortalama	308.0 Cal/cm²-gün	3.6 kWh/m²-gün

Güneş enerjisinin en az geldiği ay 4,03 kcal/cm²’lik değer ile Aralık iken, en fazla geldiği ay ise 15,08 kcal/cm²’lik değer ile Temmuz olduğu belirlenmiştir. Aylık bazda ise en fazla güneşlenme süresinin 365 saat ile Temmuz ayında olduğu, en az güneşlenme süresinin 103’er saat ile Aralık ve Ocak aylarında olduğu belirlenmiştir.

Ayrıca Tablo 1.3’deki verilere göre, ülkemizde yıllık ortalama toplam güneş ışınımının en küçük ve en büyük değerleri sırası ile 1120 kWh/m²-yıl ile Karadeniz Bölgesi’nde ve 1460 kWh/m²-yıl ile Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde gerçekleştiği görülmektedir. Bölgeler arasındaki bu farkın ekvatorial bölgeye yakınlık-uzaklık ilişkisinden kaynaklanıyor olmasının yanı sıra Karadeniz bölgesine gelen güneş enerjisi değerinin düşük olmasının diğer bir nedeni ise bölgedeki nemli havanın fazla olması ve gelen güneş ışınımına perdeleme etkisi yapmasıdır.

⁷² Fatma Ç. Kılıç, s.30

Tablo 1.3: Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı⁷³

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² -Yıl)	Güneşlenme Süresi (Saat/Yıl)
Güneydoğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

Günümüzde güneş enerjisi sistemleri binalarda kullanım suyunun ısıtılmasında, ısıtma ihtiyacının karşılanmasında, yüzme havuzu ve çeşitli tesislerde sıcak su ihtiyacının karşılanmasında, binaların soğutulmasında, bitkilerin kurutulmasında ve elektrik üretiminde giderek artan bir şekilde kullanılmaktadır. Güneş enerjisinin; yüksek potansiyeli, kullanım kolaylığı ve yenilenebilir bir enerji olması gibi avantajlarının yanında, diğer enerji kaynaklarına göre kurulum maliyetinin yüksekliği, veriminin ve kapasite faktörünün kısmen düşük olması gibi bazı teknolojik ve ekonomik dezavantajları da bulunmaktadır. Türkiye’de güneş enerjisinden daha fazla faydalanılması için verime ve maliyete dayalı bazı zorlukların aşılması gerekmektedir. Bu sorunların çözümü ile birlikte, güneş enerjisi üretimi yakın gelecekte çok daha cazip hale gelecektir. Ülkemizin güneş enerjisi potansiyelini bugün için yeterince kullanamaması, bize ülkemizin enerji kaynakları kullanımı konusunda yeni bir anlayış geliştirmesi ve bu yönde çalışılması gerektiğini göstermektedir.

1.7. Güneş Enerjisine İlişkin Yapılan Düzenlemeler ve Getirilen Teşvikler

Türkiye’de güneş enerjisi de dahil olmak üzere elektrik piyasasında yapılan yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili başlıca birincil mevzuat düzenlemeleri;

- 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun (YEK Kanunu),
- 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu (EPK),
- 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu⁷⁴,dur.

⁷³ İbid

⁷⁴ 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu (207, 18 Nisan) T. C. Resmi Gazete, 26510

İkincil mevzuat düzenlemeleri ise;

- Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmelik,
- Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği (EPLY),
- Lisanssız Elektrik Üretimi Yönetmeliği (LÜY),
- Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Enerjisi Üreten Tesislerde Kullanılan Aksamın Yurt İçinde İmalatı Hakkında Yönetmelik⁷⁵,
- Güneş Enerjisine Dayalı Elektrik Üretim Tesisleri Hakkında Yönetmelik⁷⁶,
- Güneş Enerjisine Dayalı Elektrik Üretim Başvurularının Teknik Değerlendirmesi Hakkında Yönetmelik⁷⁷,
- Rüzgâr veya Güneş Enerjisine Dayalı Üretim Tesisi Kurmak Üzere Yapılan Önlisans Başvurularına İlişkin Yarışma Yönetmeliği⁷⁸’dir.

1.7.1. Birincil Mevzuat Çerçevesinde Getirilen Düzenlemeler

5346 sayılı *YEK Kanunu* ile ülkemizde ilk kez destekleme mekanizması uygulanmaya başlanmıştır. Bu mekanizma, piyasanın gelişim sürecine bağlı olarak sonradan değişikliğe uğramıştır. Türkiye’de uygulanan tarife garantisi teşvik politikasının ilk halinde alım garantili fiyatlar, üretim maliyetlerine ve teknoloji çeşidine bakılmaksızın bütün yenilenebilir enerji kaynakları için eşit olarak belirlenmiştir. Kanunun lisanssız elektrik üretim tesisi kuran gerçek ve tüzel kişilerden kesin projesi, planlaması, master planı, ön incelemesi veya ilk etüdü DSİ veya EİE tarafından hazırlanan projeler için hizmet bedellerinin alınmamasına ilişkin hükmü ile lisanssız projeler için dolaylı bir teşvik uygulamasına yer verilmiş, aynı fıkra içerisinde geçen “*Güneş pilleri ve odaklayıcı üniteler kullanan elektrik üretim sistemleri kapsamındaki yapılacak AR-GE ve imalat yatırımları*” ifadesiyle güneş enerjisine ilişkin projelerde bu kapsamda

⁷⁵ Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Enerjisi Üreten Tesislerde Kullanılan Aksamın Yurt İçinde İmalatı Hakkında Yönetmelik (2016, 24 Haziran) *T.C. Resmi Gazete*, 29752

⁷⁶ Güneş Enerjisine Dayalı Elektrik Üretim Tesisleri Hakkında Yönetmelik (2011, 19 Haziran), *T.C. Resmi Gazete*, 27969

⁷⁷ Güneş Enerjisine Dayalı Elektrik Üretim Başvurularının Teknik Değerlendirmesi Hakkında Yönetmelik (2017, 30 Haziran), *T.C. Resmi Gazete*, 30110

⁷⁸ Rüzgâr veya Güneş Enerjisine Dayalı Üretim Tesisi Kurmak Üzere Yapılan Önlisans Başvurularına İlişkin Yarışma Yönetmeliği (2017, 13 Mayıs), *T.C. Resmi Gazete*, 30065

değerlendirilmiştir. Bu hüküm *Kanun*'un güneş pilleri ve güneş ısı elektrik santrallerinden bahseden tek hükmü olmuştur.⁷⁹

5627 sayılı *Enerji Verimliliği Kanunu* ile; 5346 sayılı *Kanun* kapsamında satın alınacak elektrik enerjisi için uygulanacak fiyatın; 5 Euro Cent/kWh karşılığı Türk Lirasından az, 5,5 Euro Cent/kWh karşılığı Türk Lirasından fazla olamayacağına, ancak 5,5 Euro Cent/kWh sınırının üzerinde serbest piyasada satış imkânı bulan yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı lisans sahibi tüzel kişilerin bu imkândan yararlanacağına hükmedilmiştir. O dönemlerde rüzgar ve hidrolik kaynakların kullanımında nisbi artış sağlanmışsa da güneş enerjisi gibi daha az gelişmiş teknolojilerden elektrik üretiminde beklenen artış sağlanamamıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının daha fazla teşvik edilmesi gerekliliğinin sonucunda 5346 sayılı *Kanun*'da 6094 sayılı *Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun* ile değişikliğe gidilerek kaynak bazında teşvik mekanizması ve yerli ürün kullanımında ilave teşvikler olmak üzere önemli düzenlemeler getirilmiştir. Son hali ile *Kanun*'da yer alan teşvik mekanizmaları aşağıda belirtildiği şekildedir:

► **Kaynak bazında farklı destek fiyatları (I sayılı Cetvel) :** Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretimde, tesis tipine göre tarife garantisi fiyatlar belirlenmiştir. Bu çerçevede güneş enerjisine dayalı üretim tesisi için belirlenen fiyat 13,3 sent/kWh'tır.

Tablo 1.4: Kaynak Bazında Farklı Destek Fiyatları⁸⁰

I Sayılı Cetvel (29/12/2010 tarihli ve 6094 sayılı Kanunun hükmüdür.)	
Yenilenebilir Enerji Kaynağına Dayalı Üretim Tesis Tipi	Uygulanacak Fiyatlar (ABD Doları cent/kWh)
a. Hidroelektrik üretim tesisi	7,3
b. Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi	7,3
c. Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi	10,5
d. Biyokütleyle dayalı üretim tesisi (çöp gazı dahil)	13,3
e. Güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	13,3

⁷⁹ Şaban Demir, (2012), “Güneş Enerjisinden Elektrik Üretim Sistemlerinin İncelenmesi ve 5346 sayılı *Kanun*'da Yapılan Düzenleme Sonrasında Türkiye’de Güneş Enerjisi Yatırımlarının Ekonomik Analizi”, *Uzmanlık Tezi*, Ankara, s.139

⁸⁰ 5346 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin *Kanun*’ dan alınmıştır.

► **Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesislerinde kullanılacak yerli aksam için destekleme fiyatı (II sayılı Cetvel) :** Kaynak bazında düzenlenen destekleme mekanizmasıyla beraber yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretim tesislerinde kullanılacak yerli makine ve ekipmanlar için ilave teşvik mekanizması oluşturulmuştur. Yerli aksam kapsamında ilave destekleme fiyatından yararlanmak için 31/12/2020 tarihine kadar işletmeye girecek olan yenilenebilir enerji üretim tesislerinde kullanılan mekanik ve/veya elektro-mekanik aksamın yurt içinde imal edilmiş olması gerekmektedir. Söz konusu tesislerde üretilerek iletim veya dağıtım sistemine verilen elektrik enerjisi için Kanuna ekli I sayılı Cetvelde belirtilen fiyatlara, üretim tesisinin işletmeye giriş tarihinden itibaren beş yıl süreyle Kanuna ekli II sayılı Cetvelde belirtilen fiyatlar ilave edilmektedir. Tablo 1.5’de yer alan II Sayılı cetvelde görüldüğü üzere, tesisin kurulumunda yurt içinde üretilmiş mekanik ve/veya elektro-mekanik aksam kullanıldığı takdirde, her bir aksam başına 0,5 ile 3,5 sent/kWh arasında ilave fiyat desteği verilmektedir. Güneş enerjisine dayalı elektrik üretim santralleri için ünitelerin tamamen yerli olması durumunda Kanun’da 13,3 sent/kWh olan fiyat desteği, FV’ler için 20 sent/kWh’e yükselebilmektedir.

Tablo 1.5: Fotovoltaik Güneş Enerjisine Dayalı Üretim Tesislerinde Kullanılacak Yerli Aksam İçin Destekleme Fiyatı⁸¹

II Sayılı Cetvel (29/12/2010 tarihli ve 6094 sayılı Kanunun hükmüdür.)		
C- Fotovoltaik güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	1- PV panel entegrasyonu ve güneş yapısal mekaniği imalatı	0,8
	2- PV modülleri	1,3
	3- PV modülünü oluşturan hücreler	3,5
	4- İnvertör	0,6
	5- PV modülü üzerine güneş ışığını odaklayan malzeme	0,5

Ayrıca YEK Kanunu’ nun “Diğer uygulamalar” başlıklı 6/C maddesinde yer alan “Bu Kanunun yürürlüğe girdiği tarihten itibaren altı ay içerisinde, 31/12/2015 tarihine kadar her yıl güneş enerjisine dayalı üretim tesislerinin bağlanabileceği trafo merkezleri ve bağlantı kapasiteleri, EİE İdaresi’nin ve TEİAŞ’ın teknik görüşleri alınarak Bakanlık tarafından belirlenir ve yayımlanır. 31/12/2015 tarihinden sonraki yıllara ait bağlantı

⁸¹ 5346 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun’ dan alınmıştır.

kapasiteleri ve trafo merkezleri, ilki 1/4/2014 tarihinde olmak üzere her yıl Bakanlık tarafından belirlenir ve yayımlanır.” hükmü ile “31/12/2013 tarihine kadar iletim sistemine bağlanacak YEK Belgeli güneş enerjisine dayalı üretim tesislerinin toplam kurulu gücü 600 MW’dan fazla olamaz. 31/12/2013 tarihinden sonra iletim sistemine bağlanacak YEK Belgeli güneş enerjisine dayalı üretim tesislerinin toplam kurulu gücünü belirlemeye Cumhurbaşkanı yetkilidir.” hükümleri doğrultusunda güneş enerjisine dayalı üretim tesislerinin trafo merkezleri ve bağlantı kapasiteleri 600 MW’lık sınır dahilinde Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından ilan⁸² edilmiş, söz konusu ilan 11/08/2011 tarih 28022 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanmıştır. Ayrıca ilgili maddede güneş enerjisine dayalı üretim tesisleri için toplam kurulu gücü belirlemeye Cumhurbaşkanının yetkili olduğu düzenlenmiştir. 2013 yılı başvuruları için belirlenen bu 600 MW’lık kapasite, ilerleyen yıllarda güneş enerjisine dayalı elektrik üretim tesisleri için lisans başvurularının alınmaması sebebiyle güncellenmemiştir.

6446 sayılı EPK’da ise güneş enerjisine dayalı üretim tesisleri için; önlisans başvurusunun değerlendirilmesi aşamasında üretim tesisinin kurulacağı sahanın maliki tarafından başvuru yapılması durumunda, aynı saha için yapılan diğer başvuruların dikkate alınmayacağı, başvurularda tesisin kurulacağı saha üzerinde ve/veya sahayı temsil edecek son sekiz yıl içinde elde edilmiş standardına uygun belirli süreli ölçüm verisi bulunması zorunluluğu, değerlendirme aşamasında aynı bağlantı noktasına ve/veya aynı bağlantı bölgesine bağlanmak için birden fazla başvurunun bulunması halinde başvurular arasından ilan edilen kapasite kadar sisteme bağlanacak olanları belirlemek için TEİAŞ tarafından, 5346 sayılı Kanun kapsamında YEKDEM’den yararlanabileceği sürelerde geçerli olmak ve aynı Kanuna ekli (II) sayılı cetvelde belirtilen hakları da saklı olmak üzere Kanuna ekli (I) sayılı cetvelde yer alan fiyatlar üzerinden en düşük fiyatın teklif edilmesi esasına dayanan yarışma yapılması zorunluluğu getirilmiştir.

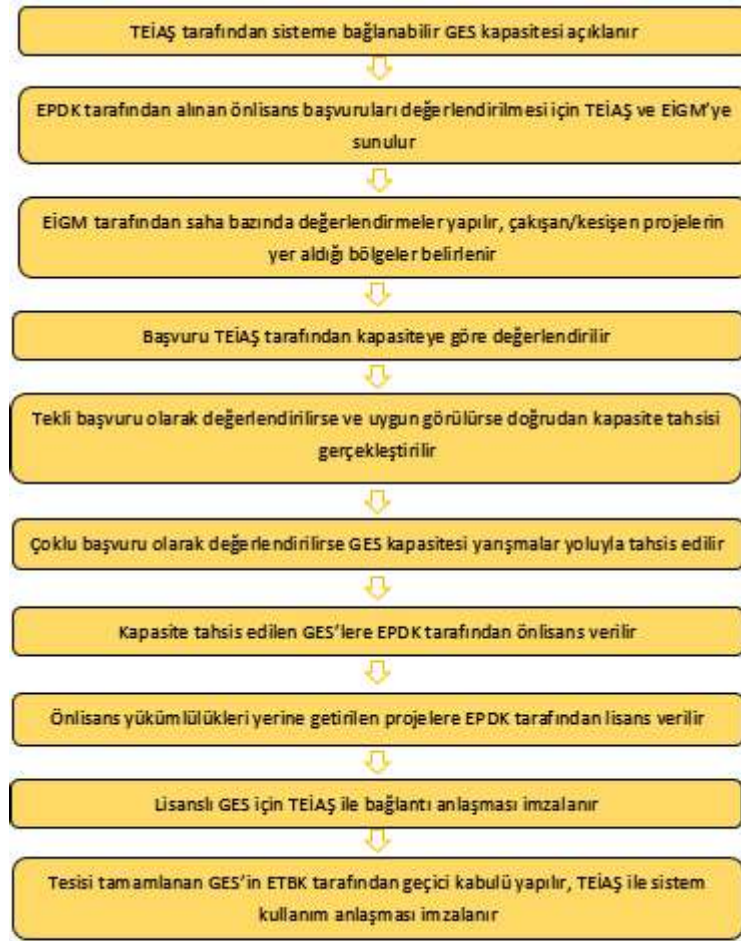
1.7.2. İkincil Mevzuat Çerçevesinde Getirilen Düzenlemeler

Bu çerçevede yapılan düzenlemeler, projelere ilişkin süreçler ile birlikte lisanslı GES ve lisanssız GES olarak değerlendirebilir.

⁸² T.C. Resmi Gazete, “Çeşitli İlanlar”, 11 Ağustos 2011 <https://www.resmigazete.gov.tr/ilanlar/eskiilanlar/2011/08/20110811-4.htm#%C3%A707> Erişim Tarihi: 07 Mart 2020

1.7.2.1. Lisans Yönetmeliği ve Güneş Enerjisi Piyasasındaki Lisanslı Projelere İlişkin Gelişmeler

EPLY ile uygulamaya konulan önlisans ve lisanslandırma işlemlerine ilişkin usul ve esaslar kapsamında güneş enerjisine dayalı üretim tesisleri için; *EPK*'nın 23 üncü maddesi çerçevesinde, TEİAŞ'ın 1 Mayıs tarihine kadar takip eden on yıl için olmak üzere bağlantı noktasına göre ve/veya bölgesel bazda sisteme bağlanabilecek güneş enerjisine dayalı üretim tesisi kapasitesini EPDK'ya bildirmesi gerekmektedir. *Yönetmelik* kapsamında üretim tesisinin kurulacağı sahanın maliki tarafından önlisans başvurusu yapılması durumunda aynı saha için yapılan diğer başvuruların Enerji Piyasası Kurul Kararı ile reddedileceği düzenlenmiştir. Ayrıca Yönetmeliğin "*Rüzgâr ve Güneş Enerjisine Dayalı Önlisans Başvurularına İlişkin Ölçüm Standardı*" başlıklı yedinci bölümünde "*Rüzgâr ve güneş ölçümlerine ilişkin yükümlülük*" başlıklı 37 nci maddesinin birinci fıkrasında; güneş enerjisine dayalı üretim tesisi kurmak üzere önlisans başvurularında, tesisin kurulacağı saha üzerinde, son sekiz yıl içinde elde edilmiş, 6 ayı yerinde olmak üzere, en az bir yıl süreli ölçüm yapılması zorunlu olduğu ifade edilmiştir. Söz konusu bölümde ayrıca ölçüm istasyonlarının yapısına, ölçüm süresine, ölçümlerin sahayı temsil etme koşullarına ilişkin düzenlemeler getirilmiştir. "*Güneş enerjisine dayalı başvurular*" başlıklı Geçici 3 üncü madde ile 31/12/2013 tarihine kadar iletim sistemine bağlanacak YEK Belgeli güneş enerjisine dayalı üretim tesislerinin toplam kurulu gücü 600 MW'dan fazla olamayacağı, *YEK Kanunu*'nun 6/C maddesinin beşinci fıkrası kapsamında güneş enerjisine dayalı üretim tesisi kurulması için yapılan önlisans başvurularında, başvuruya konu her bir üretim tesisinin kurulu gücünün 50 MW'ı geçemeyeceği zorunluluğu getirilmiştir. "*Rüzgâr veya güneş enerjisine dayalı önlisans başvuruları*" başlıklı Geçici 17 nci madde ile; *Yönetmeliğin* yürürlüğe girdiği tarihten itibaren 1 ay içerisinde *EPK*'nın 23 üncü maddesi çerçevesinde, önlisans başvurusu için TEİAŞ tarafından EPDK'ya bildirilen bağlanabilir üretim tesisi kapasitesi çerçevesinde, söz konusu bildirim tarihinden itibaren 16 ay sonrasına tekabül eden ayın ilk beş iş gününde güneş enerjisine dayalı başvuruların yapılacağı düzenlenmiştir. Şekil 1.3'te güneş enerjisine dayalı bir elektrik üretim tesisi için lisanslama süreci verilmektedir.



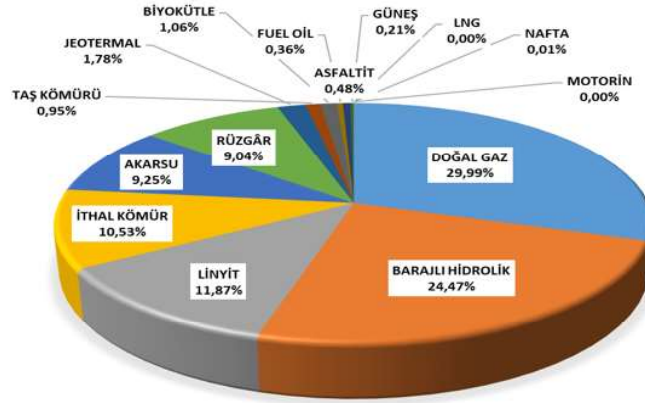
Şekil 1.3: Lisanslı GES Projesi İçin Lisanslama Süreci⁸³

11/08/2011 tarihli Resmi Gazete'deki ⁸⁴ ilanla 2013 yılı sonuna kadar yapılacak 600 MW'lık GES yatırımlarının yapılacağı iller belirlenmiştir. Söz konusu kapasite, toplam ortalama yıllık ışıınım değerleri ve güneşlenme süreleri dikkate alınarak 27 bölgede 38 ile dağıtılmıştır. Söz konusu iller arasında en büyük kapasite Konya'ya (Konya I ve Konya II olmak üzere toplam 92 MW) verilmiş olup bu ili sırasıyla Van (77 MW) ve Mersin (35 MW) illeri takip etmiştir. 2013 yılında güneş enerjisine dayalı elektrik üretim kapasitesi için toplam 7.930 MW kurulu güçteki 496 adet lisans başvurusu gerçekleşmiştir. 2019 yılı Mayıs ayı itibarıyla GES'lerin toplam kurulu gücü 234,36 MW'a ulaşmıştır. Yatırımların gerçekleştirilme durumuna göre gelecek yıllarda lisanslı GES üretim kapasitesinin artması beklenmektedir. Bu projelerden toplam güçleri 81,66

⁸³ **Kaynak:** Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği

⁸⁴ T.C. Resmi Gazete, "Çeşitli İlanlar", 11 Ağustos 2011. <https://www.resmigazete.gov.tr/ilanlar/eskiilanlar/2011/08/20110811-4.htm#%C3%A707> Erişim Tarihi: 05 Mart 2020

MW olan 9 adedi devreye girmiş durumda iken, kurulu güçleri 152,7 MW olacak 14 adedinin inşa çalışmaları devam etmektedir.⁸⁵



Şekil 1.4: 2020 Yılı Nisan Ayı Sonu İtibariyle Lisanslı GES'lerin Kurulu Gücünün Kaynak Bazında Dağılımı (%) ⁸⁶

1.7.2.2. Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik ve Güneş Enerjisi Piyasasındaki Lisanssız Projelere İlişkin Gelişmeler

Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmeliğin (LÜY) ilk halinde kendi ihtiyaçlarını karşılamak üzere kurulu gücü azami 500 kW olan mikrokojenerasyon veya yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisi kuran gerçek ve tüzel kişiler lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğünden muaf tutulmuştur. 6446 sayılı EPK ile lisanssız yürütülebilecek faaliyetler için belirlenen kurulu güç üst sınırı 500 kW'den 1 MW'ye çıkarılmıştır. Daha sonra 09/05/2019 tarihli ve 1044 sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi ile kurulu güç üst sınırı 5 MW'ye çıkarılmıştır.

Aynı yerde bulunan ya da bulunmayan üretim ve tüketim tesislerine dengeleme mekanizmasının gerektirdiği haberleşmeyi sağlayabilecek çift yönlü ölçüm yapabilen saatlik sayaç takılmaktadır. İlgili şebeke işletmecisi, LÜY kapsamında üretim yapan kişilerin üreterek şebekeye verdikleri ihtiyaç fazlası elektrik miktarını, çift yönlü sayaçtan elde edilen tüketim ve üretim verilerini bir araya getirerek saatlik bazda mahsuplaşma yöntemiyle (üretim-tüketim) belirlemektedir. Üretim ve tüketim tesisi farklı yerde ise,

⁸⁵ <https://www.solar.ist/gunes-enerjisinde-kurulu-guc-54-gwye-ulasti/> Erişim Tarihi: 08 Mart 2020

⁸⁶ Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, "Aylık Sektör Raporu", Ankara 2020, <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-23-3/elektrikaylik-sektor-raporlar> Erişim Tarihi: 06 Mart 2020

üretim sayacından elde edilen veriler ile tüketim sayacındakiler saatlik bazda mahsuplaştırılmaktadır.

Şebeke işletmecisi, aylık periyotlarla, kaynak bazında ve her bir lisanssız üretici için ayrı değerler olarak toplam ihtiyaç fazlası üretim miktarına ilişkin saatlik verileri görevli tedarik şirketine bildirmektedir. Görevli tedarik şirketi, ihtiyaç fazlası elektrik enerjisini *YEK Kanunu*'na ekli I sayılı cetvelde kaynak bazında belirlenen fiyattan, YEKDEM kapsamında değerlendirilmek üzere, on yıl süreyle satın almaktadır. Sonrasında, tedarik şirketi YEKDEM kapsamında satın almakla yükümlü olduğu enerji miktarı için her bir üreticiye fatura döneminde yapacağı ödeme tutarını hesapladıktan sonra piyasa işletmecisine göndermekte, piyasa işletmecisi tarafından kendisine yapılan ödemeyi ilgili üreticilere ödemektedir. Güneş enerjisine dayalı elektrik üreticilerinin ürettikleri *LÜY* kapsamındaki ihtiyaç fazlası elektrik ilgili tedarik şirketi tarafından üretilip sisteme verilmiş varsayılmaktadır. Şekil 1.5'te güneş enerjisine dayalı bir lisanssız elektrik üretim tesisinin kurulum süreci verilmektedir.



Şekil 1.5: Lisanssız GES Projesinin Kurulum Süreci⁸⁷

⁸⁷ **Kaynak:** Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği

Ayrıca, LÜY ile lisanslı elektrik üretim faaliyetinden ilgili tüzel kişinin başvuruda bulunması halinde lisanssız geçiş imkânı sağlanmıştır. Burada lisanslı güneş enerjisine dayalı üretim tesisinin geçici kabulünün yapılmış ve işletmeye geçmiş olması gerekmektedir. Ancak üretilen elektriğin bir kısmının ya da tamamının mevcut bir tüketim tesisi tarafından tüketiliyor olması şarttır.

Lisanssız elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımında, 2019 yılı Aralık ayı itibariyle güneş enerjisine dayalı lisanssız tesisler %92,86'lık pay sahibidir. Bu payın %0,01'ini 0,50 MW ile yoğunlaştırılmış güneş teknolojisi, %92,85'ini ise fotovoltaik sistemler oluşturmaktadır. 2019 Aralık ayı itibariyle lisanssız güneş enerjisi toplam kurulu güç değeri (fotovoltaik sistemler için) 5.666,25 MW'tır.⁸⁸

Tablo 1.6: 2019 Yılı Aralık Ayı Sonu İtibariyle Lisanssız GES'lerin Kurulu Gücünün Kaynaklara Göre Dağılımı (MW)

Kaynak Türü	Kurulu Güç (MW)	Oran (%)
Güneş (Fotovoltaik)	5.666,25	92,85
Doğal gaz	248,55	4,07
Biyokütle	89,88	1,47
Rüzgâr	86,68	1,42
Hidrolik	10,93	0,18
Güneş (Yoğunlaştırılmış)	0,50	0,01
Genel Toplam	6.102,79	100,00

1.7.3. Mevzuatta Yer Alan Diğer Düzenlemeler

- 5346 sayılı YEK Kanunun 5, 6, 6/A, 6/B, 6/C ve 11 inci maddeleri ile 6446 sayılı EPK'nın 14 üncü maddesi hükümlerine dayanılarak ve YEKDEM'in kuruluşunu ve işleyişini düzenlemek amacıyla *Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmelik* hazırlanmıştır.

- 5346 sayılı Kanuna ekli II sayılı cetvelde yer alan fiyatların belgelendirilmesi, denetlenmesi, yurt içinde imalatının kapsamının tanımı, standartları ve sertifikasyonu ile ilgili usul ve esasları belirlemek amacıyla *Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik*

⁸⁸ Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, "Aylık Sektör Raporu", Ankara 2020, <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-23-3/elektrikaylik-sektor-raporlar> Erişim Tarihi:06 Mart 2020

Enerjisi Üreten Tesislerde Kullanılan Aksamın Yurt İçinde İmalatı Hakkında Yönetmelik hazırlanmıştır. Söz konusu *Yönetmelik* ile, yerli katkı ilave payının tespitinde tesis tipine (hidroelektrik, rüzgâr, güneş, biyokütle vb.) göre sınıflandırma yapılmış olup her bir aksam grubu ya da aksam grubunu oluşturan bütünleştirici parçalar için yüzde olarak yerli aksam oranları belirlenmiştir.

- *Güneş Enerjisine Dayalı Elektrik Üretim Tesisleri Hakkında Yönetmelik* ile güneş enerjisine dayalı elektrik üretim tesislerinde kullanılan aksamın sahip olması gereken standartlar, test yöntemleri ve denetimi, ayrıca güneş enerjisine dayalı veya güneş enerjisi ile birlikte diğer enerji kaynağı kullanan hibrit tesislerde üretilen elektrik enerjisi içerisindeki güneş enerjisine dayalı üretim miktarlarının denetimi amaçlanmaktadır. *Yönetmelikte* denetim işleminin mülga EİE tarafından gerçekleştirileceği belirtilmiştir.

- *Güneş Enerjisine Dayalı Elektrik Üretim Başvurularının Teknik Değerlendirmesi Hakkında Yönetmelik* ile elektrik enerjisi üretiminde güneş enerjisinin etkin ve verimli kullanımını sağlamak amacıyla güneş enerjisine dayalı yapılan başvurular hakkında verilecek teknik görüşün oluşturulmasına ilişkin usul ve esaslar belirlenmektedir.

- *EPK'nın 7 nci maddesinin dördüncü fıkrasına dayanılarak hazırlanan Rüzgâr veya Güneş Enerjisine Dayalı Üretim Tesisleri Kurmak Üzere Yapılan Önlisans Başvurularına İlişkin Yarışma Yönetmeliği*; rüzgâr veya güneş enerjisine dayalı üretim tesisi için yapılan önlisans başvurularından aynı bağlantı bölgesine bağlanmak için ilan edilen kapasiteden fazla başvuru bulunması halinde ve/veya aynı sahaya birden fazla başvuru bulunması halinde, başvurular arasından ilan edilen kapasite kadar sisteme bağlanacak olanları belirlemek için TEİAŞ tarafından -*YEK Kanunu* kapsamında tesislerin YEKDEM'den yararlanabileceği sürelerde geçerli olmak ve 5346 sayılı Kanunun eki (II) sayılı cetvelde belirtilen hakları saklı kalmak kaydıyla- 5346 sayılı Kanunun eki (I) sayılı cetvelde yer alan fiyatlar üzerinden en düşük fiyatın teklif edilmesi esasına göre yapılacak yarışmaya ilişkin usul ve esasları kapsar.

1.8. Türkiye’de Güneş Enerjisi Uygulamaları

Türkiye’de güneş enerjisi uygulamaları ısı güneş teknolojileri ve fotovoltaik (FV) güneş teknolojisi olarak iki ana grupta ele alınmaktadır. Isıl güneş teknolojilerinde öncelikle güneş enerjisinden ısı elde edilir, bu ısı doğrudan kullanılabileceği gibi elektrik üretiminde de kullanılabilir. Fotovoltaik (FV) güneş teknolojisinde ise, fotovoltaik hücreler denen yarı iletken malzemeler güneş ışığını doğrudan elektriğe çevirirler.⁸⁹

1.8.1. Isıl Güneş Teknolojileri

Isı üretimi amaçlı güneş enerjisi uygulamaları kendi içerisinde düşük sıcaklık ve yoğunlaştırıcı sistemler olarak iki gruba ayırmak mümkündür. Türkiye’de 1970’li yılların sonundan itibaren giderek yaygınlaşan ısı güneş teknolojileri Akdeniz, Ege, Güneydoğu ve İç Anadolu bölgelerinde sıcak su üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır.⁹⁰

1.8.1.1. Düşük Sıcaklık Sistemleri

Güneş enerjisinin en yaygın ve en çok bilinen kullanımlarından biri olan düzlemsel güneş kolektörleri, daha yüksek sıcaklıklara ulaşan vakumlu güneş kolektörleri veya güneş havuzları, güneş bacaları gibi uygulamalar düşük sıcaklık sistemlerine örnek verilebilir.

Düzlemsel Güneş Kolektörleri: Özellikle evlerde sıcak su eldesi ve ısıtma amacı ile kullanılan bu sistemler, güneş enerjisini toplayarak suya ya da ısı transferini gerçekleştiren bir akışkana ısı olarak aktaran çeşitli tür ve biçimlerde imal edilirler. Ulaştıkları sıcaklık 70°C civarındadır. Bu sistemler evlerin yanında, yüzme havuzları ve sanayi tesisleri için de sıcak su sağlanmasında kullanılır.⁹¹

Vakumlu Güneş Kolektörleri: Vakumlu güneş kolektörlerinin çıkışları daha yüksek sıcaklıkta (100- 120°C) olduğu için, düzlemsel kolektörlerin kullanıldığı yerlerde ve ayrıca yiyecek dondurma, bina soğutma gibi daha geniş bir yelpazede kullanılabilirler.

⁸⁹ http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx Erişim Tarihi: 26 Şubat 2020

⁹⁰ Fatma Çanka Kılıç, s.37

⁹¹ http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx Erişim Tarihi: 28 Şubat 2020

Bu sistemlerde, vakumlu cam borular ve gerekirse absorban yüzeyine gelen enerjiyi artırmak için metal ya da cam yansıtıcılar kullanılır.⁹²

Güneş Havuzları: Güneş havuzları, tuzlu suyun kaynama noktasının altındaki sıcaklıklarda güneş enerjisinin toplanmasını ve depolanmasını sağlar. Yaklaşık 5-6 metre derinlikteki suyla kaplı havuzun siyah renkli zemini, güneş ışınımını yakalayarak 90°C sıcaklıkta sıcak su eldesinde kullanılır. Havuzdaki ısının dağılımı suya eklenen tuz konsantrasyonu ile düzenlenir, tuz konsantrasyonu üstten alta doğru artar. Böylece en üstte soğuk su yüzeyi bulursa bile havuzun alt kısmında doymuş tuz konsantrasyonu bulunan bölgede sıcaklık yüksek olur. Sıcak su bir eşanjöre pompalanarak ısı olarak yararlanılabileceği gibi Rankin çevrimi ile elektrik üretiminde de kullanılabilir.⁹³

Güneş Bacaları: Güneş bacalarında, güneşin ısı etkisinden dolayı oluşan hava hareketinden yararlanılarak elektrik üretilir. Güneşe maruz bırakılan şeffaf malzemeyle kaplı bir yapının içindeki toprak ve hava, çevre sıcaklığından daha çok ısınacaktır. Isınan hava yükseleceği için, çatı eğimli yapıp, hava akışı çok yüksek bir bacaya yönlendirilirse baca içinde 15 m/sn hızda hava akışı -rüzgar- oluşacaktır. Baca girişine yerleştirilecek yatay rüzgar türbini bu rüzgarı elektriğe çevirecektir. Bir tesisin gücü 30-100 MW arasında olabilir. Deneysel bir kaç sistem dışında uygulaması yoktur.⁹⁴

1.8.1.2. Yoğunlaştırıcı Sistemler

Isıl uygulamaların 300 °C'nin üzerine çıkılmasını gerektiren yüksek sıcaklık uygulamalarında, geniş bir alana gelen güneş ışınımı bir noktaya odaklanarak kızgın buhar elde edilir ve söz konusu buhar elektrik üretiminde kullanılır. Bu şekilde elde edilen kızgın buhar, genellikle endüstriyel tesislerde enerji üretiminde kullanılır. Parabolik oluk kollektörü, parabolik çanak kollektörü ya da merkezi alıcı tipte (güneş enerjisi yoğunlaştırıcıları) yoğunlaştırıcı sistemlere örnek olarak verilebilir. Yoğunlaştırıcı sistemlerde güneş enerjisi, yansıtıcı veya ışın kırıcı yüzeyler yardımı ile doğrusal ya da noktasal olarak yoğunlaştırılmaktadır.⁹⁵

⁹² http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx Erişim tarihi: 28 Şubat 2020

⁹³ http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx Erişim Tarihi:28 Şubat 2020

⁹⁴ http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx Erişim Tarihi:28 Şubat 2020

⁹⁵ Şaban Demir , s.9 (Alıntı: European Solar Thermal Power Industry Assosiation (ESTIA), International Energy Agency(IEA), Solar Paces, Greenpace, Concentrated Solar Thermal Power-Now, Eylül 2005, s.8)

Doğrusal Yoğunlaştırıcılar: Parabolik oluk kolektörler, kesiti parabolik olan ve doğrusal yoğunlaştırma yapan dizilerden oluşur. Oluğun iç kısmındaki yansıtıcı yüzeyler, güneş enerjisini parabolün odağında yer alan ve boydan boya uzanan siyah bir absorban boruya yansıtır. Orta derecede sıcaklık isteyen uygulamalarda kullanılan bu sistemlerde, güneş enerjisi bir doğru üzerinde yoğunlaştırılacağından tek boyutlu hareket ile güneşi izlemek yeterlidir.⁹⁶

Noktasal Yoğunlaştırıcılar: İki boyutta güneşi izleyip noktasal yoğunlaştırma yapan ve daha yüksek sıcaklıklara ulaşan bu tür sistemler, *Parabolik Çanak* ve *Merkezi Alıcı* olmak üzere iki gruba ayrılır. Parabolik çanak kolektörler iki eksenle güneşi takip ederek sürekli olarak güneşi odak noktasında yoğunlaştırırlar. Merkezi alıcı sistemde, tek tek odaklama yapan ve heliostat adı verilen düzlemsel aynalardan oluşan bir alan, güneş enerjisini, bir kule üzerine monte edilmiş ve alıcı denilen ısı eşanjörüne yansıtır. Heliostatlar bilgisayar tarafından kontrol edilir, alıcının devamlı güneş alması sağlanır.⁹⁷

1.8.2. Fotovoltaik Güneş Teknolojileri

Fotovoltaik Yunanca, ışık anlamına gelen “*photo*” ve gerilim anlamına gelen ve “*voltaic*” kelimelerinin birleşmesinden oluşur. Fotovoltaik teknolojisi ile ilgili çalışmalar yaklaşık yüz seneden fazla bir zamandan beri süregelmektedir. Fotovoltaik hücreler (güneş hücreleri), ilk kez 1839 yılında Edmond Becquerel tarafından araştırılmıştır. Fotovoltaik sistemler güneş pilleri olarak da adlandırılır.⁹⁸

Güneş ışınlarından faydalanmak için kullanılan bir diğer teknoloji türü olan fotovoltaik güneş teknolojisi, başlangıçta küçük ölçekli elektrik ihtiyacının karşılanmasına yönelik evsel sistemler şeklinde ele alınmasına rağmen, günümüzde kullanımı giderek yaygınlaşmış ve büyük çaplı elektrik üretim tesislerinin kurulumunda da kullanılır hale gelmiştir.

Ülkemizde fotovoltaik sistemler konusunda çalışmalar 1980 ve 1990’lı yıllarda başlamıştır. Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Laboratuvarında güneş hücreleri ile çalışan

⁹⁶ http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx Erişim Tarihi:29 Şubat 2020

⁹⁷ http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx

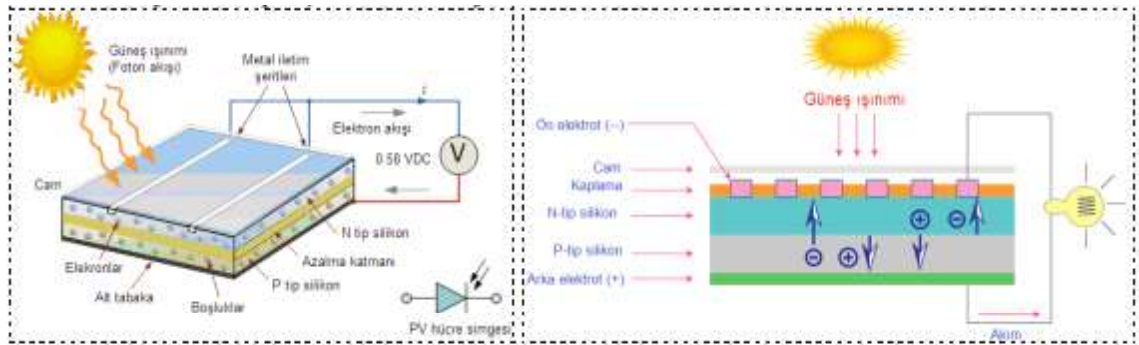
⁹⁸ H.Hüseyin Öztürk, “Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Yöntemle Elektrik Üretiminde Güç Dönüşüm Verimi ve Etkili Etmenler”, V. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi Bildirileri, 2017 http://www.emo.org.tr/ekler/3a921ffad054cb0_ek.pdf Erişim Tarihi:28 Şubat 2020

ısı sistemi kurulmuş, öte yandan Afyon, Göcek, Uşak ve Kahramanmaraş'a telekomünikasyon amaçlı dört adet güneş hücresinden oluşan ve toplam kurulu gücü yaklaşık 50 kWp olan güneş enerjisi sistemi kurulmuştur. Mülga EİE tarafından Didim'de güneş hücreleri ile çalışan laboratuvar ölçekli ilk santral tesis edilmiştir. Güneş enerjisi ve güneş pilleri konusunda dünyada yaşanan gelişmeler ile birlikte ülkemizde de güneş enerjisi kullanım alanları çoğalmış ve zamanla güneş hücrelerinden; ulaşım araçları, aydınlatmalar, trafik ışıkları gibi gündelik şekilde de faydalanılmaya başlanılmıştır.⁹⁹

1.8.2.1. Fotovoltaik Hücre ve Çalışma Prensibi

Fotovoltaik hücreler yarı iletken bir diyot olarak görev yaparlar ve güneş ışığının taşıdığı enerjiyi fotoelektrik reaksiyondan faydalanarak, direkt olarak elektrik enerjisine dönüştürürler.

Yarı iletken maddelerin güneş pili olarak kullanılabilmesi için N ya da P tipi olarak katkılanmaları gereklidir. Katkılanma işlemi, saf yarı iletken eriyik içerisine istenilen katkı maddelerinin denetimli olarak ilave edilmesiyle gerçekleştirilir. Elde edilen yarı iletkenin N ya da P tipi olması katkı maddesine bağlı olarak değişir. N ve P tipi yarı iletkenler bir araya gelmeden önce her iki madde de elektriksel bakımdan nötr durumdadır. PN eklem oluştuğunda, N tipindeki çoğunluk taşıyıcısı olan elektronlar, P tipine doğru akım oluşturur ve bu durum her iki tarafta da yük dengesi oluşana kadar devam eder ve böylece elektrik akımı oluşur.¹⁰⁰



Şekil 1.6: a) FV Hücresinin Çalışma Yapısı

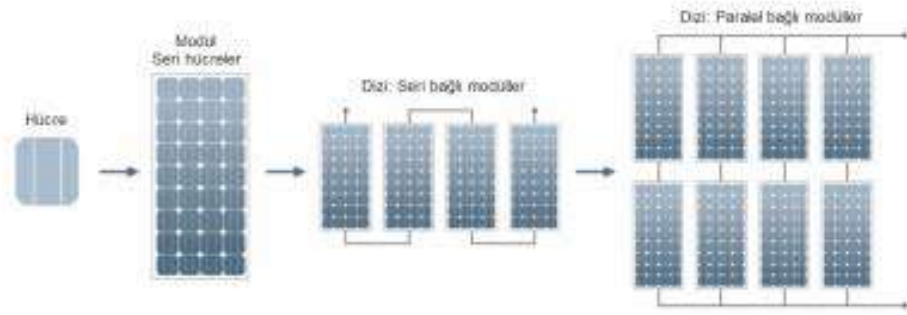
b) FV Hücresinin Yapısı¹⁰¹

⁹⁹ Kutay Kaleli, "Türkiye'de PV Sektörünün Gelişimi", (Basılmamış Bildiri Metni), Fotovoltaik Çalıştayı (05.10.2017), dzl. GÜNDER, Ankara 2017 <https://www.fmo.org.tr/wp-content/uploads/2017/10/kutay-kaleli-3-pv-calistayi.pdf> Erişim Tarihi:28 Şubat 2020

¹⁰⁰ Fatma Çanka Kılıç, s.38

¹⁰¹ H.Hüseyin Öztürk, s. 2

Yarı iletken madde olan fotovoltaik hücrelerin yüzeyleri kare, dikdörtgen veya daire şeklinde biçimlendirilebilir, alanları genellikle 100 cm² civarında olmakla birlikte, kalınlıkları 0,1 ile 0,4 mm arasında değişebilir. Yapısına bağlı olarak genellikle %5 ile %30 arasında bir verimle güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirebilir. Birçok sayıda fotovoltaik hücre, birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir. Bu sayede, bir kaç Watt'tan, mega Watt değerine kadar güç değerlerine ulaşılır ve güç çıkışının artırılması sağlanır. Elde edilen bu oluşum güneş hücresi modülü veya fotovoltaik modül olarak adlandırılır.¹⁰²



Şekil 1.7: FV Hücre, Modül ve Dizi Tasarımları¹⁰³

1.8.2.2. FV Sistem ve Elemanları

Çeşitli FV modüllerinin gerilimi ve/veya akımı artırmak için seri ve/veya paralel olarak bağlanmasıyla, elektrik akımının meydana geldiği ana yapı olan FV dizi oluşturulmaktadır. Ardından, modül haricindeki diğer sistem elemanları (FV sistem dengeleyicileri olarak da bilinen) sisteme dahil edilmektedir. FV sistem dengeleyicilerini; evirici, güç kontrol sistemleri (şarj kontrolör), enerji depolama aygıtları (akü) ve diğer sistem dengeleyicileri olarak dört ana bölüme ayırmak mümkündür. Evirici, modülde doğru akımla (DC)¹⁰⁴ üretilen elektriği alternatif akıma (AC)¹⁰⁵ çevirmekte, güç kontrol sistemleri FV sistemdeki gerilim değişimlerini dengede tutmakta, enerji depolama aygıtları üretilen elektriği daha sonra kullanılması amacı ile depolamaktadır. Sistemin bağlantılarını sağlayan diğer sistem dengeleyici unsurlar; kablolar, bağlantı elemanları, devre anahtarları (şalterler), kablo bağlantı kutuları, elektrik sigortalarından

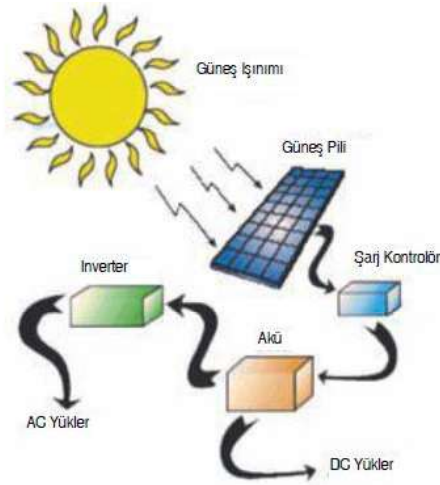
¹⁰² http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx Erişim Tarihi:29 Şubat 2020

¹⁰³ H.Hüseyin Öztürk, s.2

¹⁰⁴ **Doğru akım:** Elektrik yüklerinin yüksek potansiyelden alçak olana doğru sabit olarak akmasıdır.

¹⁰⁵ **Alternatif akım:** Genliği ve yönü periyodik olarak değişen elektriksel akımdır.

oluşmaktadır. FV paneller ve sistem dengeleyicilerinin bir araya getirilmesi sonucunda FV sistem teknolojisi kuruluma hazır hale gelmektedir.



Şekil 1.8: Güneş Pili Elektrik Üretimi ve Akış Diyagramı

1.8.2.3. FV Hücre Çeşitleri

Güneş pilleri değişik tip ve özelliklere sahiptir. Üretim teknolojisine göre birinci, ikinci ve üçüncü nesil güneş pilleri olarak adlandırılan güneş pillerinin % 83'ü birinci nesil silikon esaslı güneş pilleridir. Günümüzde güneş pillerinin ulaşılan en yüksek verim değeri %43,5'dir.¹⁰⁶ Kullanılan temel malzeme (yarı-iletken), üretim şekilleri ve hücrelerin çalışma prensipleri temelde benzerdir. Ancak güneş pillerinin verimliliği, güneş enerjisinden üretilen elektrik miktarını doğrudan etkiler.

Kullanılan yarı iletken çeşidi ve ticari olgunluk kriterine bağlı olarak FV sistem teknolojilerini kristal silikon, ince film ve gelişmekte olan yeni FV teknolojileri olmak üzere üç ana grupta sınıflandırabiliriz.

Kristal silikon fotovoltaik teknoloji: FV hücrelerde yarı iletken malzeme olarak kristal silikonun (silisyum) kullanıldığı sistemlere kristal silikon teknolojisi denilmektedir. Kristal silikon (c-Si) ilk nesil FV panellerinde kullanılmıştır ve dünya çapında FV üretiminde %95'lik pay tutmaktadır. Ana malzemesinin silikon olması kristal

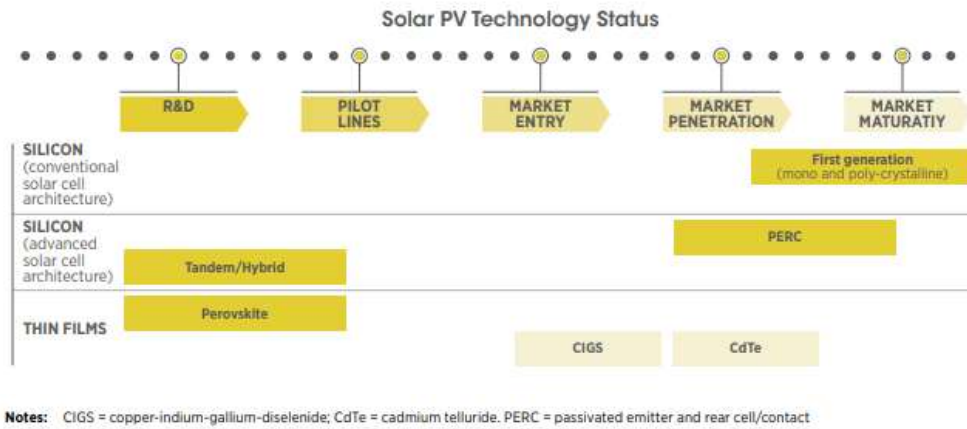
¹⁰⁶ Necdet Altıntop ve Doğan Erdemir, "Dünyada ve Türkiye'de Güneş Enerjisi ile İlgili Gelişmeler" Mühendis ve Makina, 2013, Cilt 54, S: 639, s. 74.

silikonu ekonomik açıdan daha makul ve diğer maddelerle karşılaştırıldığında oldukça verimli yapar.

İnce film fotovoltaik teknoloji: Kristal silikon FV hücrelerin üretim maliyetlerini düşürmek amacıyla 1990'lı yıllarda başlatılan Ar-Ge çalışmaları sonucunda ikinci nesil FV olarak bahsedilen ince film teknolojisi ortaya çıkmıştır. İnce film hücrede, kristal silikon hücreye göre daha düşük miktarda yarı iletken malzeme kullanılmaktadır. İnce film teknolojileri, ince uzun şeritler halindeki hücre şekilleri sayesinde kristal silikon hücrelere göre gölgelenmeden daha az etkilenmekte, böylece bulutlu ve kapalı havalarda daha yüksek performansa sahip olmaktadır.¹⁰⁷

Gelişmekte olan yeni fotovoltaik teknolojileri: Daha yüksek verimliliğe sahip ve daha düşük maliyetli FV teknolojilerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar son 20 yıldır devam etmektedir. CPV haricindeki diğer yeni nesil FV teknolojileri çoğunlukla Ar-Ge aşamasında olup piyasa sürecine henüz tam olarak girememiştir.

Tablo 1.7: FV Teknolojilerinin Durumu¹⁰⁸



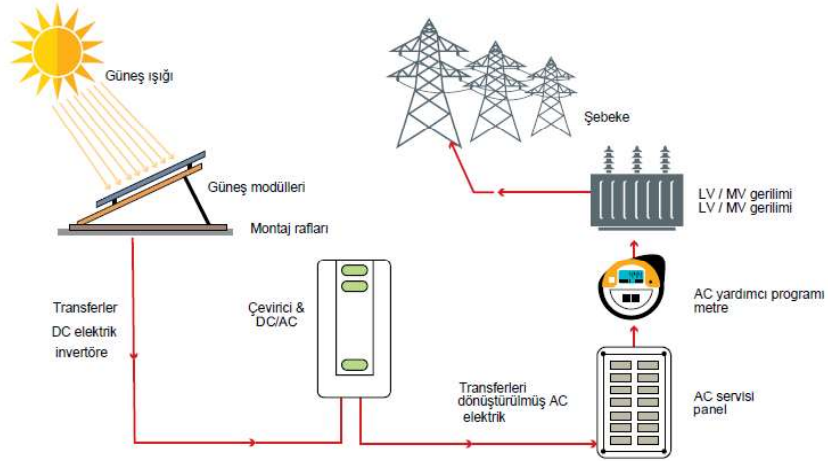
1.8.2.4. FV Sistem Türleri

Elektrik enerjisine ihtiyaç duyulan birçok yerde kullanımı mümkün olan fotovoltaik sistemler, uygulama itibarıyla şebeke bağlantılı ve şebeke bağlantısı olmayan sistemler (Ada FV Sistemleri) olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Şebeke elektriğinin

¹⁰⁷ Seda Cebeci, (2017), “Türkiye’de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretim Potansiyelinin Değerlendirilmesi”, Uzmanlık Tezi, T.C. Kalkınma Bakanlığı, Ankara, s.8

¹⁰⁸ IRENA, Future Of Solar Photovoltaic, 2019, <https://www.irena.org/publications/2019/Nov/Future-of-Solar-Photovoltaic> Erişim Tarihi: 01 Mart 2020

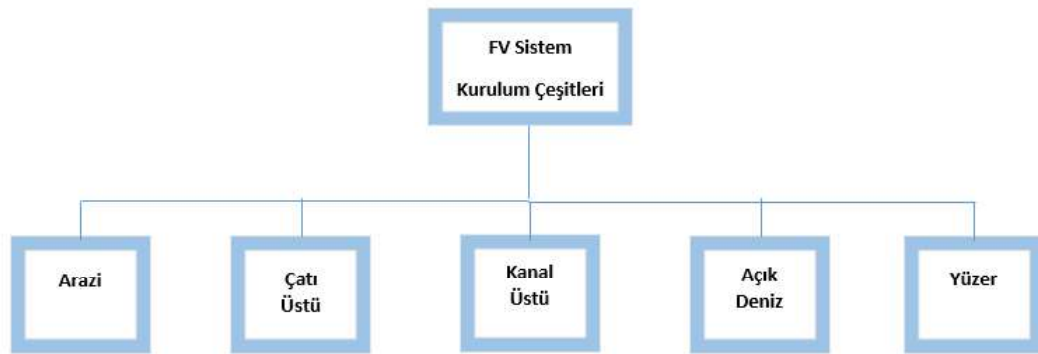
olmadığı noktalarda elektrik enerjisi sağlamak amacıyla kullanılan Ada FV sistemlerine örnek olarak; bahçe-sokak-cadde bina içi/dışı aydınlatma, ilk yardım, alarm ve güvenlik sistemleri, orman gözetleme kuleleri vb. verilebilir. Şebeke bağlantılı sistemlerin de konutlarda uygulanan FV sistemler ticari ofis binaları, hastaneler, okulların verilebileceği ticari binalarda uygulanan FV sistemler sistemler, zemine monte edilen büyük ölçekli FV sistemlerdir.¹⁰⁹ Şekil 1.9’da şebeke bağlantısı olan bir fotovoltaik enerji santrali örneği resmedilmiştir.



Şekil 1.9: Bir Fotovoltaik Enerji Santralinin Genel Konfigürasyonu¹¹⁰

1.8.2.5. FV Sistemlerin Kurulum Çeşitleri

Fotovoltaik sistemler kurulum alanlarına göre sınıflandırıldığında, Şekil 1.10’da gösterildiği üzere 5 farklı türe ayrılmaktadır.



Şekil 1.10: Fotovoltaik Sistemlerin Kurulumlarına Göre Çeşitleri

¹⁰⁹ Seda Cebeci, s.12

¹¹⁰ World Bank Group, ESMAP and SERIS, “Where Sun Meets Water”, Floating Solar Market Report, Washington, 2019, s.15 https://esmap.org/where_sun_meets_water_floating_solar_market_report Erişim Tarihi: 01 Mart 2020

Arazi Tipi Fotovoltaik Sistemler

Arazi kurulumlu FV sistem türünde paneller, yere monte edilmiş olan konstrüksiyonlar üzerine monte edilirler. Sabitleyici sistemin doğrudan yere monte edildiği, beton döşeme ya da dökme beton üzerine direk tutturulduğu ve konstrüksiyon üzerine kurulan sistemler olmak üzere üç farklı montaj tipi vardır. ¹¹¹

Şekil 1.11’de görüldüğü üzere, bu tip montaj sistemleri zeminin kazılmasına gerek duyulmadığından en sık kullanılan sabitleme yöntemidir.



Şekil 1.11: Arazi Kurulumlu Fotovoltaik Sistem Örneği¹¹²

Kazma gerektirmediğinden, kazmanın mümkün olmadığı ya da zor olduğu alanlar için çok uygundur ayrıca sabitleyici sistemler ile, panel ya da panel dizisinin yerinin değiştirilmesi oldukça kolaydır. Geniş ve şebeke ölçeğinde FV sistemlerinde genellikle arazi tipi kurulum tercih edilir.

Çatı Üstü Fotovoltaik Sistemler

Çatı üstü FV sistemler, FV panellerin evlerin ya da ticari binaların çatılarına kurulduğu sistemlerdir. Sistemler, panel, solar evirici, sabitleyici sistem, kablo ve diğer

¹¹¹ Hakan Şençiçek, (2017), “Yüzer ve Arazi Kurulumu Fotovoltaik Sistemlerin Teknik ve Ekonomik Açından İncelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul

¹¹² “Güneş Panel Sistemlerinin Kurulumu”, Güneş Enerjisi Kurulum, Bakım ve Onarım, 2016, Konya, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı <https://docplayer.biz.tr/113570838-T-c-milli-egitim-bakanligi-gunes-enerjisi-kurulum-bakim-ve-onarim-gunes-panel-sisteminin-kurulumu.html> Erişim Tarihi:08 Mart 2020

aksesuarlardan oluşması bakımından arazi tipi sistemlere benzeseler de, kurulu güç ve üretim miktarı açısından oldukça küçüktürler.



Şekil 1.12: Çatı Üstü Kurulumlu Fotovoltaik Sistem Örneği¹¹³

Evler üzerine kurulan çatı üstü FV sistemler genellikle 5-20 kW'lık kurulu güce sahip iken, ticari binalardaki çatı üstü sistemlerin kurulu gücü 100 kW civarındadır.¹¹⁴

Kanal Üstü Fotovoltaik Sistemler

Geleneksel arazi tipi FV sistemler, kurulum için oldukça geniş bir araziye ihtiyaç duyarlar. Kanal üstü FV sistem kurulumlarında başka amaçlarla kullanılabilecek herhangi bir araziyi kullanma ihtiyacı duyulmamaktadır.



Şekil 1.13: 1 MW Kapasiteli Kanal Üstü Fotovoltaik Sistem Örneği, Hindistan¹¹⁵

¹¹³ <http://petroturk.com/yenilenebilir/cati-tipi-geslerde-amortisman-suresi-2-yila-dusebilir> Erişim Tarihi: 08 Mart 2020

¹¹⁴ Hakan Şenççek, s.39

¹¹⁵ <https://www.enerjigunlugu.net/sunedison-dan-hindistana-kanal-ustu-ges-14235h.htm> Erişim Tarihi: 08 Mart 2020

Kullanılacak alanın belirlenmesinde, açık deniz ve yüzer FV sistemler ile aynı amaç gözetilmiştir. Ancak kanal üstü FV sistemlerin kurulumları, yüzer FV'lerden farklı olarak, kanalların üstlerinin sabitleyici sistemler aracılığıyla kapatılması ve ekipmanın üzerine panellerin yerleştirilmesiyle gerçekleştirilir. Sonuç olarak sistemin su ile direk teması bulunmamaktadır. Yine de fotovoltaik sistemlerde ortam ısısının düşmesiyle elektrik üretiminde verim artışının gerçekleşmesine bağlı olarak; kanal üzeri GES'lerde alttaki kanaldan geçen suyun etkisiyle FV'ler daha düşük sıcaklık ortamında çalışmaktadır. Böylece güneş enerjisinden daha yüksek miktarlarda elektrik üretimi sağlanmış olmaktadır.

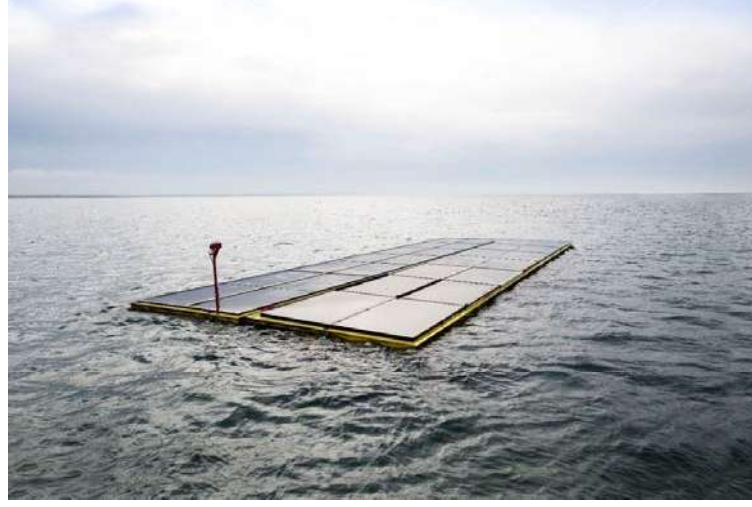
Açık Deniz Fotovoltaik Sistemler

Kıtaları birbirinden ayıran engin ve açık denizler olan okyanuslar, yeryüzünün yaklaşık üçte ikisini (%71) kaplamaktadır.¹¹⁶ Kapladıkları bu alan sebebi ile büyük bir güneş enerjisinden elektrik üretimi potansiyelini bünyelerinde barındırırlar. Bu enerjinin kullanılması için karanın, okyanus veya denizler ile buluştuğu noktalara açık deniz FV sistemleri kurularak, bu potansiyelin elektrik enerjisine dönüştürülmesi fikri açık deniz fotovoltaik sistemleri fikrini doğurmuştur. Açık deniz FV sistemleri, uygulama alanlarının açık deniz/deniz gibi su yüzeyleri olması sebebiyle yüzer FV sistemler olarak değerlendirilmiş olsa bile, dünya uygulamalarına bakıldığı zaman henüz çevre koşullarının zorluğunu karşılayabilecek teknolojik yeniliklerin elde edilmemiş olması sebebiyle bir kaç uygulama alanı ile sınırlı kalmıştır. Bu sebeple yüzer FV sistemler daha çok iç sular üzerine konuşlandırılan sistemler olarak ele alınmaktadır.

Hollanda'da yapılması planlanan ve bu konuda örnek olacak olan açık deniz FV sistemi için, kıyı ve göller üzerine kurulan güneş çiftliklerinden farklı olarak, tahrip edici rüzgar ve dalgalar üzerine de çalışmalar yapılmaktadır. Şekil 1.14'te görüldüğü üzere, modüler sistemin ilk 8,5 kW'si Kuzey Denizi'nde kurulmuştur ve ilerleyen aylarda bu, bir yıllık test döneminde faaliyete geçecek 50 kW'lık bir pilot tesise doğru

¹¹⁶ <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/ocean/> Erişim Tarihi: 24 Eylül 2020

genişletilecektir. Tesisin yüzer FV panellerinin 2021 yılında 2500 m²'lik alana kurulması hedeflenmektedir.¹¹⁷



şekil 1.14: Zon op Zee (Denizde Güneş) Projesi 8,5 kW'lık Kurulumu¹¹⁸

Yüzer Fotovoltaik Sistemler

FV panellerin rezervuarlar, hidroelektrik barajlar, endüstriyel havuzlar, su arıtma havuzları, madencilik havuzları, göller ve lagünler gibi su gövdelerinde yüzmek için tasarlandığı ve kurulduğu sistemlere Yüzer fotovoltaik (YFV) sistemler denilmektedir.¹¹⁹

Tezin konusu olması itibariyle yüzer FV sistemler, ikinci bölümde uygulama alanları, sistem elemanları, tarihçesi ve Dünya uygulamaları bakımından ele alınacak, bu sistemlere seçilmiş ülkeler temelinde verilen teşvikler ve uygulanan politikalardan bahsedilecektir.

¹¹⁷ <https://www.elektrikport.com/makale-detay/acik-deniz-gunes-enerji-tesisi-kurulacak/21457#ad-image-0> Erişim Tarihi:08 Mart 2020

¹¹⁸ <https://oceansofenergy.blue/2019/12/11/a-worlds-first-offshore-floating-solar-farm-installed-at-the-dutch-north-sea/> Erişim Tarihi:08 Mart 2020

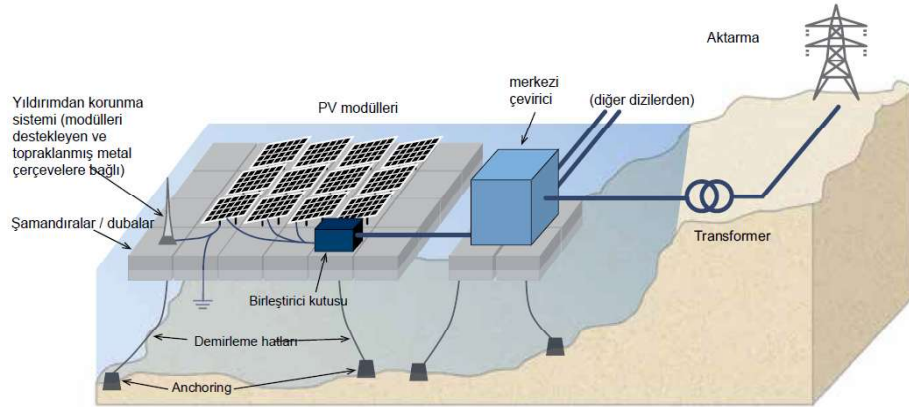
¹¹⁹ Mohit Acharya and Sarvesh Devraj (2019), "Floating Solar Photovoltaic (FSPV): A Third Pillar to Solar PV Sector ?", The Energy and Resources Institute (TERI), <https://www.teriin.org/sites/default/files/2020-01/floating-solar-PV-report.pdf> Erişim Tarihi: 03 Mart 2020

İKİNCİ BÖLÜM

YÜZER FOTOVOLTAİK PANELLER VE DÜNYA UYGULAMALARI

2.1. Yüzer Fotovoltaik Sistemler

Uzun yıllardır kullanılan arazi tipi FV sistemler ile temelde aynı prensibe dayananan yüzer FV sistemler, arazi tipi FV sistemlerde kullanılan donanım ek olarak panellerin su üzerinde taşınabilmesi için yüzdürücü sistemi, sistemin sürüklenmesini ve kendi etrafında dönmesini engellemek için sabitleme sistemini ve yüzer sistemden üretilen elektriğin karaya taşınması için gereken özel elektriksel bağlantıyı içermektedir. Şekil 2.1’de görüldüğü üzere bu sistemlerde, güneş panelleri genellikle duba tabanlı bir yüzer yapıya monte edilir ve konumunu sabit tutmak için yüzer yapı demirlenir.



Şekil 2.1: Tipik Bir Büyük Ölçekli YFV Sisteminin Temel Bileşenleri ile Şematik Gösterimi ¹²⁰

Bir YFV sistemin genel yerleşimi, FV dizilerinin ve genellikle eviricilerin yüzer bir platforma monte edilmesi hariç, kara tabanlı bir FV sistemin yerleşimine benzerdir. FV modülleri tarafından üretilen doğru akım (DC) elektriği, birleştirici kutular tarafından toplanır ve eviriciler tarafından alternatif akıma (AC) dönüştürülür. Kıyıya yakın küçük ölçekli tesisler için, eviricileri (sistemden sadece kısa bir mesafe uzaklığa) karaya yerleştirmek mümkündür. Bir diğer durumda, özel olarak tasarlanmış şamandıralar

¹²⁰Mohit Acharya and Sarvesh Devraj, s.2

üzerinde hem merkezi hem de dizi eviriciler kullanılabilir. Ankraj ve palamar sistemi ile birlikte yüzer platform, bir YFV sistemin kurulumunun ayrılmaz bir parçasıdır.¹²¹

Kanal üstü ve açık deniz FV sistemlerinin temel amacı olan arazi ihtiyacının azaltılması, yüzer FV sistemlerin de temel amacını oluşturmaktadır. YFV kurulumları, özellikle yüksek nüfus yoğunluğuna ve mevcut arazinin başka ihtiyaçlar doğrultusunda kullanımlara sahip olduğu ülkelerde güneş üretim kapasitesini artırmak için yeni fırsatlar sunmaktadır.

Arazi kurulumlu FV'lere göre YFV sistemler; araziye yapılması gereken tesviye veya temellerin döşenmesi gibi büyük saha hazırlığı ihtiyacının ortadan kalkması, panellerin çevreleri tarafından gölgelenmesinin azaltılması veya ortadan kaldırılması, daha az toz barındıran ortamlarda çalışılması sebebiyle paneller üzerindeki olumsuz toz etkisinin azalması, maliyetli toprakların kullanımını azalttığından bu toprağın tarım, madencilik, turizm gibi aktiviteler için kullanılmasını sağlaması yönleri ile üstünlük sağlamaktadır. Ayrıca güneş panelleri gölge sağladığı ve rüzgarın buharlaşma etkisini sınırladığı için su rezervuarlarında daha az buharlaşmaya, alg büyümesinin azalmasıyla su kalitesinde iyileşmeye neden olur. Öte yandan bu çeşit kurulum ile su yüzeyinde meydana gelen yansıma etkisinden dolayı güneş ışınlamından daha fazla fayda sağlanır.¹²²

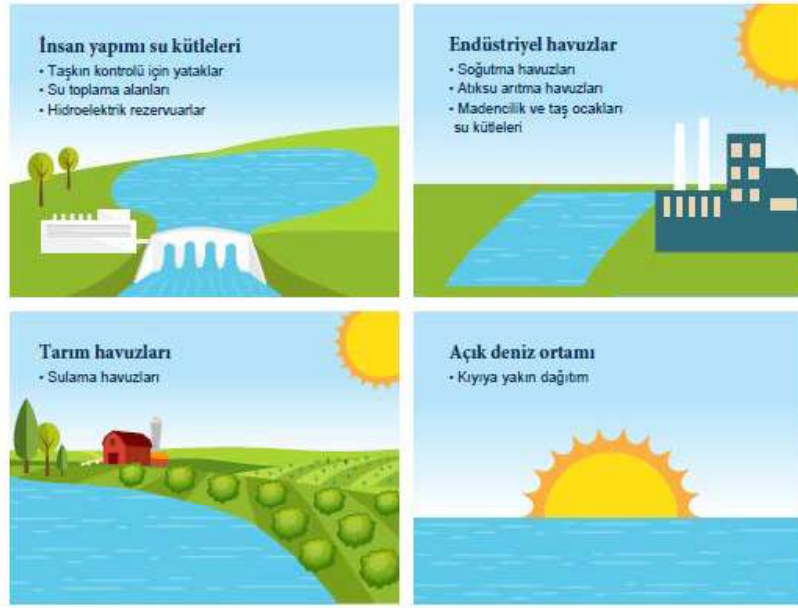
2.1.1. Yüzer Fotovoltaik Sistemin Uygulama Alanları

YFV sistemler sulama amaçlı tarım havuzları, açık deniz ortamı, endüstriyel havuzlar ve hidroelektrik rezervuarlar gibi insan yapımı su kütleleri üzerine kurulabilir. Şekil 2.2' de tipik YFV uygulama alanları gösterilmektedir.

Bu tezde YFV panellerin dünya uygulamalarına ilişkin yapılan araştırmalara yer verilecek ancak ülkemizde YFV sistemlerin ilgili mevzuat çerçevesinde; rezervuarlı veya regülatörlü hidroelektrik üretim tesislerinin santral sahaları kapsamındaki su yüzeylerine kurulan güneş enerjisi sistemleri olarak değerlendirilmesi bakımından dünya uygulamalarına ilişkin yapılan incelemeler, daha çok hidroelektrik santrallerin su yüzeyine kurulan YFV sistemler üzerine yoğunlaşacaktır.

¹²¹ World Bank Group, s.1

¹²² İbid.



Şekil 2.2 : Tipik YFV Uygulama Alanları¹²³

2.1.2. Yüzer Fotovoltaik Sistemin Elemanları

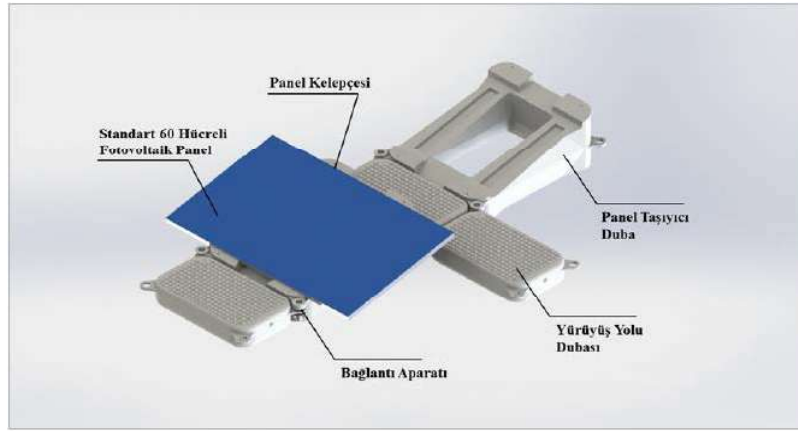
Yüzer güneş enerjisi santrali tesisi, yüzen bir sistem, bağlama sistemi, FV sistem ve sualtı kablolarından oluşmaktadır.

2.1.2.1. Yüzdürücü Sistem (Duba-Şamandıra)

YFV sistemde dubalar, su üzerinde yüzdürme ve yük taşıma işlevini yerine getiren parçalardır. Dubalar bağlantı aparatları ile bir araya gelerek yüzdürücü sistemi meydana getirirler. YFV sistemlerde kullanılan mekanik ve elektriksel ekipmanlar bu yüzdürücü sistemler üzerine monte edilirler. Şamandıralar kullanım tiplerine göre iki ana gruba ayrılırlar. Ana şamandıralar da denilen panel taşıyıcı dubalar FV modüllerini destekler ve modüle (kullanılan modele bağlı olarak) optimum eğim sağlar iken, ikincil şamandıralar (yürüme yolu dubası) ana şamandıralarla bağlantıyı sağlar, FV modüllerinin gölgelenmesini sınırlamak için yeterli boşluk ve ek kaldırma kuvveti sağlar. Ayrıca ikincil şamandıralar tesisin bakımı ve onarımı için yürüme yolu amacıyla kullanılır. Küçük ölçekli sistemlerde tek bir yüzdürücü sistem, hem panel taşıma hem de yürüme yolu işlevlerini yerine getirecek şekilde tasarlanabilmektedir. Kullanılan malzeme, üfleme bir kalıplama işlemi ile üretilen ultraviole ve korozyona dayanıklı, içme suyu

¹²³ İbid, s.32

ile uyumlu yüksek yoğunluklu polietilendir (High Density Polyethylene - HDPE). Bu tür yüzer yapılar, dünya çapında en yaygın çözüm olarak kendini kanıtlamıştır.¹²⁴



Şekil 2.3: Panel Taşıyıcı Duba, Yürüyüş Yolu Dubası ve FV Panelden Oluşan Yüzdürücü Sistem Örneği¹²⁵

YFV sistemlerin kapasitelerinin artması ile birlikte firmalar solar evirici, transformatör, elektrik panosu gibi elektrik dönüşüm ve koruma sistemlerini de yüzdürme denemelerine başlamışlardır. Bu gibi sistemlerde, bu yükleri kaldıracak özel duba tipleri kullanılmaktadır.

2.1.2.2. Ankraj ve Palamar Sistemi

Yüzen bir platformu yerinde tutmanın üç temel yolu vardır: banka ankrajı, alt ankraj veya kazıktır.¹²⁶ Bunlar YFV sistemin suyun düşey ve yatay hareketinden etkilenmeden sabit durmasına yardımcı olacak parçalardır. Sabitleme işlemi için projeye özel farklı yöntemler kullanılmaktadır. Uygun bir ankraj ve palamar sistemi, bir YFV tesisinin kritik bir parçasıdır.

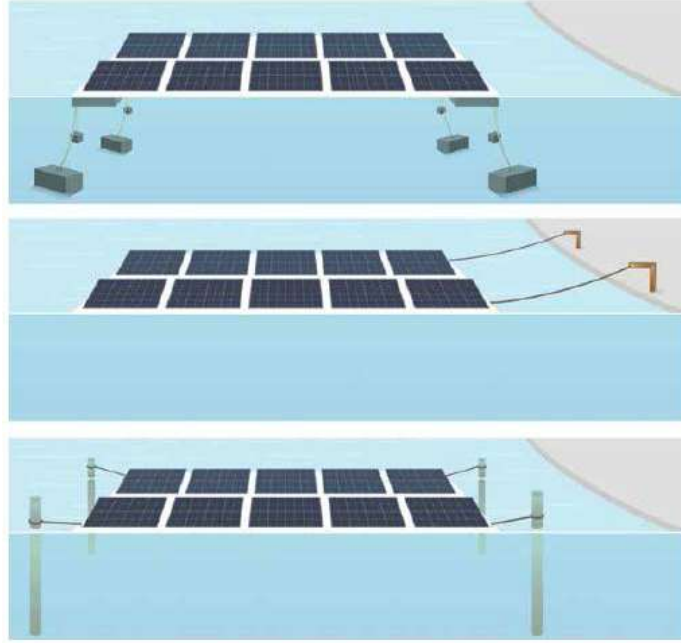
En yaygın kullanılanı alt ankraj yöntemi diye bilinen, ortamın stresini ve sudaki değişimleri karşılayabilmesi için uygun şekilde seçilmiş olan halat veya zincirin ucundaki ağırlığın suyun dibine oturtulmasına dayanan yöntemdir. Şekil 2.4'te YFV sistemin su üzerinde duruşunu sabitlemek için uygulanan farklı ankraj uygulamaları gösterilmektedir. Daha gelişmiş sabitleme sistemlerinde su seviyesindeki değişimden kaynaklanan etkiyi

¹²⁴ İbid, s.33

¹²⁵ Hakan Şençiçek, s.46

¹²⁶ World Bank Group, s.38

minimize etmek ve kullanılan halat veya zincirdeki gerilimi azaltmak için esnek bağlantı elemanları kullanılabilir. Banka ankrajı, YFV tesisin kıyıya yakın olduğu küçük, sık alçak havuzlar için özellikle uygundur.



Şekil 2.4: Alt Ankraj (Beton Platin Ağırlıklı), Banka Ankrajı ve Kazık Ankraj¹²⁷

2.1.2.3. Elektriksel Konfigürasyon

Üretilen elektriğin taşındığı iletken ve haberleşme kablolarının, yüzer sistemden karadaki elektrik panosuna ya da elektrik odasına taşınması için iki ana yöntem izlenmektedir.¹²⁸ Bunlardan biri yüzdürme iken diğeri suyun altından geçirilmez. Yüzdürmede yüzme özelliğine sahip, su geçirmez ve güneşe dayanıklı HDPE borular kullanılır. Boruların iki ucu, su almayacak şekilde muhafaza edilerek sabitlenir. YFV sistemden gelen elektrik iletim ve haberleşme kabloları bu borular içerisinden geçirilerek eviricilere ulaştırılır. Kablolar su geçirmez bir sistem içerisinden geçiriliyor olsalar bile, bu iletim işleminde suya dayanıklı özel kablolar tercih edilir. Su altından geçirme yönteminde ise YFV sistemden gelen elektrik iletim ve haberleşme kabloları zeminin altından geçirilen borular içerisinden geçirilerek karaya ulaştırılır. Kazı maliyetlerinden dolayı yüksek kapasiteli projeler dışında pek tercih edilmemektedir. Ancak gelişen teknoloji ile birlikte büyük YFV tesislerde, aşırı kayıpları önlemek için eviriciler kıyı

¹²⁷ İbid, s.39

¹²⁸ Hakan Şençiçek, s.50

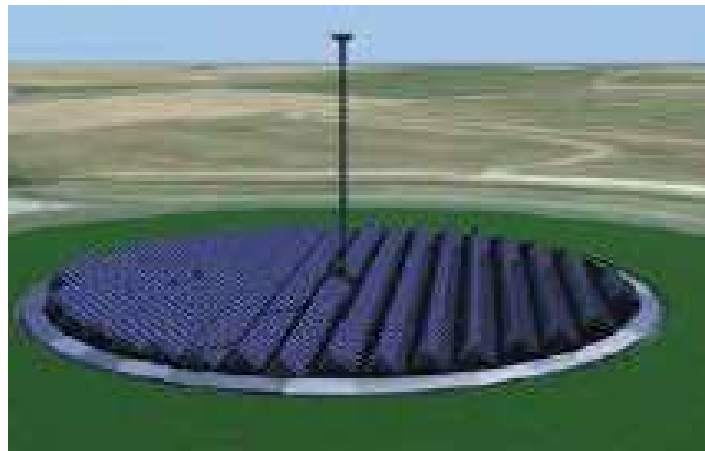
yerine suya monte edilebilir. Bu işlem merkezi evirici veya dizi evirici şeklinde farklı konumlandırmalarla yapılabilir.

2.1.3. YFV Teknolojilerine İlişkin Gelişmeler

Gün geçtikçe gelişen teknoloji ile birlikte hayatımızın her alanında ilerlemeler kaydedilmekte iken, bu ilerlemeler enerji sektörüne de yansımış ve YFV tesislerin tasarım ve verimlilik alanında gelişmeler meydana gelmiştir. YFV sistemlerin gelişme aşamasında olması sebebiyle henüz yaygın olmasalar bile, standart bileşenler yukarıda aktarılan seçeneklerle sınırlı kalmamıştır. Bu başlık altında ülkemizde yeni bir alana sahip olmak üzere olan YFV sistemlerin, dünyadaki kurulumlarında uygulanabileceği düşünülen bazı ek özellikleri açıklanacaktır. Bunlar izleme, konsantrasyon ve aktif soğutmayı içeren yeniliklerdir. Çoğunun küçük ölçekli pilot tesis olup, araştırma ve test amacıyla kullanılması sebebiyle hala gelişimin erken bir aşamasında olan yenilikler olduğunu söyleyebiliriz.

► **Takip sistemi:** İzleme (takip) işlevi, güneşi doğudan batıya doğru takip etmek için tüm yüzer platformun döndürülmesi ile gerçekleştirilir.¹²⁹ Platformlar, merkezi bir kazık etrafında demirlenebilir veya Şekil 2.5'te gösterildiği gibi sabit bir dış halka (veya çokgen) ile çevrelenebilir.

Platform genellikle 100 metreye kadar çapı olan dairesel şeklindedir. Platform motorlar veya yaylı iticiler tarafından döndürülür. Pilot izleme sistemleri İtalya'da kurulmuştur.



Şekil 2.5: Merkezi Bir Yığın Etrafında Tüm Bir Platform İçin Azimut İzleme Çizimi

¹²⁹ World Bank Group, s.41

Şekil 2.6’da ise Kore Cumhuriyeti Hapcheon Barajı’nda kurulu 100 kW kapasiteli, birkaç izleme YFV sistemi konsantrasyonla birlikte konuşlandırılan ve dört döner yapıdan oluşan daha büyük bir tesis gösterilmiştir. Hem ilk sermaye yatırımı hem de bakım maliyetleri oldukça yüksek olması sebebiyle izleme sistemleri için maliyet en büyük zorluktur. Buna ek olarak, platform boyutu sınırlıdır, bu nedenle ölçeklendirme daha zordur.¹³⁰



Şekil 2.6: Kore, Hapcheon Barajı’ndaki 100 kW’lık İzleme YFV Tesis

► **Konsantre YFV:** Su üzerinde platformların sürekli hareket halinde olması hassas pozisyon kontrolünü engelleyeceği için su üzerinde yüksek konsantrasyon mümkün değildir. Ancak aynalar veya Fres-nel lensler kullanılarak belirli bir konsantrasyon derecesi elde edilebilir.¹³¹

Örneğin Şekil 2.7’de gösterildiği gibi, ışık, V şekilli aynalar kullanılarak yatay bir FV paneline güneş ışığı konsantre edilebilir. Burada aynalar her FV panelinin önüne yerleştirilir ve tüm platform, önceki bölümde açıklandığı gibi azimut izlemesi kullanarak güneşi izlemek için bir daire içinde döner. Böyle bir sistemin kurulumu Avustralya’da yapılmıştır.

¹³⁰ İbid, s.42

¹³¹ İbid.



Şekil 2.7: Avustralya’da Bir Atıksu Tesisinde Azimut İzlemeli Konsatre YFV Sistem Kurulumu

Genel YFV izleme sistemlerinde olduğu gibi, konsantrasyon sistemleri çok sayıda teçhizat, bileşen ve yapı içermesi nedeniyle yüksek maliyet ve daha az ölçeklenebilirlik dezavantajlarına sahiptir.

► **Batık YFV:** Soğutma özelliklerinden yararlanmak için FV panelleri suyla doğrudan temas ettirmek, çalışma sıcaklığını önemli ölçüde düşürebilir ve böylece güç çıkışını artırabilir. Ayrıca batık YFV sistemler, özellikle rüzgar veya akımlardan mekanik yükü azaltmanın yanı sıra dalga hareketlerinden kaynaklanan iç gerilimi azaltma, böylece demirlemeyi basitleştirme avantajı sunar.



Şekil 2.8: Kanada’da 0,57 kW Gücünde Yarı Batık Yüzen İnce Film Sistemi

Büyük rulolardan meydana gelen ve kolayca monte edilebilen ince, esnek film (kristal silikon veya diğer ince film malzemelerden yapılmış) teknolojilerinin kullanılması sayesinde panellerin sahaya taşınması da kolaylaşmıştır. ¹³²

Elektrikli bileşenler genellikle su ile temas halindedir, bu nedenle uzun vadeli güvenilirlik, neme ve korozyona dayanabilmesi hususunda aşılması gereken sorunlar bulunmaktadır. Ayrıca su altındaki YFV tesisin endüstriyel önemini kanıtlaması için uzun süreli araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

► **Aktif Soğutma İşlevi:** Bazı şamandıra tedarikçileri FV modüllerini soğutmak için pompalama sistemlerini, su püskürtme amacıyla yüzer platforma entegre ederler. ¹³³ Sensörler tarafından modül sıcaklığının belirli bir eşiğe ulaştığı tespit edildiğinde spreyle tetiklenir. Püskürtmeden sonra modül sıcaklığı hızla düşer ve panellerin performansını artırır. Bu çözüm su erişiminin kolayca sağlanması bakımından YFV'ler için oldukça makul görünmektedir. Böyle bir çözüm ile sıcak iklimlerde, verimlilikte gerçekten büyük bir kayıp faktörü olan güç çıkışındaki sıcaklığa bağlı düşüşleri azaltılabilir. Ancak, sistemin kendi içerisinde de bir elektrik harcamasının olması sebebiyle, net bir enerji kazancı sağlamak için çalışma algoritmasının dikkatle optimize edilmesi gerekir. Ayrıca rezervuarın su kalitesine bağlı olarak, tekrarlanan püskürtme ve kuruma döngüleri üzerinde kirlenmenin oluşması ihtimali bir başka sorunu gündeme getirmektedir. Şu anda, aktif soğutma sadece birkaç YFV sistem için kullanılmıştır ve toplam faydası hakkında kesin bir değerlendirme henüz mevcut değildir.



Şekil 2.9: YFV Sisteme Uygulanan Aktif Soğutma Çözümü

¹³² Ibid, s.43

¹³³ Ibid, s.44

► **Açık Deniz / Kıyıya Yakın YFV:** Kavramsal olarak iç su kütlelerindeki YFV sistemlere benzese de dalgalar ve rüzgarlar gibi çevresel faktörler sebebiyle su yüzeylerinin daha pürüzlü olması, gel-git hareketleri ve akımlar nedeniyle ankrajın daha kritik hale gelmesi, deniz suyunun tuzlu olması sebebiyle ekipmanlar üzerinde daha sert bir etki bırakacak olması, biyo-kirlenmenin daha olası olması söz konusu bölgelerde YFV tesisler için zorluklar oluşturmaktadır.

Açık denizle karşılaştırıldığında, lagünler ve koylar gibi alanlar nispeten daha sakin ve dolayısıyla YFV tesisatları için daha uygundur.¹³⁴ YFV'ler için büyük bir potansiyel pazar sunan dünya kıyılarında, böyle birçok alan bulunmaktadır.

Şekil 2.10'da Maldivler'de, her biri yüzer şamandıralarla desteklenen ve sarmal ankrajlarla demirlenen, 25 kW'lık modüler platformlardan oluşan, iki metre yüksekliğindeki dalgalara ve 120 km/s hızındaki rüzgarlara dayanabilen bir pilot tesis kurulmuştur. Açık deniz veya kıyıya yakın YFV'ler test aşamasındadır ve pratik deneyim sınırlıdır. Bu tür tesislerde en büyük belirsizlik, uzun vadeli güvenilirlik ve maliyetlerdir.



Şekil 2.10: Maldivler'deki Bir Tatil Adasında Açık Deniz FPV Tesis (Pilot Çalışma)

2.1.4. Yüzer Fotovoltaik Sistemin Tarihçesi

İlk YFV sistem, su ve hava soğutmalı FV'lerin performanslarının araştırılması amacıyla Japonya Ulusal İleri Endüstri Bilim ve Teknoloji Enstitüsü tarafından 2007 yılında Japonya'nın Aichi kentinde bulunan bir hidroelektrik barajının haznesinde kurulmuştur. Daha sonra Fransa, İtalya, Kore Cumhuriyeti, İspanya ve ABD de dahil

¹³⁴ İbid, s.46

olmak üzere, hepsi araştırma ve geliştirme için küçük ölçekli sistemleri test etmişlerdir. Yapılan uygulama prototip aşamasında iken, barajdan her 10 dakikada bir pompa ile su çekilmesi ve fıskiye aracılığıyla panel yüzeylerine püskürtülüp yüzey temizliğinin sağlanması sürecine de yer verilmiş, böylece suyun hem soğutma hem de yüzey temizliğinin sağlanması işlevlerinde kullanılmasına olanak tanınmıştır.

İlk ticari kurulum ise bundan bir yıl sonra, 2008 yılında Kaliforniya'daki Far Niente Şaraphanesinde inşa edilen 175 kW'lık bir sistemin kurulumu ile gerçekleştirilmiştir. Bu sistem ise, bir üzüm bağı ve şarap imalathanesinin bulunduğu arazi içerisinde yer alan yapay bir göletin, YFV modüller ile üzerinin kapatılarak hem göletin buharlaşma oranının düşürülüp sıcak iklim kuşağında yer alan üzüm bağlarının kurumasının engellenmesi hem de sistemden elde edilecek enerji ile bedava elektrik üretiminin sağlanması amacıyla kurulmuştur.¹³⁵



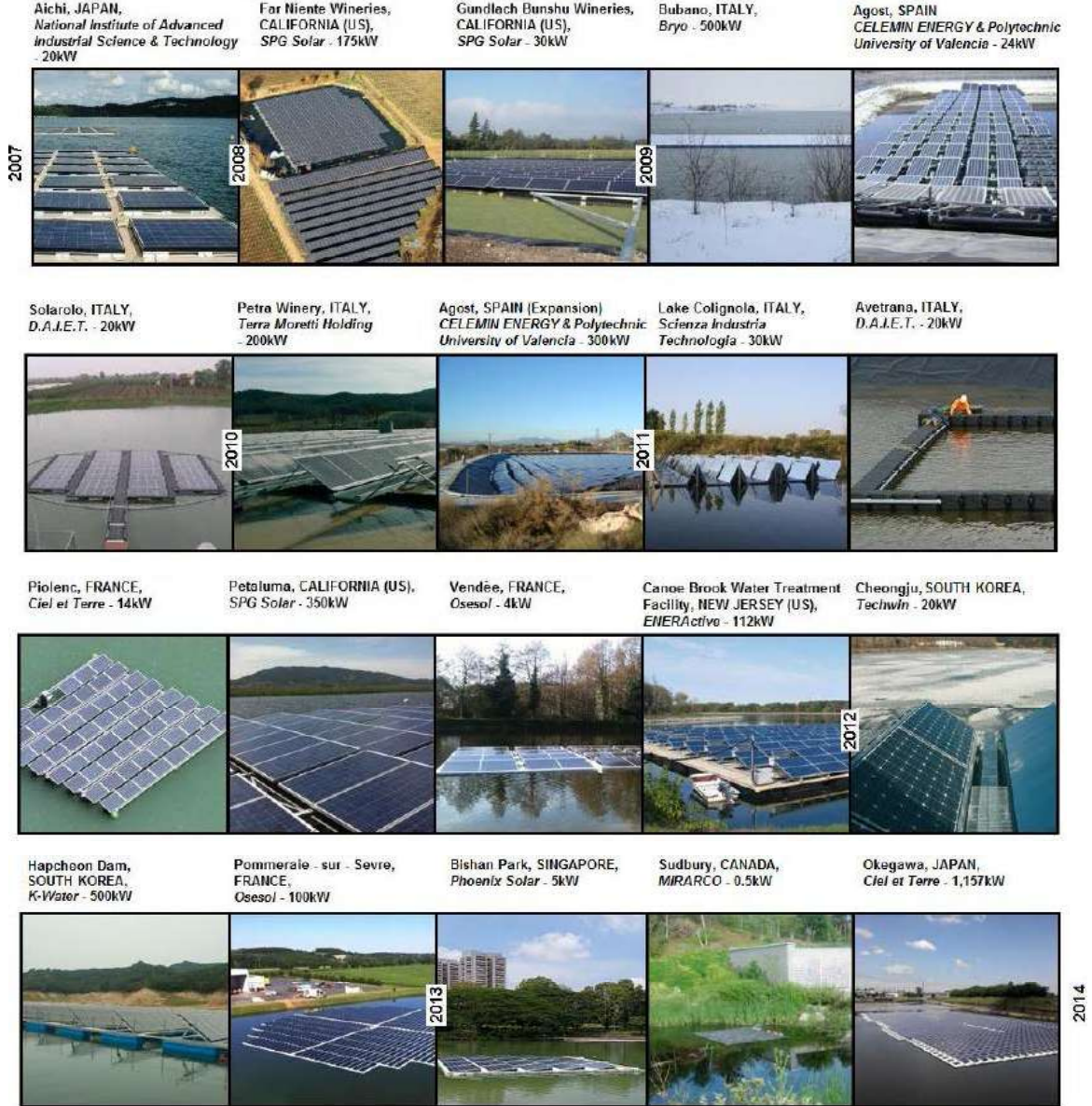
Şekil 2.11: Kaliforniya'daki Far Niente Bağı-Göleti ve YFS¹³⁶

Öte yandan, söz konusu arazide gölet dışındaki mevcut bir yere elektrik üretimi maksatlı FV sistemin kurulması istenilse bile, bölgenin etrafı tamamı ile yetişmiş üzüm bağları ile çevrili olduğundan FV sistemin başka bir yere kurulma ihtimali de bulunmamaktadır. Bu sebeple göletin üzerine 175 kW gücünde YFV sistem kurulmuştur.

¹³⁵ Mehmet Seren Korkmaz, (2015), “Buharlaşma Kayıplarının Yüzer Fotovoltaik Paneller İle Azaltılması”, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

¹³⁶ İbid

İlerleyen yıllarda YFV sistemlere ilişkin birçok ülkede çeşitli pilot uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.12’de elektrik üretimi için 2014 yılına kadar geliştirilen dünya genelindeki yüzen FV projeleri gösterilmektedir.

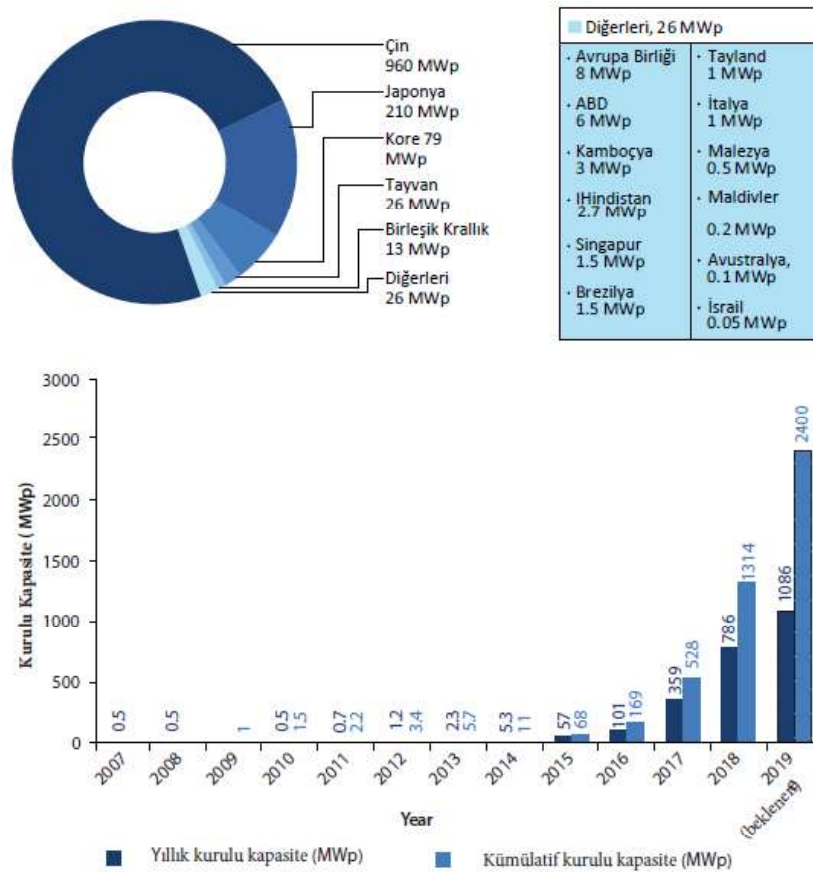


Şekil 2.12: Pilot YFV Tesis Kurulumları (2007-2014)¹³⁷

¹³⁷ Kim Trapani, Miguel Redón, (2015), A review of floating photovoltaic installations: 2007 2013, Progress in Photovoltaics, 23(4),524-532, https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/80704/FLOAT_REVIEW.pdf?sequence=2 Erişim Tarihi: 16 Nisan 2020

2.1.5. YFV Sistemlerin Dünya Geneline Mevcut Durumu

İlk projelerin çoğu araştırma ve gösteri amaçlı küçük ölçekli sistemler olsalar bile 2013'ün başlarından itibaren Japonya ve Güney Kore'de MW ölçekli YFV tesisler ortaya çıkmaya başlamıştır. On yıldan daha az bir süre içerisinde içlerinde Türkiye'nin de bulunduğu yaklaşık 29 ülke YFV sistemler ile ilgili projeler geliştirmeye başlamışlardır.



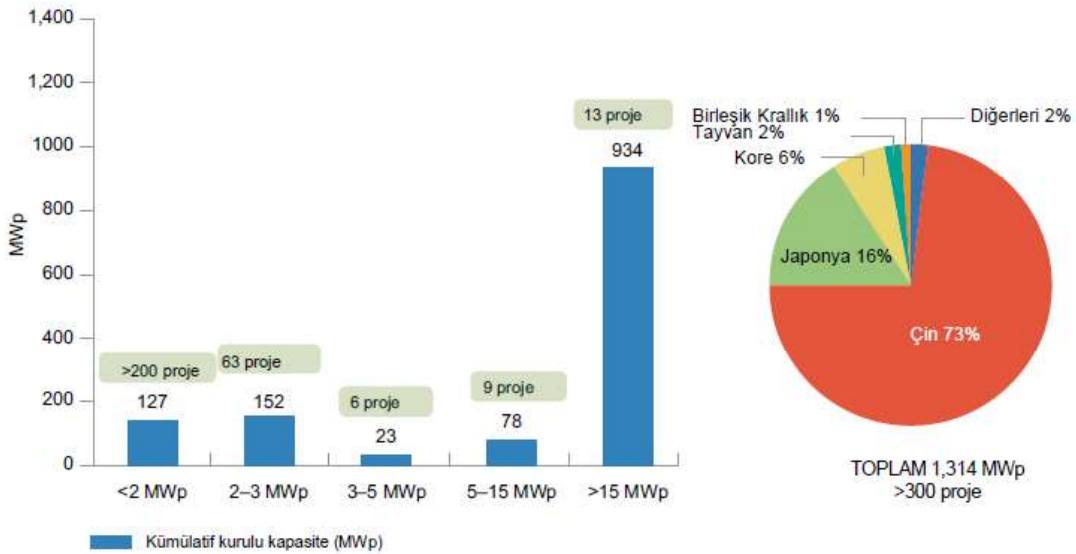
Şekil 2.13: Küresel Kurulu Yüzer FV Kapasitesi ve Yıllık İlaveler ¹³⁸

Arazi kurulumlu FV sistemlerin 2000 yılında ulaştığı 1 GW'lık kilometre taşına, YFV sistemler 2018 yılındaki kurulu kapasitesi ile ulaşmıştır. ¹³⁹ 10 MW'den daha büyük ilk santral, 2016 yılında Çin'in Anhui eyaletinde bulunan Huainan kentinde çöken kömür madeni alanında biriken su yüzeyine kurulmuş olan 20 MW kapasitesili tesistir. 2018 yılında ise 100 MW kurulu güçten daha büyük olan ve en büyüğü 150 MW olan birkaç büyük ölçekli YFV tesis kurulumu tamamlanmıştır.

¹³⁸ Mohit Acharya ve Sarvesh Devraj, s.21

¹³⁹ REN21 (2019), "Renewables 2019 Global Status Report", s.102 <https://www.ren21.net/gsr-2019/>
Erişim tarihi: 07 Nisan 2020

2018 yılı Aralık ayı itibariyle; dünya genelinde en büyük YFV projeler -her ikisinde Çin'in Anhui eyaletindeki sular altında kalmış maden sahalarında bulunan 150 MW gücündeki projeler- ile birlikte Çin, yüzer güneş pazarının yaklaşık % 73'lük bir payına sahip olmuş durumdadır. Anhui eyaleti, şimdiye kadar tesis başına 20 MW ile 150 MW arasında değişen, dünyanın en büyük YFV sistemlere ev sahipliği yapmaktadır. Arkasından 210 MW'lık kurulu güç ile Japonya ikinci sırada yer alırken, ilk MW büyüklüğündeki kurulumunu 2018 yılında gerçekleştiren Kore 79 MW'lık kurulu güç ile pazarın üçüncüsü olmuş durumdadır.¹⁴⁰ Japonya'da çoğu 3 MW'nin altında toplam 210 MW'den fazla YFV tesis kurulmuştur. 2018 yılı sonu itibariyle mevcut YFV tesislerin piyasa verilerine ilişkin olarak hazırlanmış rapora göre; gerçekleşen YFV tesis kurulumların çoğu, kapasitesi 3 MW'nin altında olan küçük sistemlerdir. Bununla birlikte, büyük sistemlerin sayısı 2017'den bu yana önemli ölçüde artmaktadır ve bu eğilim devam etmekte, günümüzde 10 MW'den büyük olan birçok YFV proje geliştirilmektedir. Dünyanın en büyük 13 santrali (15 MW değerinden büyük olan) YFV'lerin kurulu kapasitesinin yüzde 70'inden fazlasını oluşturmaktadır.¹⁴¹



Şekil 2.14: YFV tesislerinin 2018 Aralık Ayı İtibarıyla Büyüklüklerine Göre Dağılımı¹⁴²

2018 yılı sonu itibariyle toplam kurulu kapasite resmi verilere göre 1.314 MW olsa bile enerji sektöründeki faaliyetlerin son zamanlarda artması ve teknolojik yenilikler

¹⁴⁰ REN21 (2019), s.102

¹⁴¹ World Bank Group, s.58

¹⁴² İbid.

sayesinde önümüzdeki yıllarda kapasitenin önemli ölçüde artması ve 2022 yılına kadar 4.600 MW'ye ulaşması beklenmektedir. Şimdiye kadar yapılan kurulumların çoğu sulama barajları, endüstriyel havzalar, su arıtma tesisleri ve kullanılmayan madencilik havuzları gibi insan yapımı su gövdelerine konuşlandırılmıştır.¹⁴³ Hibrit projelerin devreye girmesi ve ilerleyen teknolojilerle birlikte açık deniz üstü YFV tesislerin kurulumlarının imkan bulması halinde, ülkelerin YFV tesislere ilgisinin daha fazla artacağı düşünülmektedir.

2.1.6. Yüzer Fotovoltaik Sistemin Avantajları

Bilinen geleneksel fotovoltaik panel kurulumlarına kıyasla YFV sistemlerin avantajlarını aşağıdaki şekilde birkaç başlık altında sıralayabiliriz:

Enerji üretiminde verimlilik: Isıya ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı olan ve bu koşullar altında dahi performans gösteren güneş panelleri, diğer elektronik cihazlarda olduğu gibi daha yüksek sıcaklıklarda verimliliğini kaybeder. Mevcut koşullar gereği sıcak ve güneşli bir iklimde panel kurmak isteyen mülk sahipleri veya yatırımcılar için bu durum endişe verici bir konudur. Ancak yüzer FV'lerin en önemli avantajlarından biri muhtemelen çalışma ortamından elde edilen performans avantajıdır. Çünkü suyun evaporatif soğutma etkisi FV modüllerin çalışma sıcaklıklarını düşürme eğilimindedir. Daha önce test edilmiş bir YFV çalışması, su üzerindeki ortam hava sıcaklığının bitişik kara ortamından yaklaşık 1°C ile 3°C daha düşük olduğunu göstermiştir.¹⁴⁴ Ayrıca bir güneş paneli veriminin, ortam sıcaklığının yanı sıra güneş ışımaya, rüzgar hızına, yerel hava koşulları vb. korelasyonlara da bağlı olduğu bilinmektedir. Bu bağlamda açık su üzerinde rüzgarın hızı, karadaki hızından daha yüksek olma eğilimindedir, bu durum modülün soğutulmasını kolaylaştırır. İlaveten su yüzeyi, güneş çiftliklerinin sıklıkla inşa edildiği kurak bölgelerden daha az tozlu olma eğilimindedir, bu durum ise paneller üzerindeki toz toplanmanın etkilerini ve komplikasyonlarını en aza indirir. Su yüzeylerinde karasal alanlara kıyasla modüller üzerinde gölgelenmenin az olması ve son olarak güneşten gelen ışımanın su yüzeyinin yansıtıcı etkisiyle artmış olması, modüllerdeki verimliliği arttıran etkenlerdir. Bu hususlara ilişkin olarak birkaç çalışmada YFV

¹⁴³ Mohit Acharya ve Sarvesh Devraj, s.20

¹⁴⁴ World Bank Group, s.21

sistemlerde, arazi bazlı FV sistemlerine kıyasla % 10'a varan bir iyileşme tespit edildiği bildirilmiştir.¹⁴⁵

Buharlaştırmanın azalması: Küresel ısınma gerçeğinin olduğu günümüzde dünyadaki mevcut su yüzeylerinde gerçekleşen buharlaşmanın önemli bir su kaynağı kaybına sebep olduğunu bilinmektedir. YFV tesislerin suyun yüzeyine yayılarak konumlandırılması ile su yüzeyine gelen güneş radyasyonu miktarı azaltılmaktadır. Ayrıca bu sistemler, rüzgarın su yüzeyi ile etkileşimini de sınırlayacağından buharlaşma kayıplarında azalmaya dolaylı olarak da sebep olabilir. Bu bakımdan YFV sistemlerin kurulumları, içme suyu rezervuarlarında veya sulama havuzlarında buharlaşmayı azaltmanın etkili bir yolu olabilir. Ancak YFV tesislerin tipik olarak tüm su yüzeyinin sadece bir kısmını kapladığı düşünülürse, bu tahminlerin netleşmesi için su seviyesi değişimleri, yağış, suyun giriş ve çıkışı da dahil olmak üzere uzun vadeli rezervuar çalışma verilerini kullanan titiz çalışmalara ihtiyaç vardır.

Hidroelektrik santraller ile tamamlayıcı çalışmalar: Hibrit sistemlerde, bir hidroelektrik santrale ait rezervuar yüzeyi temel olarak güneş enerjisi için oldukça büyük çapta bir kurulum alanı olarak kullanılabilir. Güneş ısınımının doğal değişkenliği, hızlı tepki veren hidro türbinler ile büyük ölçüde telafi edilebilir. Bu, güç kalitesini iyileştirir ve güç kesintisini azaltır. Ayrıca, hibrit bir sistem gündüzleri daha fazla güneş enerjisi ve geceleri hidroelektrik gücü kullanarak günlük döngüyü optimize edebilir. Böylece YFV santrallerinin halihazırda mevcut olan hidroelektrik santrallerle birlikte kullanılması, sadece zor şartlara sahip mevsimlerde enerji üretimini iyileştirmekle kalmayacak, aynı zamanda gündüz güneş enerjisi ve gece hidroelektrik kullanarak enerji depolama işlevi görebilecektir. Bununla birlikte, bazı durumlarda, su seviyesinde büyük farklılıklar gösteren hidroelektrik santralleri, yüzer platformun desteklenmesi için ankraj ve demirleme tasarımında zorluklar yaratabilir. Bu nedenle, su seviyesi varyasyonunun belirli olduğu hidroelektrik santrallerinde, seviyede farklılık olduğu durumlarda YFV santralleri konuşlandırmanın yaşanabilir etkileri üzerinde ayrıntılı bir çalışma yapılması gerekmektedir.

YFV projelerde ayrıca rezervuarlarda halihazırda mevcut olan elektriksel altyapı imkanı kullanılarak yatırım maliyetinden tasarruf sağlanacaktır. Mevcut hidroelektrik

¹⁴⁵ Mohit Acharya ve Sarvesh Devraj, s.15

santrallerinin yeni YFV projeleri ile güçlendirilmesi halinde, YFV tesis sahadaki kalifiye personel ve hidroelektrik santralleri için geliştirilen merkezi denetleme kontrol ve veri toplama (SCADA) sistemlerinden faydalanabilecektir.

Kolay kurulum ve dağıtım: Karmaşık ankraj ve demirlemenin gerekli olmadığı durumlarda YFV tesisinin kurulumu, karaya monte edilen güneş FV tesislerine kıyasla daha basit ve kolaydır. Bunun nedeni sahayı hazırlamak için herhangi bir inşaat işinin gerekmemesi ve tipik yüzen platformlar modüler olduğundan kurulumu sırasında ağır ekipman gerektirmemesidir. Platformlar karada toplanır ve sıra sayısı arttıkça suya doğru itilir. Kurulum tamamlandığında, tüm platform teknelerin yardımıyla su yüzeyinde olması istenilen yere doğru çekilir. Tamamlanma süreleri karasal kurulumlu FV'lere göre daha kısadır, örneğin Çin'de bulunan büyük bir YFV geliştiricisi, son zamanlarda bir tedarik zincirinin mevcut olması koşuluyla, 1 MW gücündeki sisteminin bir günde 50 kişi tarafından kurulabileceğini ifade etmiştir.¹⁴⁶

Arazi kullanımı: Arazinin FV kurulumları için az veya uygun olmadığı ülkelerde zemine monte FV santrallerin kurulumu, yüksek arazi fiyatları ve yüksek fırsat maliyetleri ile zorlaştırılmaktadır. Özellikle arazi kısıtı nedeniyle enerji amaçlı büyük ölçekli alanların kullanılamayacağı küçük ülkelerde, mevcut arazilerin dağlık ve/veya zemine monte FV kurulumuna uygun olmadığı ülkelerde veya mevcut arazilerin tarım veya kentsel kalkınma nedeniyle kullanıldığı ülkelerde büyük ölçekli arazi kurulumlu FV maliyetleri değerli gayrimenkulleri geçmektedir. Buna örnek olarak Japonya veya Singapur gibi ülkeler verilebilir.¹⁴⁷ Tarımsal kullanım, kentsel kalkınma veya yere monte FV kurulumuna elverişli olmayan bölgeler için, varsa mevcut su yüzeylerine YFV kurulumu, ülkenin veya bölgenin şartlarına uygun ve çok ihtiyaç duyulan bir çözüm sunar. Örneğin¹⁴⁸, bu amaçla İsviçre Alpleri'nde 1.800 metre yükseklikte bulunan bir hidroelektrik barajı üzerinde test amaçlı YFV tesisi kurulmuş, FV panellerin bu yüksekliklerde görülen genellikle açık gökyüzü, aşırı soğutma etkisi ve kar yansımından yararlanabildiği ve yine Alplerde ancak daha düşük rakımda kara tabanlı bir test kurulumundan % 50 daha fazla güç ürettiği tespit edilmiştir.

¹⁴⁶ World Bank Group, s.22

¹⁴⁷ İbid, s.18

¹⁴⁸ İbid

Diğer potansiyel avantajlar: Su sıcaklığı ve ışık yoğunluğu gibi çeşitli faktörlerden etkilenen alg büyümesinin suyun belli yüzeyini kaplayacak olan YFV sistem ile durdurulabileceği varsayılabilir. Alg büyümesinin su kalitesini düşüren ve suyun arıtma maliyetini artıran ekolojik bir sorun olduğu göz önüne alındığında, bu durum YFV sistemlerin sağladığı avantaj olarak görülebilir.

Ayrıca karada esen rüzgarın taşıdığı toz miktarının su yüzeylerine etki eden rüzgarın taşıdığı toz miktarından fazla olacağı, YFV tesislerin karaya monte edilen FV tesislere kıyasla daha az toza maruz kalacağını işaret etmektedir. Panel temizliği açısından ele alındığında ise, bulunduğu konum itibarıyla YFV tesislerin temizliği için su kolayca elde edilebilir durumdadır.

2.1.7. Yüzer Fotovoltaik Sistemin Dezavantajları

Dünyada hızla gelişen ve yakın gelecekte alternatif güneş enerjisi üretme yollarından biri haline gelecek bir sektör haline gelen YFV tesisler hakkında bilgi birikimi zamanla oluşacaktır. Bu bakımdan doğru bir şekilde ele alınması gereken birtakım zorluklar aşağıda sunulmaktadır:

Standartlandırma ve teknik yönergeler: Bir teknoloji olarak YFV sistemler hala başlangıç aşamasında olduğundan, şu anda mevcut belirli standartlar/teknik yönergeler bulunmamaktadır. Yere monte güneş FV projelerinden farklı olarak, bir YFV projesi, yüzer platform ve su yüzeyinin içine yerleştirilen demirleme ve demirleme sistemlerini içerir. Bu bileşenlerin, yerel biyolojik çeşitlilik üzerinde ciddi bir etkiye neden olmadan sistem ekipmanlarının kalitesini 25 yıl boyunca korurken zorlu çevre koşullarına dayanabilmesini sağlamak için, tesislerin tasarımlarında YFV bileşenine ve ekolojik şartlara özgü standartların ve teknik yönergelerin geliştirilmesi önemlidir.

Tesis bileşenlerinin güvenliği ve uzun vadede güvenilirlik: Bir YFV sistemin elektrik sistemleri ve elektronik bileşenleri sürekli olarak neme, suyun tuzluluğuna veya yüksek rüzgar hızına maruz kalacaktır. Bu durum özellikle uzun vadede çalışmalarda risk oluşturur. Ayrıca yüzer platform, FV modülü vb. yüzdürücü bileşenlerin bozulma, korozyon ve biyolojik kirlenmeye eğilimli olma olasılığı olabilir. Böyle bir durum yalnızca işletme ve bakım maliyetini artırma potansiyeline sahip olmakla kalmaz, aynı zamanda tesisin bakımını üstlenen kişinin hayatını tehlikeye atan ciddi güvenlik

sorunlarına da neden olabilir. Bu durumda sistemlerin uzun vadeli güvenilirliğini ve güvenliğini sağlamak için sistem bileşenlerinin periyodik olarak değiştirilmesi ve düzenli takibi gerekebilir.

Yüzen platformun taşınması: Su gövdelerinin genellikle orman alanı, dağlık alan vb. yapılar ile çevrili olması sebebiyle şamandıraların tesis yerine taşınması için ek maliyetlere ihtiyaç duyulur. Bunun sebebi şamandıraların büyük hacimli ve çok düşük ağırlık/hacim oranına sahip olmasıdır. Bu tür taşıma maliyetlerinden kaçınmak için proje lokasyonuna yakın bir yere şamandıra üretim birimlerinin oluşturulması bir alternatif olarak görülse bile, bu çözüm de büyük ölçüde projenin yeri ve kapasitesine bağlı olacaktır.

Sermaye giderleri: Bugün yüzer FV'lerin arazi kurulumlu FV tesislere göre sermaye harcaması (Capital Expenditure-CAPEX) %15-20 daha yüksek ve işletme gideri (Operational Expenditure-OPEX) %30-50 daha yüksektir.¹⁴⁹ Bu durum, imtiyazlı finansmana ve de maksimum çıktı için modüler tasarımlara erişilerek dengelenebilir. Ancak, kurulum maliyetleri ve piyasanın adaptasyonu arasında ters orantı mevcuttur. Bu sebeple yüzer FV sektörünün, solar enerji piyasasında devamlılığı garanti etmesi için daha iyi bir piyasa tasarımına ihtiyaç duyulmaktadır.

YFV'nin sermaye maliyetleri, esas olarak şamandıra, demirleme ve daha esnek elektrikli bileşenlere duyulan ihtiyaç nedeniyle daha yüksektir. Örneğin, platformu sabitleyen ve FV panellerini doğru şekilde yönlendiren ankraj, rüzgar yüküne, dalgalara ve potansiyel akımlara dayanmalıdır. Kuru ve yağışlı mevsimlerde olduğu gibi bazı durumlarda, sistemin su seviyelerinde büyük dalgalanmalara uyum sağlaması gerekir. Bazı rezervuarlarda, su derinliği ve su kütlesinin yatağı, ankrajın montajı ve bakımı için zorluklar meydana getirebilir. Burada, projenin maliyetine ek olarak daha karmaşık çözümler gerekebilir.

Operasyon ve bakım: İşletme ve bakım faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi genellikle karada olduğundan daha zordur. Ankraj ve demirleme kablolarının bakımı veya onarımı, özel eğitilmiş dalgıçlar gerektirebilecek bir faaliyet olup düzenli olarak incelenmeyi gerektirir. Bu da proje için ek maliyet oluşturur. Parçaların değiştirilmesi

¹⁴⁹ International Hydropower Association, "2019 Report", World Hydropower Congress, Paris, 14-16 May 2019 <https://www.hydropower.org/our-vision> Erişim Tarihi: 23 Nisan 2020

daha karmaşıktır ve çalışanların güvenliği yeterli şekilde korunmalıdır. Bu kapsamda da tesis personeli için özel eğitim gereklidir.

Tezin konusu itibariyle bundan sonraki aşamalarda, rezervuarlı veya regülatörlü hidroelektrik santrallerin sahaları kapsamındaki su yüzeylerine kurulan YFV sistemlerin (hibrit güneş-hidroelektrik sistemler) dünya uygulamalarına ve bunlara ilişkin örneklerle yer verilecek ve ilgili ülkelerin destekleyici politikaları ile sektöre verilen teşviklerden bahsedilecektir.

2.2. Hidroelektrik Bağlantılı Fotovoltaik Sistemler

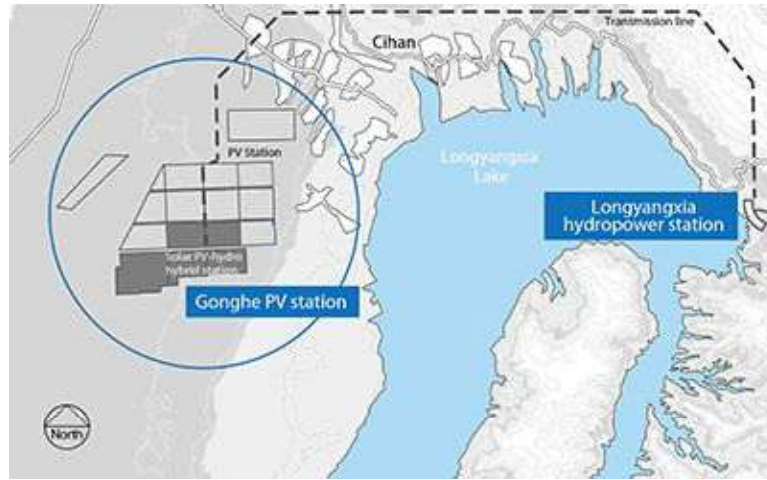
Büyük ölçekli tesisler geniş çevresel alanları kapsayarak, potansiyel çevresel etkiler, şebeke bağlantı zorlukları ve tarım alanlarının kullanımı ile ilgili endişeleri artırabilir. Kısmen büyük ölçekli projeler için duyulan bu endişeler ise YFV sistemlere olan ilgiyi hızla artırmaktadır. Hibrit güneş-hidroelektrik sistemlerin kurulumu, henüz dünya genelinde başlangıç düzeyinde olmasına rağmen, sistemlerin birbirlerine karşılıklı fayda sağladığı kanıtlanmıştır.¹⁵⁰

YFV sistemlerin 2018 yılına ait piyasa raporuna göre¹⁵¹; günümüzde yaygın olarak uygulanan pompaj depolamalı hidroelektrik santrallerde (PHES), rezervuarların bir depolama çözümü maksadıyla depolama sistemi olarak kullanılması ile, YFV sistemlerin de bir depolama sistemi olarak hidroelektrik santrallerle birleştirilmesinin aynı mantığa dayandığı ifade edilmiştir. Örneğin; pompaj depolamalı hidroelektrik santrallerin enerji talebi düşük olduğunda aşağı rezervuar alanındaki su, hidroelektrik barajın arkasındaki yukarı rezervuar alanına pompalanır ve daha sonra yoğun talep zamanlarında elektrik üretmek için barajdan salınır. Pompaj depolamalı hidroelektrik santrallere benzerlik olarak, anında ayarlanabilir enerji kaynağı olan hidroelektrik santrallerin, değişken FV tesisin gücü için gerçek zamanlı bir dengeleyici olma potansiyeline sahip olduğu, böylece hidroelektrik barajların arkasındaki rezervuarların, yüksek ısıtım dönemlerinde suyu depolayabileceği ve daha yoğun zamanlarda veya talep arttığında serbest bırakabileceği ve bu nedenle hibrit güneş- hidroelektrik işletiminin bir depolama sistemi olarak hizmet edeceği ifade edilmiştir.

¹⁵⁰ REN21 (2019), s.101

¹⁵¹ World Bank Group, s.48

Günümüzde dünya çapındaki en büyük hibrit güneş-hidroelektrik tesisi FV panellerin arazi kurulumlu olduğu Çin'in Qinghai eyaletindeki “Longyangxia hidro/FV”¹⁵² enerji santralidir. Qinghai eyaleti, Gonghe ilçesindeki Sarı Nehir üzerinde bulunan Longyangxia kanyonunun girişinde yer alan Longyangxia Barajı, 1989 yılında her yıl 5.942 GWh elektrik üreten, maksimum 1.400 MW kapasitede çalışabilen, 4x320 MW jeneratörlü 1.280 MW'lık bir güç istasyonunu desteklemektedir. Baraj 178 metre uzunluğundadır ve hidroelektrik enerji üretimi, sulama, buz kontrolü ve taşkın kontrolü amacıyla inşa edilmiştir.¹⁵³



Şekil 2.15: Longyangxia Hidroelektrik Santrali ve Gonghe Güneş Enerjisi Santralinin Yer Aldığı Hibrit Sistem Çizimi

2013 yılında, Longyangxia hidroelektrik santralinden 30 kilometre uzaklıkta, ilk olarak 9 km²'lik bir alanı kaplayan ve 320 MW kapasite ile yıllık ortalama 0.498 GWh'lik enerji üretimi gerçekleştiren Gonghe GES inşa edilmiş ve işletmeye alınmıştır.

2015 yılında ise ikinci aşama olarak 14 km²'lik bir alanı kaplayan ve 530 MW kapasiteye sahip olan tesisin ikinci kısmı tamamlanmıştır. 850 MW kapasitesi ile Gonghe GES dünyanın en büyük FV tesislerinden biridir. Tesisin 2014 yılında işletmeye alındığı ve güneş enerjisi santralının, hidroelektrik santral ile entegre olduğu bilinmektedir.¹⁵⁴

¹⁵² Ibid, s.49

¹⁵³ <https://www.hydropower.org/blog/case-study-solar-pv%E2%80%93hydro-hybrid-system-at-longyangxia-china> Erişim Tarihi: 02 Nisan 2020

¹⁵⁴ <https://www.hydropower.org/blog/case-study-solar-pv%E2%80%93hydro-hybrid-system-at-longyangxia-china> Erişim Tarihi: 02 Nisan 2020



Şekil 2.16: Longyangxia hidroelektrik santrali ve Gonghe güneş enerjisi santralinin yer aldığı hibrit sistemin uzaydan alınan görüntüsü¹⁵⁵

Öte yandan 2016 yılında, gelecekteki potansiyel büyük ölçekli FV kurulumları için teknik ve ekonomik açıdan fizibilitesinin yapılması amacıyla baraj üzerine yüzer FV paneller eklenerek hibrit sistemlere yönelik ilk pilot bir çalışma başlatılmıştır. Bu çalışma Portekiz’de bulunan ve 1964 yılında faaliyete geçen 68 MW gücündeki Alto Rabagão¹⁵⁶ PHES barajının üzerinde, 220 kW’lık güce sahip bir YFV sistem kurulumu ile gerçekleştirilmiştir.¹⁵⁷ 1957 yılında yapımına başlanan 68 MW gücündeki pompaj depolamalı hidroelektrik santral 1964 yılında faaliyete geçmiştir.



Şekil 2.17: Alto Rabagão PHES Barajı ve YFV Paneller

¹⁵⁵ https://eoimages.gsfc.nasa.gov/images/imagerecords/89000/89668/longyangxia_oli_2017005_lrg.jpg

Erişim Tarihi: 03 Nisan 2020

¹⁵⁶ <https://portugal.edp.com/en/alto-rabagao-hydro-power-plant> Erişim Tarihi:03 Nisan 2020

¹⁵⁷ REN21 (2019), s.102

Pilot proje, 840 YFV panelden meydana gelmekte ve toplamda 2500 m²'lik bir alanı kapsamaktadır. Projenin kurulumu için Alto Rabagão PHES'in seçilmesinin nedeni; kaplanmış olduğu geniş alan ve içinde bulunduğu kötü iklim koşullarından kaynaklanmaktadır. Böylece çalışmada teknolojik açıdan en zor koşullar altında mevcut teknolojinin test edilmesi amaçlanmıştır. Test çalışmaları 2017 yılında sona erdiğinde yapılan çalışmalar, kurulumun ilk yılında üretilen net enerji miktarının tahmin edilenden %5 daha fazla olduğunu, bunun da yıllık üretim miktarında 15 MWh' lik bir artışa neden olacağını göstermiştir. Bu sebeple pilot çalışma başarılı bulunmuştur. Bu artışta, büyük ölçüde test edilme dönemindeki elverişli hava şartlarının etkisinin bulunduğu düşünülmüştür.

Proje, Alto Rabagão yakınlarında arazi kurulumlu bir FV sistem ile de karşılaştırılmış ve bu karşılaştırma sonucunda; pilot çalışma, %10 daha fazla verimlilikle - bu değer beklenen verimlilik aralığının en üst seviyesi olmaktadır- YFV sistemin arazi kurulumlu bir FV sistemden daha verimli olduğunu doğrulamıştır.¹⁵⁸

2.3. Hidroelektrik Bağlantılı YFV Sistemlerin Dünya Uygulamaları

2018 yılı için yüzer FV tesislerin toplam kurulu gücünün 1.314 MW olduğu ancak teknolojik ilerlemeler ve sektörde artan faaliyetler ile birlikte önümüzdeki yıllarda bu kurulumun önemli ölçüde artmasının ve 2022 yılına kadar 4.600 MW kurulu kapasitesiye ulaşmasının beklendiği önceki başlıklar altında belirtilmişti.¹⁵⁹ Son zamanlara kadar yapılan kurulumların çoğunun sulama barajları, endüstriyel havzalar, su arıtma tesisleri ve kullanılmayan madencilik havuzları gibi insan yapımı su gövdelerine konuşlandırıldığı bilinmektedir. Ancak giderek artan çalışmalar ile birlikte hidroelektrik bağlantılı YFV sistemlere ilişkin yapılması planlanan proje sayısında artış olduğu gözlemlenmiştir. Yine de aynı şebekeye bağlı hibrit güneş-hidroelektrik tesislerin geliştirilmesi hala başlangıç aşamasında sayılmaktadır.

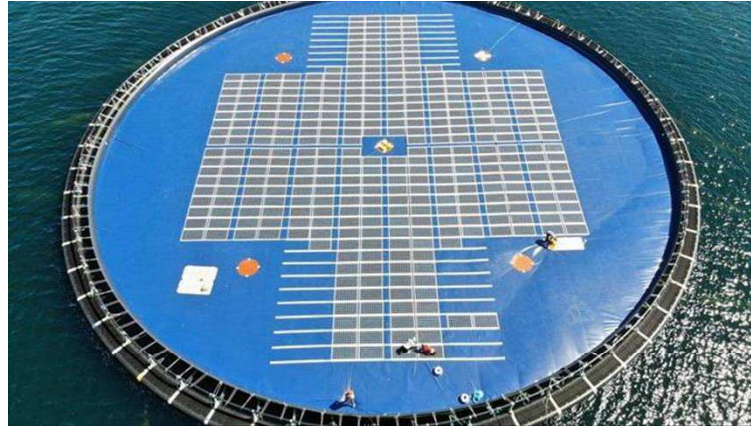
Tezin konusu itibariyle bu başlık altında verilen dünya uygulamalarında, hibrit güneş-hidroelektrik sistemler üzerine proje çalışmaları yapan ülkelerin projeleri ele alınacaktır.

¹⁵⁸ https://www.hydropower.org/sites/default/files/publicationsdocs/case_study_a_hybrid_hydropower_and_floating_pv_system_in_portugal.pdf Erişim Tarihi: 03 Nisan 2020

¹⁵⁹ Mohit Acharya ve Sarvesh Devraj, s.20

2.3.1. Arnavutluk

Dünya çapında birçok hidroelektrik santral inşa eden Norveç merkezli bağımsız bir enerji firması olan Statkraft, 73 MW kurulu güçteki Banja hidroelektrik barajı üzerinde 2 MW gücünde bir YFV sistemi kurmak için Aralık 2018’de Arnavutluk hükümetinden izin almıştır.¹⁶⁰ Bu proje için Ocean Sun Şirketi tarafından sağlanan farklı bir teknoloji kullanılması planlanmaktadır. Bu uygulama kapsamında kullanılan teknoloji, kıyı sularında ve insan yapımı rezervuarlardaki operasyonlar için tasarlanan ve açık deniz somon çiftliği mimarisinin özelliklerini taşıyan bir teknolojiye dayalıdır. Ocean Sun sisteminde Şekil 2.18’de görüldüğü gibi esnek bir hidro-elastik yüzer membrana monte edilmiş modifiye silikon FV modülleri kullanır. Proje tamamen bittiğinde tesis, yüksek yoğunluklu polietilen boru yapıları ile desteklenen ve her biri 72 metre çapında, 0,5 MW gücünde olan dört dairesel üniteden oluşacaktır. Yapım sürecinin, geçici işlerin tamamlanmasıyla birlikte yaklaşık 10 ay sürmesi beklenmektedir.¹⁶¹



Şekil 2.18: Ocean Sun Şirketinin Uyguladığı YFV Sistem Örneği ¹⁶²

2.3.2. Bangladeş

2019 yılının başında, Bangladeş’in Sürdürülebilir ve Yenilenebilir Enerji Geliştirme Kurumu, Asya Kalkınma Bankası’nın (ADB) finansal desteği ile 230 MW kurulu gücündeki Kaptai hidroelektrik santralinin rezervuar alanı üzerinde inşa edilmesi planlanan 50 MW gücündeki YFV sistem için, projenin uygulanması ile ilgili fizibilite

¹⁶⁰ <https://balkangreenenergynews.com/norways-statkraft-seeks-to-build-floating-solar-power-plant-in-albania/> Erişim Tarihi: 09 Nisan 2020

¹⁶¹ <https://www.statkraft.al/en/news/2018/2-mw-floating-solar-project-proposal-in-banja-reservoir-accepted-by-albanian-authorities/> Erişim Tarihi: 09 Nisan 2020

¹⁶² <https://oceansun.no/gallery/> Erişim Tarihi: 09 Nisan 2020

çalışmasını yürütmek üzere danışman atamıştır. Yapılması planlanan tesis ile; şebeke sıkıntısı yaşanmadan dahili depolama kapasitesi ile optimum enerji üretiminin sağlanması ve arazi kıtlığı bulunan ülkede henüz 250 MW olan güneş enerjisi kapasitesinin artırılması planlanmaktadır.¹⁶³

2.3.3. Brezilya

250 MW gücündeki Balbina HES, mevcut durumda kapasitesinin yalnızca beşte birini kullanmaktadır. Bu durumda barajın enerji veriminin YFV sistemlerle desteklenmesi adına pilot çalışma yapılması planlanmıştır. 2016 yılında, Balbina ve Sobradinho¹⁶⁴ hidroelektrik santrallerinin üzerine kurulan ve toplamda 10 MW'lık YFV sistem projesinin ilk aşaması olan pilot tesisler, birer hafta arayla devreye girmiştir. Her iki tesisin de kurulu gücü şuan 1 MW'tır. Sistemlerin başarısının kanıtlanması durumunda, her birime 4 MW daha eklenecektir. Pilot tesisler tamamlandığında yaklaşık beş futbol sahası büyüklüğünde olacağı tahmin edilmektedir.

Ayrıca Fransız enerji devi Engie'ye ait mühendislik firması olan Tractebel, Brezilya devlet enerji şirketinin sahip olduğu 52,2 MW gücündeki Batalha hidroelektrik santrali yüzeyine toplamda 30 MW kapasiteli üç yüzer FV projesi kurulumu yapmayı planlamaktadır.



Şekil 2.19: Balbina HES Üzerindeki Pilot YFV Tesis¹⁶⁵

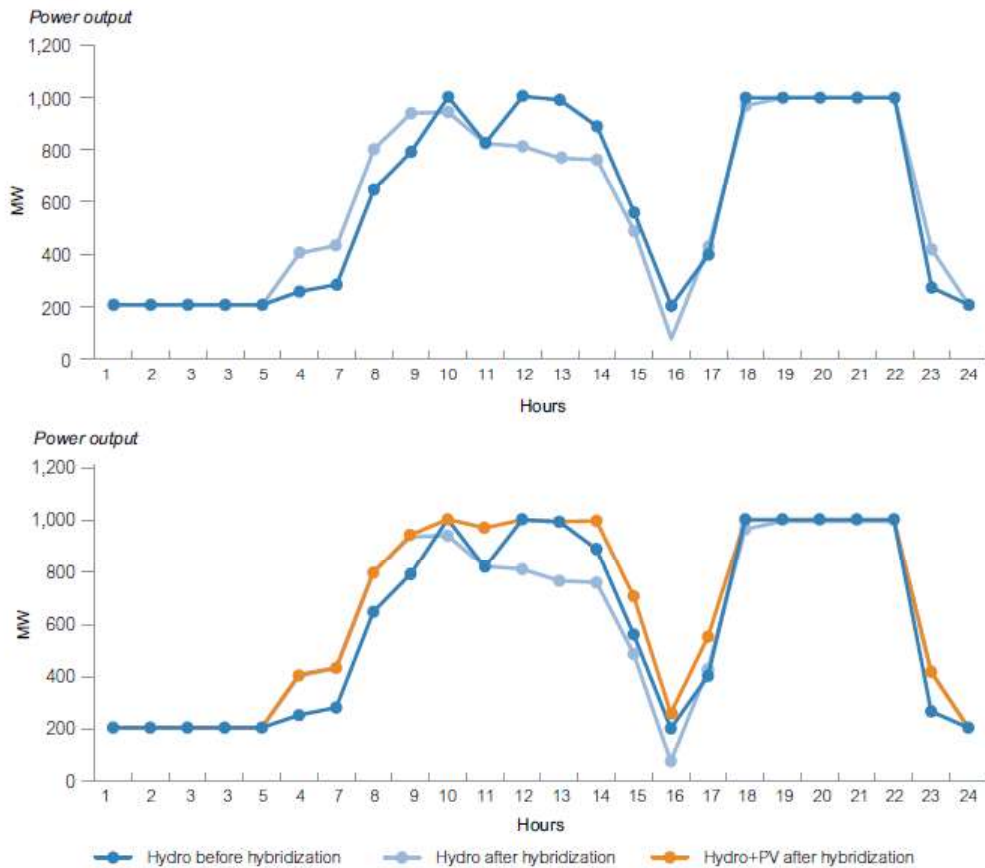
¹⁶³ <https://asiacleanenergyforum-revision.pi.bypronto.com/2/wpcontent/uploads/sites/2/2018/06/Hongwei-Zhang-Bangladesh-Kaptai-Lake-Overview.pdf> Erişim Tarihi: 09 Nisan 2020

¹⁶⁴ <https://www.pv-magazine.com/2020/02/14/brazilian-hydropower-dam-to-host-30-mw-of-floating-solar/> Erişim Tarihi: 09 Nisan 2020

¹⁶⁵ <https://www.fastcompany.com/40444039/this-dam-has-been-a-disaster-can-turning-it-into-a-solar-plant-save-it> Erişim Tarihi: 07 Nisan 2020

2.3.4. Çin

Çin 1.314 MW'lık küresel toplam kapasitenin 960 MW'sinden fazlasını kendi bünyesinde bulundurması ile en yüksek kurulum kapasitesine sahip, lider ülke konumundadır. Anhui eyaletinin güneyinde bulunan Huainan'da, 150 MW kurulu gücündeki tesis ile Çin, dünyanın en büyük YFV santraline ev sahipliği yapmaktadır. Ancak Çin'deki YFV tesislerin çoğu kullanılmayan maden havuzları üzerine kurulmuştur. Ülkede hibrit sistem olarak, yine dünyanın en büyük hibrit güneş-hidroelektrik projesi olan Qinghai kentindeki "Longyangxia hidro / PV enerji santrali" yer almaktadır. Tezin daha önceki bölümünde bahsedildiği gibi bu proje FV bileşeninin yere monte edildiği projedir. Şekil 2.20'de birbirinden yaklaşık olarak 30 km uzaklıkta bulunan Gonghe güneş enerjisi santrali ve Longyangxia hidroelektrik santralinden meydana gelen ve tamamlayıcı bir şekilde işletilen hibrit sisteme ait, hibridizasyon öncesi ve sonrasında hidroelektrik santralin ve sistemin toplam çıkış gücü verilmiştir.



Şekil 2.20: Aralık Ayında Bir Gün İçin Hibridizasyon İşleminde Önce ve Sonra

Hidroelektrik Santralin (üst) ve Toplam Sistemin (alt) Çıkış Gücü ¹⁶⁶

¹⁶⁶ World Bank Group, s.50

Hidroelektrik santralden elde edilen verim, FV santralin özellikle güneş enerjisi üretiminin en yüksek olduğu saat 11:00 ile 16:00 arasında, hibridizasyon öncesi seviyeden daha düşüktür. Tasarruf edilen enerji daha sonra sabahın erken saatlerinde ve gece geç saatlerde kullanılır. Projede hidroelektrik santralin günlük üretim modeli değişmiş olsa da, rezervuardaki günlük su dengesi su gereksinimlerini karşılamak için olduğu gibi tutulmuştur.¹⁶⁷

2.3.5. Hindistan

Ülkede toplam enerji üretiminin %13,6'sına eşdeğer olan, toplamda 44 GW kapasiteli bir çok hidroelektrik santral bulunmaktadır. Bu sebeple Hindistan YFV sistemler ile hidroelektrik santrallerin entegrasyonu için muazzam bir potansiyele sahiptir. Devlet tarafından yönetilen Ulusal Hidroelektrik Enerji Şirketi'nin açıklamalarına göre¹⁶⁸ Koyna Hidroelektrik Projesinde 600 MW kurulu gücünde YFV sistem kurulması planlanmaktadır. Bahse konu Koyna Projesi, Maharashtra Devlet Elektrik Kurulu tarafından yürütülen bir proje olup, toplam 1.960 MW kapasitesi ile ülkenin en büyük tamamlanmış hidroelektrik santralidir. Hidroelektrik santrallerin yapım sürelerinin uzunluğu ve birtakım jeolojik problemler sebebiyle güneş enerjisi sektöründe genişlemenin planlandığı ve hibrit güneş-hidroelektrik santral modellerinin geliştirilmesinin hedeflendiği bildirilmektedir. Ayrıca 2019 yılında, devlet tarafından 300 MW kurulu gücündeki Rihand Barajı'nda her biri 50 MW kapasiteli üç YFV projesi için bir ihale başlatılmıştır. 21 ayda tamamlanması beklenen proje ülkenin en büyük YFV projesi olacaktır.¹⁶⁹ Ayrıca Maharashtra Devlet Elektrik Dağıtım Şirketi, Solapur Bölgesindeki Ujani Barajı'nda 1 GW YFV projesini geliştirmeyi planlamış ancak maliyetler nedeniyle ihaleye yanıt alamayarak projeyi askıya almıştır.¹⁷⁰

Görüldüğü üzere Hindistan mevcut hidroelektrik potansiyelini kullanarak, hibrit sistemlerle var olan sistemi iyileştirme ve yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla yararlanma konusunda istikrarlı planlamalar yapmaktadır.

¹⁶⁷ Ibid, s.51

¹⁶⁸ <https://economictimes.indiatimes.com/industry/energy/power/nhpc-plans-600-mw-solar-project-atkoyna-dam-in-maharashtra/articleshow/52925466.cms?from=mdr> Erişim Tarihi: 07 Nisan 2020

¹⁶⁹ <https://www.pv-magazine-india.com/2019/08/07/uttar-pradesh-cabinet-clears-150-mw-floating-solar-plant-over-rihand-dam/> Erişim Tarihi: 07 Nisan 2020

¹⁷⁰ <https://timesofindia.indiatimes.com/city/nagpur/msedcl-puts-ujani-dam-floating-solar-plant-on-hold/articleshow/69795095.cms> Erişim Tarihi: 07 Nisan 2020

2.3.6. Endonezya

Endonezya'nın coğrafi konumu itibariyle önemli bir YFV potansiyeli bulunmaktadır. Ülkede bulunan hidroelektrik rezervuarlar, haliçler, koylar gibi yüzey alanlarında YFV potansiyelinin birkaç gigawatt aralığında olacağını tahmin edilmektedir.¹⁷¹ Endonezya'daki büyük proje geliştiricilerden biri olan Abu Dabi merkezli Masdar Clean Energy şirketi YFV tesislerine ev sahipliği yapabilecek 60'dan fazla rezervuar belirlemiş bulunmaktadır. Masdar, 2020 yılı başlarında Batı Java Eyaletindeki Cirata hidroelektrik santrali rezervuarının 225 hektarlık yüzeyini kapsayacak, 200 MW kapasiteye sahip olacak bir YFV santrali inşa etmek için yerel enerji kuruluşu ile bir proje geliştirme anlaşması imzalamıştır.¹⁷²

2.3.7. Portekiz

Tezin daha önceki bölümlerinde de bahsedildiği üzere baraj üzerine kurulu ilk FV sistem, 2016 yılında Portekiz'in kuzeyindeki Montalegre'de bulunan, Alto Rabagão PHES üzerine kurulmuştur. Kurulu gücü 220 kW olan tesisin tahmini yıllık üretim miktarı 300 MWh 'dir. 2017 yılında test çalışmaları sona erdiğinde, tesisin kurulumun ilk yılında üretilen net enerji miktarının tahmin edilenden %5 daha fazla olduğu, bunun da yıllık üretim miktarında 15 MWh' lik bir artışa neden olacağı tespit edilmiştir. Böylece ilk hibrit bağlantılı YFV tesise ilişkin pilot çalışma başarılı bulunmuştur.

2.3.8. Singapur

Singapur Ulusal Su Ajansı ve Singapur Ekonomik Kalkınma Kurulu tarafından ortak bir girişim ile Tengeh rezervuarında kurulan, toplam kurulu gücü 1 MW olan ve dünyanın en büyük YFV test yatağı olan sistem, Singapur Ulusal Üniversitesi'ndeki Güneş Enerjisi Araştırma Enstitüsü (SERIS) tarafından tasarlanmış, uygulanmış ve işletilmektedir. Hibrit bir sistem içermeyen bu tesise, bu tez çalışmasında oldukça yararlanılan bir kaynak olan Dünya Bankası Grubu'nun Yüzer Güneş Pazarı Raporu'nu hazırlayan SERIS tarafından, izleme ve araştırma amaçlı yapılmış olması sebebiyle bu başlık altında yer verilmiştir.

¹⁷¹ World Bank Group, s.63

¹⁷² <https://en.antaranews.com/news/139580/abu-dhabi-based-firm-to-invest-in-cirata-solar-plant-construction> Erişim Tarihi:11 Nisan 2020

Gözlemciler, 1 MW'lık kurulumun (her biri 100 kW olan 10 güneş paneli sisteminden oluşan) performansını birbirleriyle ve rezervuarın kıyısında bulunan bir invertör odasının üzerine monte edilmiş referans 20 kW çatı üstü FV sistem ile karşılaştırmasını yapmaktadır. Test yatağı ayrıca rezervuar üzerindeki azaltılmış buharlaşma, su kalitesi ve biyolojik çeşitlilik üzerindeki etkileri gibi kendi çevresel etkilerini incelemeye de olanak tanımaktadır. Kapsamlı bir izleme sistemi ile, elektrikten meteorolojik ve modüle bağlı faktörlere kadar 500'den fazla parametre gerçek zamanlı olarak izlenmektedir.¹⁷³



Şekil 2.21: Tengheh Rezervuarında SERIS Tarafından İşletilen 1 MW Kapasiteli YFV Test Yatağı¹⁷⁴

2.3.9. Tayland

Ülkenin resmi elektrik üretim kurumu olan EGAT (Electricity Generating Authority of Thailand) tarafından, “Hydro-Floating Solar Hybrid Project” olarak bilinen hibrit hidroelektrik-güneş enerjisi santralleri projesi başlatılmıştır.¹⁷⁵ Proje kapsamında kurulacak 45 MW kapasiteli tesis, Ubon Ratchathani Eyaleti’nde bulunan ve 1968 yılında elektrik ve sulama suyu temin etmek amacıyla inşaa edilen 26 MW kurulu gücündeki Sirindhorn Barajı’nın yüzeyinde olacaktır. Tesisin 2020 yılı içerisinde ticari işletmeye

¹⁷³ World Bank Group, s.67

¹⁷⁴ Ibid, s.68

¹⁷⁵ <https://www.pv-tech.org/news/thailand-utility-eyes-1-gw-of-floating-solar-on-hydro-dams-pilots-energy-sto> Erişim Tarihi:12 Nisan 2020

geçmesi beklenmektedir. Bu proje işletmeye geçtiğinde, bir hidroelektrik santrale bağlı dünyanın en büyük hibrit yüzer güneş enerjisi projesi olacağı tahmin edilmektedir.



Şekil 2.22: 45 MW'lık YFV Tesisin Kurulacağı Sirindhorn Barajı¹⁷⁶

Ayrıca EGAT hidroelektrik bağlantılı YFV projelerini genişletilerek ülke genelinde sekiz baraj üzerinde 1 GW'lık kapasite planlaması yaparken, bunu daha da genişleterek 2037 yılına kadar hidroelektrik baraj rezervuarlarının dokuzunda toplam kapasitesi 2,7 GW'nin üzerinde olan 16 YFV tesis kurmayı planlamıştır.

EGAT gelecek dönemlerde frekans kararlılığını ve sistem esnekliğini artırmak amacıyla, hibrit tesisin bir lityum-iyon pil depolama sistemi ile birleştirilmesini de planlamaktadır.¹⁷⁷ Bu kapsamda 22 MW ve 16 MW'lık iki tesis üzerinde çalışmalara başlamıştır.

2.3.10. Ukrayna

Ukrayna, YFV sistemleri güneş-rüzgar enerjisi şeklinde bir hibrit model ile uygulamaya koymayı düşünmektedir. Bu kapsamda, İngiltere merkezli şirket olan

¹⁷⁶ <https://www.egat.co.th/en/news-announcement/web-articles/egat-s-first-floating-solar-project-at-sirindhorn-dam-combining-hydropower-and-solar-power-is-the-largest-hybrid-power-generation-in-the-world> Erişim Tarihi:12 Nisan 2020

¹⁷⁷ <https://renewablesnow.com/news/thai-utility-plans-building-27-gw-floating-pv-farm-report-645486/> Erişim Tarihi:12.04.2020

Touchstone Capital Group Holdings Ltd. tarafından GW kapasiteli bir hibrit rüzgar-güneş enerjisi projesi inşa edilmesi planlanmaktadır.

Dinyeper Nehri üzerinde bulunan Kakhovka hidroelektrik santrali rezervuarında 1,3 GW kapasiteli hibrit bir rüzgar-güneş enerjisi projesi hayata geçirilecektir. 1956 yılında faaliyete geçen 357 MW kurulu güce sahip Kakhovka Barajı'na ait rezervuar sularında, toplam 1 GW'nin üzerinde bir rüzgar çiftliğinin oluşturulması ve rüzgar kulelerinin arasında bulunan boşluklarda YFV sistemlerin kurulması ile oluşacak hibrit güneş-rüzgar enerjisi sisteminin yavaş yavaş genişletilmesi, projenin 2019-2024 yılları arasında tamamlanması hedeflenmiştir. ¹⁷⁸

2.3.11. Vietnam

Günümüzde yüzer FV için en büyük pazarların coğrafi konumu nedeniyle Asya'da olduğu bilinmektedir. Asya Kalkınma Bankası (ADB) tarafından desteklenen ve insan yapımı kaskat model olan 175 MW'lık Da Mi HES ile entegre olan 47,5 MW'lık bir yüzer FV sistem yapılması planlanmış ve 20,5 MW'lık kapasitenin kurulumu tamamlanmıştır. ¹⁷⁹ Proje Asya'da, en büyük mevcut hibrit elektrik-güneş enerjisi santralidir. İlerleyen dönemlerde Da Mi hidroelektrik santralının diğer üç barajında da yüzer FV sistem yapılması planlanmaktadır. Bunlar; 300 MW kurulu gücündeki Ham Thuan, 160 MW kurulu gücündeki Da Nhim ve 7,5 MW kurulu gücündeki Song Pha hidroelektrik santralleridir. ¹⁸⁰

2.4. Seçilmiş Ülkelerdeki Finansal Teşvikler ve Destekleyici Hükümet Politikaları

Dünya Bankası'nın 2018 yılı piyasa raporunda ¹⁸¹ ; YFV sistemlerin kurulumlarının birçok durumda maliyet açısından rekabetçiliği artıracağı için finansal teşviğin gerekli olmadığı ancak bununla birlikte ilk projelerde, endüstrinin nispeten sınırlı

¹⁷⁸ <http://riverwind.in.ua/en/2018-04-28-19-17-5/kontseptualnye-dannye-proekta-2> Erişim Tarihi:12 Nisan 2020

¹⁷⁹ Hydro's Digital Generation, Transforming For The Future Of Hydropower, s.19 <https://www.accenture.com/acnmedia/PDF-121/Accenture-Hydro-Digital-Generation-USLdig.pdf> Erişim Tarihi:10 Nisan 2020

¹⁸⁰ <https://www.pv-magazine.com/2019/10/02/vietnamese-hydropower-company-secures-financing-for-47-mw-floating-pv-project/> Erişim Tarihi:12 Nisan 2020

¹⁸¹ World Bank Group, s.81

deneyiminden kaynaklı teknoloji açısından oluşabilecek engellerinin üstesinden gelebilmek için projelerin bir tür desteğe ihtiyaç duyabileceği belirtilmiştir.

Ülkeler YFV projelerine çeşitli yaklaşımlar getirmişlerse de, YFV kurumlarını destekleyen politikaların çoğu iki kategoriden birine girmektedir. Bunlar; finansal teşvikler veya destekleyici hükümet politikalarıdır.

2.4.1. Finansal Teşvikler ve Destek Mekanizmaları

Yüzer FV sistemlerin her geçen gün popüler hale gelmesine rağmen, YFV projeleri için her türlü destek/teşvik sağlayan çok az ülke bulunmaktadır. Şuan için arazi kurulumlu FV sistemlerin aksine YFV sistemler için belirli standartlar veya politikalar bulunmamaktadır. Ancak Japonya, Malezya ve Vietnam gibi bazı ülkelerde FV tesisler için tarife garantisi (Feed in Tariff-FIT) uygulamaları YFV tesisleri de kapsamaktadır. Bu ülkelerdeki YFV projelerinin çoğu 5 MW'tan az küçük ölçekli projelerdir ve yerel / ulusal bankalar tarafından yerel para birimlerinde finanse edilmektedir.¹⁸²

◇ Vietnam'da yenilenebilir enerji teknolojilerinin geniş çaplı uygulanmasının teşvik edilmesi amacıyla, Vietnam Sanayi ve Ticaret Bakanlığı tarafından 2017 yılında tüm şebeke çapında, güneş enerjisine dayalı üretim tesisleri için bir FIT şeması oluşturulmuştur. Oluşturulan bu şema YFV projeleri için de geçerliydi. 30 Haziran 2019'da sona eren bu teşvik mekanizması 2 GW kapasite sınırıyla 12 ay daha uzatıldı. Hükümet, eski tarifelerinin sona ermesinden yaklaşık 10 ay sonra, sektör beklentileriyle geniş ölçüde uyumlu olduğu dile getirilen yeni teşvikleri açıklamıştır. Buna göre; arazi kurulumlu FV santralleri tarafından üretilen elektrik için yeni alım fiyatı 20 yıllık bir süre boyunca 0,0709 \$ / kWh, çatı üstü FV dizileri için 0,0838 \$ / kWh ve yüzer FV projeleri için 0,0769 \$ / kWh olarak belirlenmiştir.¹⁸³

◇ Malezya'da FV projeler 2012 yılında tarife garantisi (Feed in Tariff-FIT) kapsamında kullanılmasına rağmen, 2017 yılında bu kapsamdan çıkmış ve Large Scale Solar (LSS) and Net Energy Metering (NEM) şemaları kapsamında değerlendirilmiştir. NEM ve LSS şemaları, tüketici tarifelerine yönelik bir geçiş mekanizması ile

¹⁸² Mohit Acharya ve Sarvesh Devraj, s.26

¹⁸³ https://www.pv-magazine-australia.com/2020/04/08/vietnam-finally-unveils-new-fits-for-large-scale-rooftop-floating-pv/?utm_source=Biblio&utm_campaign=Network Erişim Tarihi: 12 Nisan 2020

desteklenmektedir. NEM şeması Sürdürülebilir Enerji Geliştirme Kurumu (SEDA) tarafından uygulanırken, LSS şeması Enerji Komisyonu (EC) tarafından uygulanmaktadır. Yani SEDA tarafından altı ayda bir “RE (Renewable Energy) kotası” belirlenir ve bu kota üç yıllık bir dönemi kapsar. Ancak, YFV projeleri için şu anda mevcut kota bulunmamaktadır. YFV projeleri de dahil olmak üzere büyük ölçekli FV projeler için açık arttırma-müzayedeler uygulanmaktadır. Enerji Komisyonu tarafından uygulanan LSS sözleşmeleri, seviyelendirilmiş enerji maliyetini (LCOE) düşürmek için açık teklif verme uygulaması ile sunulur.¹⁸⁴

◇ Japonya’da hükümet 2012 yılında yenilenebilir enerjideki yatırımcılara geri dönüşü garanti eden bir tarife garantisi (Feed in Tariff-FIT) başlatmış böylece enerji sektörüne büyük miktarda yatırım çekmiştir. Bu döneme ait yatırımın büyük bölümünü güneş fotovoltaikleri oluşturmaktadır. Ancak 2012-2017 yılları arasında daha büyük fotovoltaik sistemler için fiyatlar neredeyse %30 düşmüştür. Japonya şimdilerde teşvik yapısını mali açıdan daha sürdürülebilir hale getirmeyi amaçlarken, maliyeti daha fazla düşürebilmek adına daha büyük tesisler için açık arttırmaları kullanmaya başlamıştır.¹⁸⁵ Nisan 2017 itibariyle güneş enerjisi projeleri için bir açık arttırma mekanizması uygulamaya konmuştur.

Tayvan ve Amerika Birleşik Devletleri’ndeki Mas-Massachusetts Eyaleti gibi bazı ekonomilerin ise YFV sistemler için özel destekleme mekanizmaları vardır. Bunlar:

Tayvan: Ülkede YFV projeler için belirli bir tarife geçerlidir. Tarife, yere monte edilen fotovoltaik sistemler için uygulanan alım garantisinden daha yüksektir. Ülkenin Ekonomik İşler Bakanlığı (MOEA) tarafından 1 Ocak 2020’den itibaren geçerli olacak çatı, yere monte ve yüzer güneş FV sistemleri için alım fiyatlarını revize edilmiştir. Buna göre YFV projelerine tarife garantisi (Feed in Tariff-FIT) kapsamında, 2019’a kıyasla 2020’de % 2,27 daha az teşvik sunulacak ve kWh başına 14 cent ödenecektir.¹⁸⁶

Massachusetts Eyaleti (ABD): 2018 yılında YFV tesisler için, Massachusetts’te güneş enerjisinin gelişimini desteklemek için oluşturulan Solar Massachusetts

¹⁸⁴ https://ica-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/NSR_Malaysia_2018.pdf Erişim Tarihi: 13 Nisan 2020

¹⁸⁵ <https://www.eastasiaforum.org/2018/05/10/recharging-japans-energy-policy/> Erişim Tarihi: 13 Nisan 2020

¹⁸⁶ <http://taiyangnews.info/markets/lowered-solar-fit-rates-come-into-effect-in-taiwan/> Erişim Tarihi: 13 Nisan 2020

Yenilenebilir Hedef (SMART) Programı uygulanmıştır. SMART ile, güneş enerjisi sistemi sahipleri, güneş enerjisi üretimi için devletten üretilen kilowatt saat (kWh) başına sabit bir oranda ödeme alırlar. Bir sistem sahibinin aldığı ödeme, toplam teşvik miktarından elektrik oranlarına göre belirlenen enerjinin değeri çıkartılarak hesaplanır. Böylece üretici, güneş panelleri tarafından üretilen elektrik miktarına göre ödüllendirilir.¹⁸⁷ Bu program kapsamında Enerji Kaynakları Bölümü düzenlemesi, program için düzenleyici çerçeveyi belirler. Güneş enerjisi programı yöneticisi tarafından başvurunun onaylanmasının ardından, tarife esaslı teşvik doğrudan kamu hizmeti şirketi tarafından sistem sahibine ödenir.¹⁸⁸

2.4.2 Destekleyici Hükümet Politikaları

Bazı hükümetlerin özel ajansları, pilot tesis kurulumunu desteklemiş ve bu kapsamda teşvik veya ihaleye çıkma gibi yollar aracılığıyla YFV projelerinin gelişmesine ülkeleri adına katkıda bulunmuşlardır.

- 500 kW kapasiteye sahip ve Aralık 2014’ te faaliyete geçen Hindistan’ın ilk pilot YFV tesisi Yeni ve Yenilenebilir Enerji Bakanlığı tarafından finanse edilmiştir. Bakanlığın başarısının ardından, diğer kurumlar ve hükümet organları ülke çapında küçük tanıtım projeleri kurmuşlar ve çok sayıda YFV proje için ihale başlatmışlardır. 2018 yılı itibarıyla 1,8 GW’den fazla kapasite planlanmış, ihale edilmiş veya yapım aşamasında bulunmaktadır.¹⁸⁹

- 2018 yılında Hollanda’da, Hollanda Kurumsal Ajansı’ndan (RVO) finansman alan bir konsorsiyumun oluşturulması bir başka örnek olarak gösterilebilir. Konsorsiyumun amacı ülkenin iç sularında esnek bir yüzer güneş paneli tasarımı geliştirmek ve mevcut yüzey alanını en iyi şekilde kullanmaktır.¹⁹⁰

- 2015 yılında Çin’in Ulusal Enerji İdaresi, fotovoltaik enerji üretimi ve panel üretimi için "Top Runner" programının uygulanmasını önermiştir. Özellikle Anhui

¹⁸⁷ <https://news.energysage.com/solar-massachusetts-renewable-target-smart-massachusetts-srec-replacement-program/> Erişim Tarihi: 13 Nisan 2020

¹⁸⁸ <https://www.mass.gov/info-details/solar-massachusetts-renewable-target-smart-program#general-information-> Erişim Tarihi: 13 Nisan 2020

¹⁸⁹ World Bank Group, s.82

¹⁹⁰ İbid

Eyaletinde olmak üzere kömür madeni çökme bölgelerine 1 GW toplam kapasitede YFV tesislerinin kurulması için ihale yapılmıştır. Top Runner programı tarafından teşvik edilen güneş enerjisi geliştiricileri, çevresel ve sosyal zorlukları bir fırsata dönüştürmektedir. Bu program ile fotovoltaik enerji üretiminin kurulum maliyeti düşmekte, elektriğin fiyatı düşmekte, sübvansiyonlar azalmaktadır.¹⁹¹

- Hindistan’da birçok FV ihalesi, Solar Enerji Şirketi veya merkezi ve eyalet hükümetleri tarafından zorunlu tutulan, katı bir şekilde yenilenebilir satın alma yükümlülükleriyle karşı karşıya kalan diğer kamu hizmetleri ve dağıtım şirketleri tarafından organize edilmektedir. Daha önceden belirlenmiş rezervuarlar üzerine kurulacak YFV sistemler için ihaleler yapılmaktadır.

Yüzer FV sistemlerin güneş enerjisi pazarında yeni bir sektör olarak ortaya çıkması yatırımcılar için ilgi çekici olsa da, enerji alanında yapılması muhtemel olan her proje gibi teknolojik imkanlar dahilinde elde edilecek verim, fizibilite, maliyet, sürdürülebilirlik vb. hususlarda detaylı çalışmalar gerektirmektedir. Bu açıdan değerlendirildiğinde, YFV sistemlerin pazara girişini sağlamak ve pazar payında mevcudiyetini garanti altına almak adına ülkeler, kendi içerisinde bulunduğu koşullara göre yatırımcılara teşvik/destek sağlamak durumunda kalabilirler. Bu kapsamda, ülkelerin de yenilenebilir enerji alanında izledikleri politikalara, gelecekteki vizyonlarına göre mevcut enerji politikalarını revize etmeleri gerekebilir.

¹⁹¹ İbid,s.83

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

TÜRKİYE'DE YÜZER FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN UYGULANMASI

Güneş enerjisinin doğrudan kullanım alanları arasında kendine yeni bir pay oluşturan ve dünya genelinde kurulumu giderek yaygınlaşan yüzer fotovoltaik sistemlerin, ülkemizde de bulunduğu coğrafi konum itibariyle geniş bir kullanım alanına sahip olma potansiyeli bulunmaktadır.

Türkiye’de taşkın koruma tesisleri, hidroelektrik santrallerin rezervuarları gibi insan yapımı tesislere; atıksu arıtma tesisleri, madencilik ve taş ocakları için oluşturulan endüstriyel havuzlara; tarımsal sulama amaçlı oluşturulan tesislere YFV sistemlerin kurulması mümkündür. Potansiyel açıdan değerlendirildiği zaman, ülkemizde DSİ’nin 2018 yılı resmi su kaynakları istatistiklerine¹⁹² göre; sadece DSİ tarafından farklı amaçlarla yapılan 512 adet gölet, 8440 adet işletmede olan taşkın koruma tesisi, 2743 adet sulama tesisi ve 821 adet baraj bulunmaktadır. Bunlardan enerji amaçlı tesis edilen bazılarının yüzey alanının; Atatürk Barajı 817 km², Keban Barajı 675 km², Ilısu Barajı 309 km², Karakaya Barajı 268 km², Hirfanlı Barajı 263 km², Altinkaya Barajı 118 km² büyüklüğünde olduğu bilinmektedir. Söz konusu tesisler yüzey alanları bakımından değerlendirildiğinde, büyük ölçekli YFV sistem kurulumu için yüksek potansiyel barındırmaktadırlar. Ancak tüm bu yapılar üzerinde, yüzer güneş enerjisi sistemlerinin kurulumlarının yatırım amaçlı değerlendirilebilmesi için teknolojik imkanlara, örnek uygulamalara ve de öncelikli olarak bu konuda oluşturulan yasal çerçeveye ihtiyaç duyulmaktadır. Önceki bölümlerde YFV sistemler, bileşenleri, kurulum alanları, dünya genelinde pilot çalışmalar ve mevcut tesisler değerlendirilmiş, hidroelektrik bağlantılı YFV tesislere ilişkin kurulumu tamamlanmış veya yapılması planlanan tesislere ilişkin örnekler verilmiş ve seçilmiş ülkelerdeki destekleyici politikalar/teşvikler aktarılmıştı. Bu bölümde öncelikle ülkemizde gerçekleştirilen pilot uygulamalardan, yasal süreçten ve bu süreç kapsamında YFV sistemlerin nasıl değerlendirildiğinden, kurulumuna ilişkin

¹⁹² <http://www.dsi.gov.tr/dsi-resmi-istatistikler/resmi-i-statistikler-2018/2018-y%C4%B1l%C4%B1-verileri> Erişim Tarihi: 22 Nisan 2020

kriterlerden bahsedilecek, daha sonra ise mevzuat kapsamında kurulabilecek kapasite ve verilecek teşviklere değinilecektir.

3.1. Pilot Uygulamalar

Ülkemizde biri hidroelektrik santralin rezervuar yüzeyine, diğeri ise su arıtma tesisinin yüzey alanına kurulu olan iki pilot yüzer FV sistem uygulaması mevcuttur.

3.1.1. Hydrosolar Azmak Projesi

Türkiye’de yüzer FV sistem ilk olarak, Mersin ilinin Mut ilçesi sınırlarında Ermenek Çayı üzerinde kurulan ve 24,407 MW kurulu güce sahip olan Azmak HES Projeleri’nden (Azmak I HES, Azmak II HES ve Kirpilik HES adında 3 adet ardışık (kaskat) nehir tipi hidroelektrik santraller grubu) Azmak II HES’in rezervuar alanında kurulmuştur. “Hydrosolar Azmak” adıyla bilinen bu proje, bir proje geliştiricisi firma tarafından Ar-Ge çalışmalarının TÜBİTAK desteğiyle gerçekleştirildiği “Hydrosolar” projesinin bir prototipi olarak uygulamaya geçmiştir. 2013 yılı Eylül ayında Ar-Ge çalışmalarına başlanmış, 20 kW’lık güce sahip projenin 10 kW’lık ilk fazı 2014 yılı Ekim ayında devreye alınmıştır.

Yüzer FV sistemde 10 kW ölçeğinde sistem tasarımı gerçekleştirebilmek için 40 adet 250 Wp gücünde FV panel kullanılmıştır. Panel seçiminde en yaygın kullanılan panel tipi olması, hızlı temini ve uygun maliyetleri sebebi ile polikristal FV paneller tercih edilmiştir. Sistem, birbirine paralel bağlanmış 4 diziden oluşmaktadır. Her bir dizide ise birbirine seri bağlanmış 10 adet FV panel bulunmaktadır.

10 kW kurulu güç kapasitesine sahip olan YFV sistem, Türkiye’nin ilk yüzer güneş enerjisi sistemi olmasının yanı sıra dünyada yüzer FV sistemin bir baraj rezervuarı üzerine uygulandığı ilk proje olmuştur.¹⁹³ Proje geliştirici firma tarafından, sistemin yılda toplam 16 MWh’lık üretim yaptığı, üretilen elektriğin Azmak II HES’in iç tüketiminde kullanıldığı, ayrıca kara kurulumlu FV sisteme göre %8 oranında daha fazla üretim sağladığı belirtilmektedir.

¹⁹³ <https://www.tyt.com.tr/hydrosolar> Erişim tarihi: 23 Nisan 2020



Şekil 3.1: 10 kW Gücündeki Hydrosolar Azmak Projesi

Hydrosolar Azmak Projesi bir yüksek lisans tezi¹⁹⁴ kapsamında, 2017 yılı Eylül ve Ekim aylarında Konya ili, Selçuklu ilçesinde bulunan çatı üstü kuruluma sahip 82 kW kurulu gücündeki FV sistem ile kıyaslanmış, teknik ve ekonomik açıdan analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda yüzer ve arazi tipi sistemlerin enerji üretim miktarları arasında %0,8'lik fark olduğu, bu sistemlerdeki ölçüm hataları göz önüne alındığında kara kurulumu ve yüzer FV sistemlerin enerji üretimlerinin yaklaşık olarak eşit olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi olarak; yüzer sistemin panellerin eğim açısının 30° olması ve suya yeterince paralel konumda bulunmaması sebebiyle panellerde yeterince soğumanın gerçekleşmemesi, yüzer sistemin su yüzeyinde bulunmuş olması sebebiyle ortam sıcaklığının ve ışıının arttığı zamanlarda panellere ulaşan ışıının miktarının su buharı içerisinde kırılarak geçtiğinin düşünülmesi, ölçüm aletlerinden kaynaklanan hassasiyetler gösterilmiştir. Öte yandan, ölçümlerin Eylül ve Ekim aylarında yapılmış olması sebebiyle panel sıcaklıklarının yeterince artış gösteremediği, Temmuz-Ağustos gibi daha sıcak aylarda ölçümler tekrar edildiğinde yüzer sistemin enerji üretim veriminin artacağı belirtilmiştir. YFV sistem akademik seviyede olmasa da günümüzde de izlenmekte ve günlük veri kaydı yapılmaktadır.

3.1.2. Büyükçekmece Gölü Yüzer GES Projesi

2017 yılında, İstanbul'un su kaynaklarından biri olan Büyükçekmece gölü üzerinde, İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin iştiraki olan İstanbul Enerji A.Ş. ve İstanbul

¹⁹⁴ Hakan Şençiçek, s.69

Su ve Kanalizasyon İdaresi'nin (İSKİ) işbirliğiyle "Büyükçekmece Gölü Yüzer GES Projesi"¹⁹⁵ faaliyete geçirilmiştir. Projenin faaliyete geçmesindeki amaç; İstanbul'a Istarancalar ve Melen ırmağı gibi yüzlerce kilometre uzaklıktan tüm maliyetlerine katlanılarak getirilen suyun, stoklandığı havzalarda önemli miktarlarının buharlaşması ve meydana gelen bu buharlaşmanın minimize edilmek istenmesidir. Buharlaşmanın engellenmesi için yapılan araştırmalar sonucunda, Asya ülkelerinde yaygın olarak kurulan ve su yüzeyinin hava ile temasını belirli bir oranda önleyerek suyun buharlaşmasının azaltılmasında aktif rol oynayabilecek yüzer güneş enerjisi sistemlerinin göl yüzeyine uygulanabileceği fikri ortaya çıkmıştır.

"İstanbul Tatlı Su Kaynaklarında Yüzer Güneş Enerji Santralinin Kurulması ve Verimliliğin Değerlendirilmesi Projesi" kapsamında gerçekleştirilen bu proje, bir Ar-Ge projesi niteliğinde olup kâr amacı gütmemektedir. Projeyle, içme suyu arıtma tesisinin faaliyetleri için ihtiyaç duyulan enerjinin bir miktarının tesisin sahip olduğu potansiyel yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması ve böylelikle enerji maliyetinin önemli ölçüde düşürülmesi amaçlanmıştır.

Tez çalışması kapsamında yapılan araştırmalar neticesinde; ülkemizde göl yüzeyi üzerine kurulumla ilk YFV sistem olma özelliğini taşıyan Büyükçekmece Gölü Yüzer GES Projesi'nin kurulumu ve işletmesine dair edinilen deneyimlere örnek teşkil etmesi açısından tezin bu bölümünde yer verilmiştir.

Öncelikle söz konusu proje, hayata geçirilmeden önce güneş enerjisi sektöründe aktif şekilde kullanılan çeşitli simülasyon uygulamaları (PvSol, Pvsyst vb.) üzerinden analizler yapılmış, analiz sonucunda sistemde üretilmesi planlanan elektrik üretim miktarı belirlenmiş ve bu miktar üzerinden sistemin fizibilite çalışması yapılmıştır. Fizibilite çalışmasında su arıtma tesisinin elektrik tüketimine özgü değerlerin dikkate alındığı belirtilmiştir.

Göl yüzeyine GES kurulumu ile bu alanda Türkiye'deki ilk uygulama olma özelliğini taşıyan projede, gölün üzerine 210 kW, kara üzerine ise mukayase amaçlı 30 kW gücünde panel kurulumu gerçekleştirilmiştir. Kara yüzeyine enerji paneli kurulumunda, rüzgar ve gölgelenme gibi faktörler bakımından göl yüzeyi ile birbirine

¹⁹⁵ <https://www.enerji.istanbul/gunes-enerjisi/> Erişim tarihi: 23 Nisan 2020

yakın ortam koşullarının sağlanması ve her iki kurulum arasında yapılacak mukayesinin eşit şartlarda olması amacıyla çatı üzerine kurulum tercih edilmiştir. Kurulumlar altı ayda tamamlanmıştır. Santralde 240 kW gücünde toplam 960 adet polikristal fotovoltaik panel bulunmaktadır. Santralin toplam kurulum alanı yaklaşık 2.900 m²'dir.¹⁹⁶



Şekil 3.2: 240 kW Gücündeki Büyükçekmece Gölü Yüzer GES Projesi

Şekil 3.2’de görüldüğü üzere, YFV sistemler için biri duba (120 kW), diğeri ise duba-konstrüksiyon (90 kW) kombinasyonundan oluşan iki farklı yüzdürücü sistem kullanılmıştır. Her bir panel için bir dubanın yer aldığı 120 kW’lik sistemin panel eğim açısı 13° ve yüzey açıklığı¹⁹⁷ %40, her dört panel için iki dubanın yer aldığı 90 kW’lik sistemin panel eğim açısı 26°, yüzey açıklığı ise %80’dir. Burada farklı iki sistem kullanılarak sistemler arasındaki elektrik üretim farkının mukayese edilmesi, farklı tasarıma sahip yüzdürücü dubaların su yüzeyindeki dayanımlarının ve su kalitesine etkilerinin analiz edilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda elde edilen verilere göre; 120 kW’lik sistemdeki dubanın ağırlığının daha hafif olması sebebiyle işletme süreci açısından diğer sisteme göre daha avantajlı olmuş, ayrıca 90 kW’lik sistemde yer alan konstrüksiyon sistemi göl yüzeyinde oluşan dalgalar sebebiyle ekstra bakım onarım ihtiyacı doğurmuştur. Öte yandan, bu sistemin eğim açısının 120 kW’lik sisteme göre fazla olması sebebiyle sistem rüzgara daha fazla maruz kalmış ve bu durum sonucunda meydana gelen hasar, ayrıca yapılan bakım onarım çalışmaları açısından ekstra maliyet oluşmuştur. Elektrik üretimi açısından bu iki sistem ele alındığında ise; 26°’lik eğim açısına sahip olması sebebiyle 90 kW’lik sistemde üretimin daha fazla olduğu, ancak bu sistemin bakım onarım maliyetlerinin de daha fazla olması sebebiyle üretim bakımından

¹⁹⁶ <https://www.enerji.istanbul/gunes-enerjisi/> Erişim tarihi: 23 Nisan 2020

¹⁹⁷ **Yüzey açıklığı:** Panellerin yüzdürücü dubalar üzerine montajı yapıldıktan sonra kurulu sistemin altındaki suyun hava ile temas edebildiği (güneş görebildiği) yüzey alanıdır.

edinilen üstünlüğü tolere edemediği değerlendirilmiştir. Bu sebeple, sonuçlar karşılaştırıldığında 120 kW'lık sistemin kullanılmasının daha uygun olacağı düşünülmüştür.

Proje tasarımının yapılması ve yerleşim planlarının hazırlanması, ürün seçimi, süpervizörlük gibi konular Hydrosolar Azmak Projesi'ndeki proje geliştirici firma tarafından sağlanmış ve 120 kW'lık sistem firma tarafından tedarik edilmiştir. FV panellerin, inverterlerin, kablo vb. malzemelerin tedariği, panellerin kurulumu, sistemin suya alınması, kablo bağlantılarının yapılması ise şirket tarafından sağlanmıştır.

Çatı üzerinde yer alan güneş enerjisi sistemindeki panellerin eğim açısı 13° olup, su yüzeyinde yer alan 120 kW gücündeki sistem ile aynıdır. Projenin verimliliğine ilişkin yapılan araştırmalar kapsamında; elektrik üretimin en yüksek seviyeye ulaştığı yaz döneminde bu iki sistem arasında üretim verileri açısından karşılaştırma analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda karadaki meteorolojik koşullar ile su yüzeyindeki meteorolojik koşulların farklı olduğu, yüzer sistemin bulunduğu bölgedeki nem miktarının karaya oranla %18 daha fazla olduğu, ayrıca göl yüzeyinde buharlaşma olması sebebiyle bölgedeki ısıtım miktarının, karaya oranla %8 daha az olduğu tespit edilmiştir. Isıtım miktarındaki farklılığın elektrik üretimine etki etmesi sebebiyle, YFV sistemin elektrik üretiminin karadaki sisteme oranla yaklaşık %7-8 oranında daha az olması beklenirken, gerçekleşen üretim verileri ile bu oranın yaklaşık %2 civarında olduğu görülmüştür. Üretimde beklenenden daha az farkın oluşmasına ilişkin yapılan iki değerlendirme mevcuttur. Bunlar ilk görüşe göre; suyun soğutma etkisi ve su yüzeyinden yansıyan ışık ile fazla miktarda enerji üretilmesidir. Çevresel farklılıklar sebebiyle sistem üzerinde; doğrudan elektrik üretimleri üzerinden değil sistem performansı üzerinden analiz yapılmasının daha doğru sonucu vereceği düşünülmüştür. Bu sebeple, göl ve kara yüzeyine kurulumlu sistemlerden elde edilen elektrik üretim miktarının yine göl ve kara yüzeyindeki ısıtım miktarına oranlanması ile elde edilen performans analizi sonucunda yüzer sistemin performansının arazi tipi sisteme oranla %7 daha fazla olduğu bildirilmiştir.

Proje çalışmaları kapsamında yapılan simülasyon analizleri ile; göl yüzeyine iki farklı yüzdürücü sistemle kurulan enerji panelleri vasıtasıyla Büyükçekmece Gölü'nden 202 hanenin yıllık elektrik ihtiyacını karşılayabilecek güçte enerji (315.000 kWh elektrik

enerjisi) üretilmesi öngörülmüştür. Bu değerler, yılda 164 ton CO₂ salınımının önlenmesi ve 13 ton egzoz salınımının (karbon salınım) azaltılmasına karşılık gelmekte, bu da trafikten 135 aracın çekilmesi ve 4.200 ağacın dikilmesine eş değer çevresel fayda sağlamaktadır. ¹⁹⁸ Ancak sistemin devreye alındıktan sonra bazı kısımlarında çevresel faktörlerden kaynaklı teknik problemler yaşanması ve sistemin tam kapasite çalışamaması sebebiyle hedeflenen miktara ulaşamamış, yıl sonunda 225.000 kWh'ın üzerinde elektrik üretimi gerçekleşmiştir.

İlk kez hayata geçirilecek bir proje olması sebebiyle en büyük zorluk, kurulum aşamasında ülkemizde mevcut bulunan elektrik piyasasına ilişkin mevzuatlarda yüzer güneş enerjisi sistemlerine ilişkin düzenlemelerin bulunmamasından kaynaklı izin süreçlerinde yaşanan olumsuzluklar olmuştur. Bu süreçte yetkili makam bulunamaması ve yüzer sistemler hususunda yetki ile ilgili belirsizlikten kaynaklı olarak kurumların kendi aralarında süregelen yazışmaları sürecin yavaşlamasına neden olmuştur. Sistemin su yüzeyinde yer alması sebebiyle projelendirmesinin yapılarak (statik vb.) onaylatılma noktasında yeterli ve yetkili kurumun olmayışı, ayrıca suya olumsuz bir etkisi olabileceği düşüncesiyle DSI tarafından onay kararının verilememesi gibi çeşitli zorluklar yaşanmıştır. Sonuç itibariyle, projenin İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi tarafından yapılan ihale içerisinde yer alması ve bu ihaleye işletme kısmının da dahil olması sebebiyle YFV sistemin 2 yıllık işletme süresi İSKİ tarafından belirlenmiş, sistemin kurulumu için ise DSI'den görüş alınmıştır.

Tesisin kurulumdan sonra, her biri IP koruma standartlarına¹⁹⁹ bağlı olan paneller sudan olumsuz şekilde etkilenmeseler bile zaman zaman dubalarda oluşan hasarlar nedeniyle suyla temas etmiş, bu durum sonucunda bazı panellerde arızalar meydana gelmiştir. Bölgede iklim şartlarından dolayı kar ve yağmur sebebiyle sistem açısından bir olumsuzluk yaşanmasa bile şiddetli rüzgarın neden olduğu yüksek frekanslı dalgalar nedeniyle yüzdürücü sistemler mekanik strese maruz kalmış ve beklenenin çok öncesinde deforme olmuş, yüzer sistemde kırılmalar yaşanmıştır. Sistemin güneye bakacak şekilde konumlandırılmış olması ve bölgenin hakim rüzgar yönünün ise kuzey olması sebebiyle

¹⁹⁸ <http://www.iski.istanbul/web/tr-TR/kurumsal/haberler1/haberler-detay/turkiyenin-ilk-yuzer-gesi-devreye-alindi> Erişim tarihi: 23 Nisan 2020

¹⁹⁹ **IP kodu:** Açılımı “international protection code (uluslararası koruma kodu)” olan IP koruma standardı, elektrikle çalışan aletlerin dış etkenlere karşı dayanıklılığını belirlemek için Avrupa Komisyonu (CENELEC - Comité Européen de Normalisation Electrotechnique) tarafından geliştirilmiş uluslararası bir standarttır.

kuzey yönünden esen şiddetli rüzgar, panellerin açık yüzeyine temas ederek paneller ile dubalar arasındaki bağlantı parçalarında gevşemeler yaşanmasına sebep olmuştur. Yaşanılan bu aksiliklere karşı; işletmeci şirket tarafından düzenli olarak kontroller yapılmış ve sisteme ait bakımlar gerçekleştirilmiştir.

Yaşanılan diğer problemler ise; panellerin kirliliğine yol açan martılar ve yüzdürücü sistemin altında tabaka oluşturmaya başlayan midyeler olmuştur. Bölgenin denize yakınlığı sebebiyle kış döneminde sıcak yüzeyli paneller martılar için cazip hale gelmiş, martıların sürüler halinde panel yüzeyine tünedikleri görülmüştür. Bunun neticesinde panel yüzeyleri çok hızlı bir şekilde kirlenmiş ve panel dizilerinin üretim verileri arasında öngörülemeyen dengesizlikler oluşmuştur. Örneğin; 13°'lik panel eğim açısına sahip 120 kW'lık sistem, diğer sisteme oranla daha az eğime sahip olması sebebiyle, göl yüzeyinde yer alan kuşların panellere konması için daha avantajlı konumda olmuştur. Martıların yüzer sistemlerden uzaklaştırılmasına çözüm olarak sistemlerin üzerine misina gerilmiş ayrıca değişik yırtıcı kuş seslerini ihtiva eden ve ultrasonik ses teknolojisi ile korkutucu sese çeviren kuş kovucu cihazlar kullanılmıştır. Bu çalışmalar neticesinde belirli düzeyde iyileşme sağlanmıştır. Ayrıca işletme dönemi sonunda yüzdürücü sistemlerin altında midye tabakalaşmasının olduğu tespit edilmiştir.

Projede kullanılan yüzdürücü sistem elemanlarının göl suyuna olumsuz etkisinin olup olmadığını noktasında haftalık analizler gerçekleştirilmiştir. Sistemlerin alt yüzeyinden ve sistemlerden yaklaşık 100 metre uzaklıktaki su yüzeyinden her hafta numuneler alınarak İSKİ laboratuvarlarında analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda sistemin su üzerinde herhangi bir olumsuzluk oluşturmadığı tespit edilmiştir.

Proje, güneş enerjisi sistemlerinin elektrik üretiminde suyun soğutma etkisinin analiz edilmesi, sistemin su yüzeyinde yer alması sebebiyle su buharlaşmasına ve canlı yaşamına olan etkisinin belirlenmesi, sistemin suya herhangi bir olumsuz etkisinin olup olmayacağının analiz edilmesi, arazi tipi güneş enerjisi sistemi ile yüzer güneş enerjisi sisteminin elektrik üretim miktarının karşılaştırmasının yapılması gibi bir çok amaçla Ar-Ge projesi olarak hayata geçirilmiş, kurulumu itibariyle devamlı olarak bilimsel izlenimi yapılmış ve ancak iki yıl süren işletme süresi sonunda sistem, demonte edilerek karaya alınmıştır.

3.2. YFV Sistemlerin Kurulumuna İlişkin Mevzuatın Oluşturulması

YFV sistemlerin kurulumuna ilişkin gelişen süreçte, enerji ve su otoriteleri gibi kurumlar arası işleyişlerin ve düzenlemelerin ele alınması gerekmektedir. Bu kapsamda kurumlar arasında işbirliğini, izin ve lisans verme süreçlerini ve hatta çevresel etki değerlendirmelerini içeren düzenlemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu gereksinimler öncelikle yüzer sistemlere ilişkin oluşturulacak mevzuatsal süreç gerektirmektedir.

Ülkemizde YFV sistemlerin uygulanabilirliği, 28 Nisan 2018 tarihinde Resmi Gazete’de yayımlanan 7139 sayılı Kanun²⁰⁰ ile mümkün kılınmıştır. Bu Kanun kapsamında 6200 sayılı DSİ Genel Müdürlüğü’nün Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun’un²⁰¹ 2’inci maddesine “baraj, gölet ve kanal gibi su yüzeyleri ile rezervuar alanında azami su kotu ile işletme kotu arasında kalan yerlerde güneş enerjisi sistemlerinin kurulmasına yönelik taleplerden uygun görülenleri bedeli karşılığında kiralamak,” ibaresi eklenmiştir. Daha sonra 02/07/2018 tarihli Kanun Hükmünde Kararname²⁰² (KHK) ile 6200 sayılı Kanun’un ilgili maddesi yürürlükten kaldırılrsa da, aynı ifade 15/7/2018 tarihli ve 30479 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren 4 sayılı Bakanlıklara Bağlı, İlgili, İlişkili Kurum ve Kuruluşlar ile Diğer Kurum ve Kuruluşların Teşkilatı Hakkında Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi’nde²⁰³ DSİ’nin görev ve yetkilerinin tanımlandığı 121’inci maddenin birinci fıkrasının (o) bendine eklenmiştir. Böylelikle mevzuatsal olarak baraj,gölet ve kanal gibi su yüzeylerine güneş enerjisi sistemlerinin kurulabilmesine imkan tanınmış ve bu sistemler için ülkemizdeki su kaynaklarının planlanması, yönetimi ve işletilmesinde sorumlu olan otoriteye kiralama yetkisi verilmiştir.

Öte yandan elektrik üretmek amacıyla su yüzeyine kurulacak olan yüzer güneş enerjisi sistemleri, enerji piyasasına ilişkin mevzuatlarda ise hibrit tesislere yönelik yapılan düzenlemeler çerçevesinde ele alınmıştır. Hibrit tesisler ile elektrik üretim faaliyetinin gerçekleştirilmesine imkan sağlayacak olan yasal düzenlemeler ise 2019 yılı

²⁰⁰ 7139 Sayılı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğünün Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun ile Bazı Kanunlarda ve Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığının Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun Hükmünde Kararnamede Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun (2018, 28 Nisan) *T. C. Resmi Gazete*, 30405

²⁰¹ 6200 Sayılı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğünce Yürütülen Hizmetler Hakkında Kanun (1953, 18 Aralık) *T. C. Resmi Gazete*, 8592

²⁰² 703 Sayılı Kanun Hükmünde Kararname (2018, 9 Temmuz) *T. C. Resmi Gazete*, 30473

²⁰³ 4 sayılı Bakanlıklara Bağlı, İlgili, İlişkili Kurum ve Kuruluşlar ile Diğer Kurum ve Kuruluşların Teşkilatı Hakkında Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi (2018, 15 Temmuz) *T. C. Resmi Gazete*, 30479

itibariyle yapılmaya başlanmıştır. Hibrit tesislerin, birden çok kaynaklı elektrik üretim santralleri olarak ifade edildiği bu düzenlemeler ile; lisansa konu elektrik üretim tesislerinin santral sahası içerisinde uygun olabilecek alanlarda farklı enerji kaynaklarının kullanılması ya da başka enerji kaynaklarına ulaşımın mümkün olduğu tesislerde bu kaynaklarının ekonomiye kazandırılması hedeflenmiştir. Özellikle birden fazla yenilenebilir kaynağın birbirinden faydalanabileceği ya da bazı konvansiyonel üretim kaynaklarına dayalı sahalarda yenilenebilir kaynağın da birlikte kullanılabileceği, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik hibrit sistemlerin geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Hibrit tesislerin faaliyete geçmesine olanak sağlayan bu yasal süreçte öncelikli olarak göz önünde bulundurulacak ilkeler; mevcut kapasitenin en verimli şekilde kullanılması ve böylece tesislerde optimum verimliliğe ulaşılması, kullanılmayan atıl durumdaki sahaların değerlendirilmesi, imkanı olan tesislerde diğer enerji kaynaklarının ekonomiye kazandırılması ve bu esnada iletim ve dağıtım sisteminde güvenilir kurulu güç kapasitesi korunarak üretimde sürekliliğin sağlanabilmesidir.

Hibrit sistemlere yönelik yapılan bu düzenleme kapsamında yüzer GES olarak karşımıza çıkan yüzer FV sistemler, rezervuarlı veya regülatörlü hidroelektrik üretim tesislerinin santral sahaları kapsamındaki su yüzeylerine kurulan güneş enerjisine dayalı elektrik üretim ünitesi olarak ele alınmış ve hibrit sistemin bir ünitesi olarak değerlendirilmiştir. Bu çerçevede YFV sistemlere ilişkin mevzuatsal süreç, hibrit tesisler için gerçekleştirilen kanuni düzenlemeler ve gerçekleştirilen ikincil mevzuat değişiklikleri çerçevesinde ele alınacaktır.

3.2.1. Hibrit Tesislere İlişkin Yapılan Kanuni Düzenlemeler

2019 yılında, 7164 sayılı Maden Kanunu ile Bazı Kanunlarda ve Kanun Hükmünde Kararnamede Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun'un (7164 sayılı Kanun²⁰⁴) Resmi Gazete'de yayımlanması ile EPK ve YEK Kanunu'nda birtakım değişikliklere gidilmesi gerekliliği hasıl olmuştur. Bu kapsamda söz konusu Kanun'da yer alan 43'üncü madde ile; EPK'nın 7'nci maddesinin yedinci fıkrası hükümleri değiştirilmiş ve sekizinci

²⁰⁴ 7164 Sayılı Maden Kanunu ile Bazı Kanunlarda ve Kanun Hükmünde Kararnamede Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun (2019, 28 Şubat) *T. C. Resmi Gazete*, 30700

fıkra eklenmiştir. EPK'nın 7'nci maddesinin yedinci ve sekizinci fıkraları 7164 sayılı Kanun ile yapılan değişiklik sonrası aşağıdaki hükümleri içermektedir;

“(7) Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisi kurmak amacıyla alınan lisanslar ve/veya bu lisanslar kapsamındaki tesisler için lisanslarında belirlenen sahalardan dışına çıkılmaması ve TEİAŞ ve/veya ilgili dağıtım şirketinden alınan tadil kapsamındaki bağlantı görüşünün olumlu olması hâlinde kapasite artışı, modernizasyon, yenileme yatırımları ve tadilatlarla izin verilir.”

“(8) Birden çok kaynaklı elektrik üretim tesisleri ile üretim faaliyetinde bulunacak tüzel kişilerin ön lisans ve lisanslarının verilmesi, tadili, sona erdirilmesi, iptali, süreleri, süre uzatımı, yenilenmesi ve lisans kapsamındaki hak ve yükümlülüklerin askıya alınması ile bu tüzel kişilerin piyasa faaliyetlerine ilişkin usul ve esaslar Kurum tarafından çıkarılan yönetmelikle düzenlenir.”

Ayrıca söz konusu 7164 sayılı Kanun'da yer alan 38'inci madde ile; YEK Kanunu'nun 6 ncı maddesinin beşinci fıkrasından sonra gelmek üzere aşağıdaki fıkra eklenmiştir;

“Tamamı yenilenebilir olmak üzere birden fazla enerji kaynağından elektrik üretmek amacı ile kurulan üretim tesislerinde üretilerek sisteme verilen net enerji miktarının YEK Destekleme Mekanizmasından faydalanmasına ilişkin usul ve esaslar EPDK tarafından çıkarılan yönetmelikle düzenlenir.”

Yukarıda aktarılan Kanun hükümlerinde yer alan “birden çok kaynaklı elektrik üretim tesisleri” ifadesiyle nitelendirilen hibrit tesisler, böylelikle elektrik piyasasına ilişkin mevzuata giriş yapmıştır.

6446 sayılı Kanun'da hibrit tesisler ile üretim faaliyetinde bulunacak tüzel kişilere önlisans/lisans verilmesi süreçlerinin ve bu süreçlere ilişkin tüm işlemlerin EPDK tarafından çıkarılacak ikincil bir mevzuat ile yapılacağına hükmedilmiştir. Ayrıca mevcut yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesislerinin birden çok kaynaklı elektrik üretim tesislerine dönüştürülmesinin yolu açılmış, bunun için tesislerin kendi sahalari içerisinde bulunması ve iletim veya dağıtım sistemine bağlantısına ilişkin TEİAŞ'ın ya da ilgili dağıtım şirketinin olumlu görüş vermesi şart koşulmuştur.

Öte yandan 7164 sayılı Kanun'un 38'inci maddesi ile *YEK Kanunu*'nun 6'ncı maddesine ek fıkra eklenerek; kaynaklarının tamamı yenilenebilir olacak hibrit elektrik üretim tesislerinde üretilerek sisteme verilen net enerji miktarının, YEKDEM'den faydalanmasına ilişkin usul ve esasların da EPDK tarafından çıkarılan yönetmelikle düzenleneceği hükme bağlanmıştır.

3.2.2. Mevzuat Değişikliğine İlişkin Görüşlerin Oluşturulması

Birden çok kaynaklı elektrik üretim tesislerinde ana kaynağa ilişkin ilgili mevzuatta belirtilen izin, onay ve ruhsat gibi gerekli olan tüm iş ve işlemler ile birlikte mevcut santral sahasında ilave bir enerji yatırımı yapılabilmesine ilişkin olarak da ilgili kurum ve kuruluşlardan gerekli izin, onay ve görüşlerin alınması gerekmektedir. Bu kapsamda, birden çok kaynaklı elektrik üretim tesislerine ilişkin yapılan Kanuni düzenleme sonrası ihtiyaç duyulan *Yönetmelik* değişiklikleri için EPDK tarafından *EPLY* ve *YEKDEM Yönetmeliği*'nde değişiklik yapılmasına dair taslaklar hazırlanmış ve bu taslaklara yönelik piyasada faaliyet gösteren tüzel kişiler, ilgili kurum ve kuruluşların görüşleri alınmıştır. *Yönetmelik* değişiklikleri kapsamında ilgili kurum ve kuruluşlardan gelen görüşlerin; yüzer GES (YGES) tanımı, santral sahası, elektriksel kapasite artışı ve yardımcı kaynaktan piyasaya satımlar konularında yoğunlaştığı tespit edilmiştir.

4 sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi'nde DSI'nin görev ve yetkilerinin belirtildiği birinci fıkranın (o) bendinden hareketle, yüzer GES tanımı için başlangıçta; baraj, gölet ve kanal gibi su yüzeyleri ile rezervuar alanında azami su kotu ile işletme kotu arasında kalan yerlerde kurulan güneş enerjisine dayalı üretim tesisi ifadeleri düşünülmüştür. Ancak su yüzeyine güneş enerjisi sistemlerinin kurulumunun birden çok kaynaklı elektrik üretim tesislerine ilişkin mevzuat ile ele alınıyor olması sebebiyle, yüzer GES'ler için tanım olarak; "*hidroelektrik üretim tesislerinin santral sahaları kapsamındaki su yüzeylerine kurulan güneş enerjisine dayalı elektrik üretim üniteleri*" ifadesi uygun bulunmuştur. Kurulum alanları ise hidroelektrik santrallere ait su yüzeyleri ve rezervuar alanında azami su kotu ile işletme kotu arasında kalan yerler olarak ayrıca belirtilmiştir.

Bununla birlikte, 3621 sayılı Kıyı Kanunu'nda; denizlerde imar planı kararı ile ETKB tarafınca yenilenebilir enerji kaynak alanı olarak ilan edilen alanlarda

yenilenebilir enerji üretim santralleri yapılabileceği bildirilmiştir. *Kıyı Kanunu*'na tabi alanların deniz, tabii/suni göl ve akarsu kıyıları olarak belirtilmiş olmasının yanı sıra bu Kanun'a tabi alanlardan ancak -ETKB tarafından YEKA olarak ilan edilmesi ve imar planı onaylanması koşullarıyla- denizlerde enerji üretim santrallerinin yapılmasına imkan tanınmış olması deniz, tabi veya suni göl /gölet gibi alanlarda YFV sistemlerin kurulmasını söz konusu Kanun çerçevesinde mümkün kılmadığı değerlendirilmektedir.

Rüzgar enerjisine dayalı elektrik üretim santralleri için verilen lisansa derç edilen santral sahası, içerisinde özel mülkleri barındıran oldukça geniş bir alan iken; jeotermal enerjiye dayalı elektrik üretim santrallerinde lisansa derç edilen santral sahasının sadece elektrik üretiminin gerçekleştirildiği alan olarak belirlenmesi ve jeotermal sahaların yüz ölçümü olarak oldukça geniş alanlardan oluşması sebebiyle kuyu lokasyonlarının sahaya dahil edilmemesi, öte yandan hidroelektrik santraller için lisansa derç edilen bir santral sahasının bulunmaması vb. sebepler, santral sahasına ilişkin olarak kaynak bazında yapılması gereken bir düzenlemeye ihtiyaç duyulduğunu göstermiştir. Bu sebeple ikincil mevzuat düzenlemelerinde santral sahalarının belirlenmesine ilişkin usul ve esaslara da yer verilmiştir.

Yapılan düzenleme ile kapasite artışı ve yıllık üretim miktarının artırılması böylelikle şebekenin daha verimli kullanılması amaçlandığından; proje kabulü, imar planı onayı gibi işlemler açısından hibrit tesislerin kapasite artışı ile aynı yönde uygulamaya tabi olmasının uygun olacağı bu sebeple, EPDK tarafından ayrıksı bir mevzuat değişikliği yapılmasına gerek olmadığı değerlendirilmiştir.

Öte yandan, tüzel kişiler lisanslarına konu projeler için, *Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Yönetmeliği* kapsamında alınması gereken belgeyi önlisans süresi içerisinde EPDK'ya sunmakla yükümlüdürler. *ÇED Yönetmeliği*'nin 25'inci maddesine göre; ÇED başvuru aşamasında olan hibrit tesisler, birden fazla projeyi kapsayan entegre bir proje olarak tek bir başvuru yapabilecek iken, hali hazırda ÇED belgesi alınmış olan bir proje için yardımcı kaynak kurulumunda belirtilen kaynak eşik değerine göre Ek-1 veya Ek-2 süreci yürütülebilecek, ÇED süreci içerisinde istenecek olan kümülatif etki değerlendirme çalışmasında her iki kaynak birlikte değerlendirilebilecektir. Örneğin hidroelektrik santralin rezervuar alanına kurulacak olan

YFV sistemler için buharlaşma, ısı dengesi ve sualtı ekosistem dengesi hususlarında ayrıca değerlendirmelere ihtiyaç duyulacaktır.

3.2.3. İkincil Mevzuat Çerçevesinde Gelişmeler

6446 sayılı Kanun ile 5346 sayılı Kanun’da yapılan değişiklikler ve düzenlemeler neticesinde; EPDK tarafından hazırlanan ve 08/03/2020 tarihli ve 31062 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “*Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik*”²⁰⁵ ve “*Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik*”²⁰⁶ ile mevcut olan elektrik piyasasına ilişkin ikincil mevzuatlara, hibrit tesislerinin dahil olacağı şekilde yeni bir düzenleme yapılmıştır.

Birden çok kaynaklı elektrik üretim tesislerine önlisans/lisans verilmesi, mevcut tesislerin hibrit tesislere dönüştürülmesine ilişkin düzenlemeler ile önlisans/lisans işlemleriyle ilgili her türlü iş ve işlemlere ilişkin düzenlemelerin yer aldığı *EPLY Yönetmeliği* ayrıca bu tesislerin YEKDEM’den faydalanmasına ilişkin düzenlemelerin yer aldığı *YEKDEM Yönetmeliği*, 01/07/2020 tarihinden itibaren yürürlüğe girmiştir.

Mevzuatsal süreçte öncelikle ele alınması gereken husus, hibrit tesislerin nasıl tanımlanacağına ilişkin olacaktır. Birden fazla enerji kaynağının kullanılması ile elektrik üreten tesisler için dünya genelinde yaygınlaşma eğiliminde olan üç alternatif model tespit edilmiştir. Bunun neticesinde “destekleyici kaynaklı/birleşik/birlikte yakmalı” elektrik üretimi tesis modelleri üzerine geliştirilen tanımlamalar, *EPLY*’ye eklenmiştir. Bu tanımlar;

• **Birden çok kaynaklı elektrik üretim tesisi:** Birleşik yenilenebilir elektrik üretim tesisini, birleşik elektrik üretim tesisini, destekleyici kaynaklı elektrik üretim tesisini ve birlikte yakmalı elektrik üretim tesisini ifade eder. Kısacası, hibrit tesisler için verilen, hepsini kapsayan genel bir tanımdır.

²⁰⁵ Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik (2020, 08 Mart) *T. C. Resmi Gazete*, 31062

²⁰⁶ Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik (2020, 08 Mart) *T. C. Resmi Gazete*, 31062

• **Birleşik elektrik üretim tesisi:** Şebekeye aynı bağlantı noktasından bağlanan birden fazla enerji kaynağından elektrik üretmek amacı ile kurulan tek bir elektrik üretim tesisini ifade eder. En az bir kaynak türü yenilenebilir olmalıdır.

• **Birleşik yenilenebilir elektrik üretim tesisi:** Şebekeye aynı bağlantı noktasından bağlanan tamamı yenilenebilir birden fazla enerji kaynağından elektrik üretmek amacı ile kurulan tek bir elektrik üretim tesisini ifade eder.

• **Birlikte yakmalı elektrik üretim tesisi:** Yenilenebilir enerji kaynakları dışındaki kaynakların kullanıldığı elektrik üretim tesislerinde, ana kaynak yanında yenilenebilir yardımcı kaynağın aynı tesiste yakıldığı tek bir elektrik üretim tesisini ifade eder.

• **Destekleyici kaynaklı elektrik üretim tesisi:** Üretim tesislerinde ısı dönüşüm sürecinde diğer bir enerji kaynağından da yararlanan tek bir elektrik üretim tesisini ifade eder.

Bu tanımlamalar ile birlikte, birden çok kaynaklı elektrik üretim tesislerine ilişkin önlisans/lisans başvurusunda tercih edilen kaynağın “ana kaynak”, ana kaynak dışındaki diğer kaynak ya da kaynakları da “yardımcı kaynak” olarak tanımlama gerekliliği doğmuştur.

Böylelikle mevzuatta verilen tanımlamalar çerçevesinde, YFV sistemlerin bağlantılı olduğu hidroelektrik santralin yenilenebilir olması durumunda hibrit tesisin birleşik yenilenebilir elektrik üretim tesisi olarak, yenilenebilir olmaması durumunda ise birleşik elektrik üretim tesisi olarak değerlendirilmesi uygun olacaktır.

YEKDEM Yönetmeliği’ne ilişkin değişiklikler, YFV sistemler için verilen teşviklerden bahsedilirken ele alınacağından, tekrara yol açmaması için bu başlık altında ayrıca ele alınmamıştır.

7164 sayılı Kanun’un birden çok kaynaklı elektrik üretim tesislerine ilişkin hükümleri sonrası yapılan değişiklik ile 6446 sayılı EPK’da, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisi kurmak amacıyla alınan lisanslar ve/veya bu lisanslar kapsamındaki tesisler için; kapasite artışı, modernizasyon, yenileme yatırımları ve tadilat

yapılmasına izin verilmiştir. Ancak bunun için iki koşul belirtilmiştir. Bu koşullardan biri TEİAŞ'ın ya da ilgili elektrik dağıtım şirketinin olumlu görüş bildirmesi iken, bir diğeri ise lisansa derç edilmiş olan santral sahasının dışına çıkılmamasıdır. Bu yükümlülük gereği, farklı enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisleri için santral sahalarının belirlenmesi amacıyla EPDK tarafından *Elektrik Piyasasında Önlisans veya Üretim Lisansı Verilecek Tesislerin Santral Sahalarının Belirlenmesine İlişkin Usul Ve Esaslar*²⁰⁷ kamuoyunun görüş ve değerlendirmelerine sunulmuştur. Mevcut üretim tesisleri ile önlisans veya üretim lisansı kapsamındaki tesis veya proje sahalarının ve bu sahalarda kurulabilecek yardımcı kaynaklara dayalı üretim tesislerine ilişkin sahaların tespit edilmesine ilişkin usul ve esasları belirleyen bu düzenlemede, santral sahaları tesis tipine ve kullanılan teknolojiye göre belirlenmiştir. Söz konusu taslak düzenleme 18/06/2020 tarihli ve 9392 sayılı Kurul Kararı ile kabul edilerek 25 Haziran 2020 tarihli ve 31166 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanmıştır. Söz konusu *Usul ve Esaslar* da, YFV sistemler için sahanın belirlenmesi aşamasında ele alınacak olması sebebiyle, tekrara yol açmaması için bu başlık altında ayrıca ele alınmamıştır.

3.3. YFV Sistemlerin Kurulumuna İlişkin Kriterler

Türkiye'de yüzer FV sistemlerin mevzuatsal açıdan hibrit tesislere ilişkin gerçekleştirilen *EPLY* değişikliği kapsamında ana kaynağın hidrolik, yardımcı kaynağın ise güneş enerjisi olduğu hibrit bir sistem içerisinde ele alınmış olması sebebiyle, bu tesislerin kurulumları hidroelektrik üretim tesislerinin santral sahası ile sınırlı kalmıştır. Yapılan bu düzenleme ile; dünyada olduğu gibi ülkemizde de henüz başlangıç aşamasında olan YFV tesislere, ilk olarak kurulum alanlarına ilişkin kriterler konulduğu görülmektedir.

EPLY'nin 5'inci maddesinin birinci fıkrasına eklenen hüküm gereği, birden çok kaynaklı elektrik üretim tesislerinde kullanılan yardımcı kaynak ünitesi ana tesisin ünitesi olarak kabul edilecek ve bu tesisler tek bir önlisans veya lisans kapsamında değerlendirilecektir. Bu kapsamda YFV sistemler, önlisans veya üretim lisanslarına hidroelektrik santralin bir ünitesi olarak derç edilecektir. 01/07/2020 tarihinden itibaren YFV sistemlerin kurulumuna ilişkin yapılacak başvurular, yeni başvuru ya da mevcut

²⁰⁷ <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/4-8134/elektrik-piyasasinda-onlisans-veya-lisanslara-kon> Erişim Tarihi: 21 Mayıs 2020

önlisans/lisansın tadil edilmesi olmak üzere iki şekilde olabilecektir. Bu sebeple YFV sistemlerin kurulumlarına ilişkin kriterler, bu başlıklar altında değerlendirilecektir.

3.3.1. YFV Sistemlerin Yeni Başvuru Kapsamında Uygulanması

Birden çok kaynaklı elektrik üretim tesisleri için yeni yapılacak önlisans/lisans başvurularında, tesisin toplam kurulu gücü ana kaynağın kurulu gücüne eşit olacak ve yardımcı kaynağın kurulu gücü lisansa ayrıca derç edilecektir.

EPLY'nin 12'nci maddesi gereği; yapılacak önlisans başvurularında YFV sistemler için, DSİ'den uygunluk görüşünün alınmasına ilişkin zorunluluk getirilmiştir. Proje sahibi, öncelikle DSİ'ye müracaat edecek ve yapmayı planladığı hibrit üretim tesisi için Su Kullanım Hakkı Anlaşması (SKHA) imzalayabilmeye hak kazandığına ilişkin belgeyi ve santral sahasına yüzer FV kurulumuna ilişkin uygun görüşü alacak, daha sonra EPDK'ya önlisans başvurusunda bulunacaktır. DSİ ise yatırımcıya hibrit tesise ilişkin hidrolik ve güneş kaynakları için verilen iki onayı da EPDK'ya bildirecektir.

Öte yandan *Yönetmelik*'teki aynı madde ile; güneş enerjisine dayalı üretim tesisleri için son sekiz yıl içinde elde edilmiş ve standardına uygun yapılan güneş ölçümünün sunulmasına ilişkin zorunluluk kaldırılmıştır. Hibrit tesislerin kurulumunda bu düzenleme, yüzer güneş enerjisi sistemlerinin hızlı bir şekilde elektrik piyasasına uyarlanabilirliğini sağlamaktadır. Ayrıca yatırımcıya fazladan bir kapasite tahsisi yapılmayacak olması ve ölçüm zorunluluğunun bulunmaması, yatırımcıya serbest piyasa koşullarında yapacağı yatırıma ilişkin tüm sorumluluğu üstlendirmektedir.

6446 sayılı *EPK*'nın 7'inci maddesinde güneş enerjisine dayalı elektrik üretim tesisi kurulması için yapılan önlisans başvurularında ölçüm ve yarışma koşullarına yer verilmiştir. Birden çok kaynaklı elektrik üretim tesislerine ilişkin mevzuatsal değişiklik çerçevesinde ise söz konusu *Kanun*'da yardımcı kaynaklar için yarışma şartları ve ölçüm zorunluluğuna ilişkin hükme yer verilmemiştir. Bu sebeple EPDK tarafından yapılan ikincil mevzuat değişikliklerinde Kanun koyucunun bahse konu *Kanun*'da zımnen yarışma ve ölçüm koşullarına yer vermediği değerlendirilmiştir. Dolayısıyla EPDK tarafından çıkarılan *EPLY*'nin 15'inci maddesinde hibrit tesisler için yapılan başvurulara ilişkin olarak güneş enerjisine dayalı üretim tesisi kurmak için birden fazla başvurunun

yapıldığı durumlarda uygulanan yarışma hükümlerinin, YFV sistemler için uygulanmayacağı bildirilmiştir. Aynı şekilde *EPLY*'nin 12 maddesinde de yapılan başvurular için son sekiz yıl içerisinde elde edilmiş güneş ölçümüne ilişkin verilerin sunulması zorunluluğu aranmamıştır.

Öte yandan, HES ve yüzer FV'lerin, tek bir önlisans/lisans kapsamında değerlendirilmesi ve hidroelektrik santral üzerine YFV sistem kurulumu ve işletimi için başka bir tüzel kişiye imtiyaz tanınmaması sebebiyle, önlisans başvurusunda YFV sistemlerin kurulmasının planlandığı santral sahası için başka bir başvurunun yapılmasının da mümkün olmayacağı değerlendirilmektedir.

EPLY'nin 15'inci maddesi gereği YFV sistemlere ilişkin teknik değerlendirmenin yapılabilmesi için başvuruda sunulan bilgi ve belgeler, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü'ne (EİGM) gönderilecektir. Teknik değerlendirmesi uygun bulunan önlisans başvuruları için TEİAŞ ve/veya ilgili dağıtım şirketinden bağlantı görüşü istenecektir.



Şekil 3.3: Hidroelektrik-Yüzer GES Hibrit Elektrik Üretim Tesisi İçin Yeni Başvuru Süreci²⁰⁸

²⁰⁸ **Kaynak:** Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği

Önlisans sahibi tüzel kişinin, önlisans süresi içerisinde hidroelektrik santraller için DSİ ile Su Kullanım Hakkı Anlaşması yapma zorunluluğu bulunmaktadır. Buna ilave olarak, Yüzer GES'ler veya hidroelektrik kaynaklara dayalı tesislerin kanal yüzeylerinde veya rezervuar alanında azami su kotu ile işletme kotu arasında kalan yerlerde kurulacak güneş enerjisine dayalı üniteler için DSİ ile kiralama sözleşmesinin yapılması zorunluluğu da getirilmiştir.

DSİ'nin mevzuatında yer alan *Su Tahsisleri Hakkında Yönetmelik*'te²⁰⁹; doğal ve düzenlenmiş tabii göller ve sulak alanlar ile baraj ve gölet gibi biriktirme yapıları rezervuarındaki sular, akarsular, sulama ve drenaj kanallarındaki akan ya da durağan halde bulunan sular olarak tanımlanan yüzey sularının kullanımına yönelik tahsis başvurularının -söz konusu suyun potansiyelinin DSİ projeleri ile belirlenemiyor olması durumunda DSİ kriterlerine göre su potansiyeline ilişkin rapor eklenmek suretiyle- ticari amaçlı su kullanım taleplerinin, büyükşehirlerde büyükşehir belediyeleri su ve kanalizasyon idareleri, diğer şehirlerde ise il özel idareleri tarafından yapılacağı bildirilmektedir. Bu çerçevede değerlendirildiğinde, esasında su yüzeylerinde DSİ'nin doğrudan her proje için kiralama yetkisinin olmadığı anlaşılmaktadır. Ancak *7139 sayılı Kanun*'un, *6200 sayılı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğüne Yürütülen Hizmetler Hakkında Kanun*'a getirdiği güneş enerjisi sistemleri için yapılacak olan kiralama işlemine ait yetki DSİ'ye verilmiş verilmiştir. Söz konusu Kanun'un ilgili maddesi daha sonra 02/07/2018 tarihli *Kanun Hükmünde Kararname* ile kaldırılmış olsa bile, *4 sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi*'nde; baraj, gölet ve kanal gibi su yüzeyleri ile rezervuar alanında azami su kotu ile işletme kotu arasında kalan yerlerde güneş enerjisi sistemlerinin kurulmasına yönelik taleplerden uygun görülenleri bedeli karşılığında kiralaması DSİ'nin görev ve yetkileri arasında tanımlanmıştır. Kiralama sözleşmesinin ne şekilde yapılacağı ise DSİ'ye bırakılmıştır.

Kiralama sözleşmesi, daha çok YFV sistemler için yapılacaktır. Kanal yüzeylerinin veya rezervuar alanında azami su kotu ile işletme kotu arasında kalan yerlerin mülkiyet ve kullanım hakkının DSİ'de olmaması durumunda, kurulacak güneş enerjisi sistemleri için kiralama sözleşmesi şartı aranmayacaktır.

²⁰⁹ Su Tahsisleri Hakkında Yönetmelik, (2019, 10 Aralık) *T. C. Resmi Gazete*, 30974

3.3.2. YFV Sistemlerin Mevcut Önlisans/Lisans Tadili Kapsamında Uygulanması

Mevcut tesislerin birden çok kaynaklı elektrik üretim tesislerine dönüşümü *EPLY*'nin 18'inci ve 24'üncü maddelerinde belirtildiği üzere önlisans veya lisans tadili şeklinde gerçekleştirilecektir. Tadil işlemi ile kurulumu gerçekleştirilecek olan hibrit sistemlerde de yeni başvurularda olduğu gibi, tesisin kurulu gücü ana kaynağın kurulu gücüne eşit olacak ancak eklenecek ilave ünitelerin gücü lisansa derç edilecektir.

Bu düzenlemelerde, tesisin toplam elektriksel kurulu güç kapasitesinin değişmemesi şartı getirilmiştir. Bu yaklaşımın sebebi, iletim ve dağıtım sistemleri için yapılan kapasite tahsisleridir. *EPK*'nın 23'üncü maddesi²¹⁰ uyarınca TEİAŞ her yıl, takip eden beş yıl için ve takip eden on yıl için olmak üzere sistemlerine bağlanabilecek bölgesel üretim tesisi kapasitelerini açıklamaktadır. Açıklanan bölgesel kapasiteler dışında üretim tesislerine bağlantı görüşü verilmeyeceği *Kanun*'un aynı maddesinde bildirilmektedir. Bu kapsamda, tahsis edilen kapasiteler gereği hibrit tesislerin oluşturulmasında elektriksel kurulu güç artışlarını gerçekleştirilemeyecektir. Bu şekilde bir işleyiş ile, toplam elektriksel kurulu güç değişmeden, aynı elektriksel alt yapı kullanılarak sadece kapasitenin ve elektrik üretiminin artırılması, ülke kaynaklarının daha verimli olarak kullanılması, üretimde devamlılığın sağlanması amaçlanmıştır. Ayrıca mevcut durumda, 2013 yılında yapılan güneş enerjisi başvuruları için 31/12/2013 tarihine kadar iletim sistemine bağlanacak YEK Belgeli bu tesislerinin toplam kurulu gücü 600 MW'dan fazla olamayacağına ilişkin kurulu güç sınırlaması da bulunmaktadır. 2013 yılı sonrasında güneş enerjisi üretimi için önlisans başvurusu yapılmadığı için toplam kurulu güce ilişkin yeni bir rakam belirlenmemiştir. Güneş enerjisine ilişkin sınırlama teknik alt yapı eksikliğinden kaynaklanmaktadır. Elektrik dağıtım hatlarının tüketim için tasarlanması ve kapasitelerinin yeterli olmaması, güneş enerjisi ile üretilen elektriğin dağıtımında sıkıntı yaratmaktadır.²¹¹

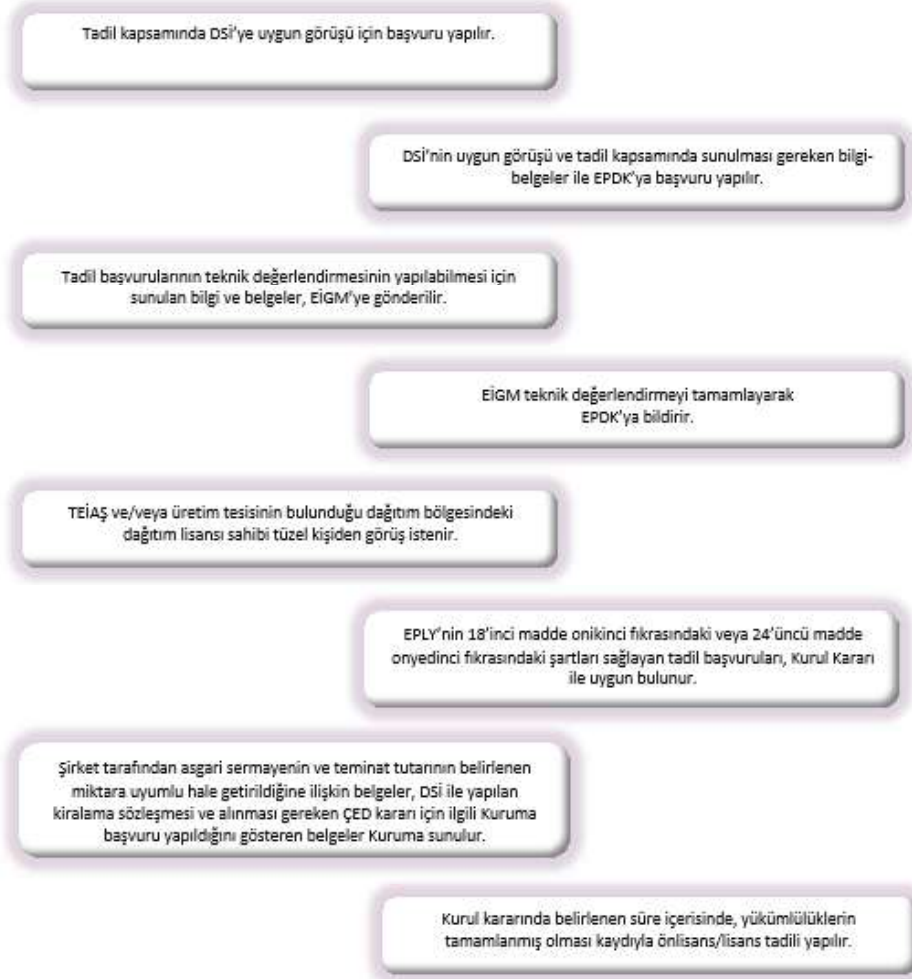
²¹⁰ 6446 sayılı EPK'nın 23'üncü maddesi:

Bağlantı görüşü

MADDE 23 – (1) TEİAŞ ve dağıtım şirketleri, her yıl, takip eden beş yıl için ve takip eden on yıl için olmak üzere sistemlerine bağlanabilecek bölgesel üretim tesisi kapasitelerini yayımlar. Bu şekilde yayımlanan bölgesel kapasiteler dışında üretim tesislerine bağlantı görüşü verilmez. Arz güvenliğinin sağlanması amacıyla Bakanlık ve piyasada rekabetin geliştirilmesi amacıyla Kurum tarafından talep edilmesi hâlinde, TEİAŞ ve dağıtım şirketleri, belirledikleri kapasiteleri ve bağlantı noktalarının sayısını sistem koşullarını dikkate alarak artırır.

²¹¹ YapıKredi Leasing, “En Önemli Engellerden Biri Teknolojik Arka Plan Eksiklikleri”, Gündergi (2014):6 <https://gunder.org.tr/wp-content/uploads/Gundergi-Sayi-6.pdf> Erişim Tarihi: 24 Mayıs 2020

Mevcut tesislerin hibrit tesislere dönüştürülmesi amaçlı yapılan tadil başvuruları; önlisans/lisansa derç edilen sahanın dışına çıkılmaması, tesisin toplam elektriksel kurulu gücünün değişmemesi, tesisin mevcut bağlantı şekli ile bağlantı noktası ve gerilim seviyesinin değişmemesi, YGES kurulumuna ilişkin EİGM tarafından yapılan teknik değerlendirmenin uygun olması, DSI tarafından uygunluk görüşünün verilmesi şartıyla uygun bulunabilecektir.



Şekil 3.4: Önlisans veya Lisanslı Projenin Tadil İşlemi ile Hibrit Tesise Dönüştürülmesi Süreci²¹²

Aynı kurulu güç üzerinden yapılan bağlantı anlaşmaları için mevcut bağlantı şekli, bağlantı noktası ve gerilim seviyesi değişmemesine rağmen, TEİAŞ ve/veya ilgili dağıtım şirketinin tadile ilişkin uygunluk görüşü her koşulda alınacaktır.

²¹² **Kaynak:** Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği

EPLY'de tesisin ana kaynağının hiçbir koşulda yardımcı kaynağa dönüştürülemeyeceğine ilişkin hükme yer verildiği gibi, ana kaynağın kurulu gücünün sifra indirilmesi suretiyle yapılacak olan önlisans/lisans tadil taleplerinin önlisans veya üretim lisansının sonlandırılması talebi olarak değerlendirileceğine ilişkin hükme de yer verilmiştir.

3.4. YFV Sistemler İçin Saha Belirlenmesi

Ülkemizde YFV sistemlerin kurulumuna yasal olarak izin verilen yerler ikincil mevzuat ile belirlenmiştir. Bu çerçevede ele alınan YFV tesislerin, yüzer GES olarak değerlendirildiği ve bu sistemlere ilişkin kurulumun hidroelektrik santraller ile sınırlı kaldığı önceki bölümlerde ifade edilmiştir.

EPLY'de regülatörlü veya rezervuarlı hidroelektrik santrallerin santral sahaları içerisindeki su yüzeylerine, HES'lerin kanal yüzeylerine veya rezervuar alanında azami su kotu ile işletme kotu arasında kalan yerlere güneş enerjisi sisteminin kurulumunun yapılabileceği ifade edilmiş ve FV sistemlerin kurulum alanlarına netlik kazandırılmıştır.

Yönetmelikte güneş enerjisi sisteminin kurulumuna ilişkin olarak rezervuar alanında azami su kotu ile işletme kotu arasında kalan yerlerden bahsedilmesi bize; rezervuar alanındaki su miktarına bağlı olarak, suyun çok olduğu dönemler için su yüzeyinde YFV olabileceği, az olduğu dönemler için ise karada konuşlanabilecek bir FV sistem kurulumunun yapılabileceğini ifade etmektedir. Rezervuardaki su miktarına bağlı olarak sistemin su yüzeyi veya karada bulunacağı FV sistemler için günümüzde bilinen ve uygulanmakta olan yüzdürücü sistemlerden farklı bir teknolojiye ihtiyaç duyulacağı anlaşılmaktadır.

Öte yandan, rezervuar alanında azami su kotu ile işletme kotu arasında kalan alanın uzun süredir değişmediği, başka bir deyişle azami su kotu olarak belirlenen yere su kaynaklarının en yoğun olduğu dönemlerde bile su seviyesinin artık ulaşamadığı santral sahalarında, bahse konu bölgeye kurulacak olan güneş enerjisi sistemleri karasal GES olarak değerlendirilecektir. Aynı şekilde mevzuatta kanal yüzeyi olarak ifade edilen alanlara kurulacak güneş enerjisi sistemleri de su yüzeyi ile temas halinde

bulunmadığından karasal GES olarak değerlendirilecektir. 4 sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi'nde bu alanlar için de kiralama sözleşmesi yapılacağı belirtildiği için söz konusu alanlar için mülkiyet durumuna göre DSİ ile kiralama sözleşmesi yapılabilecektir. Ancak Karasal GES'ler, tez konusu kapsamında değerlendirilmediği için bu çalışmada yer verilmeyecektir.

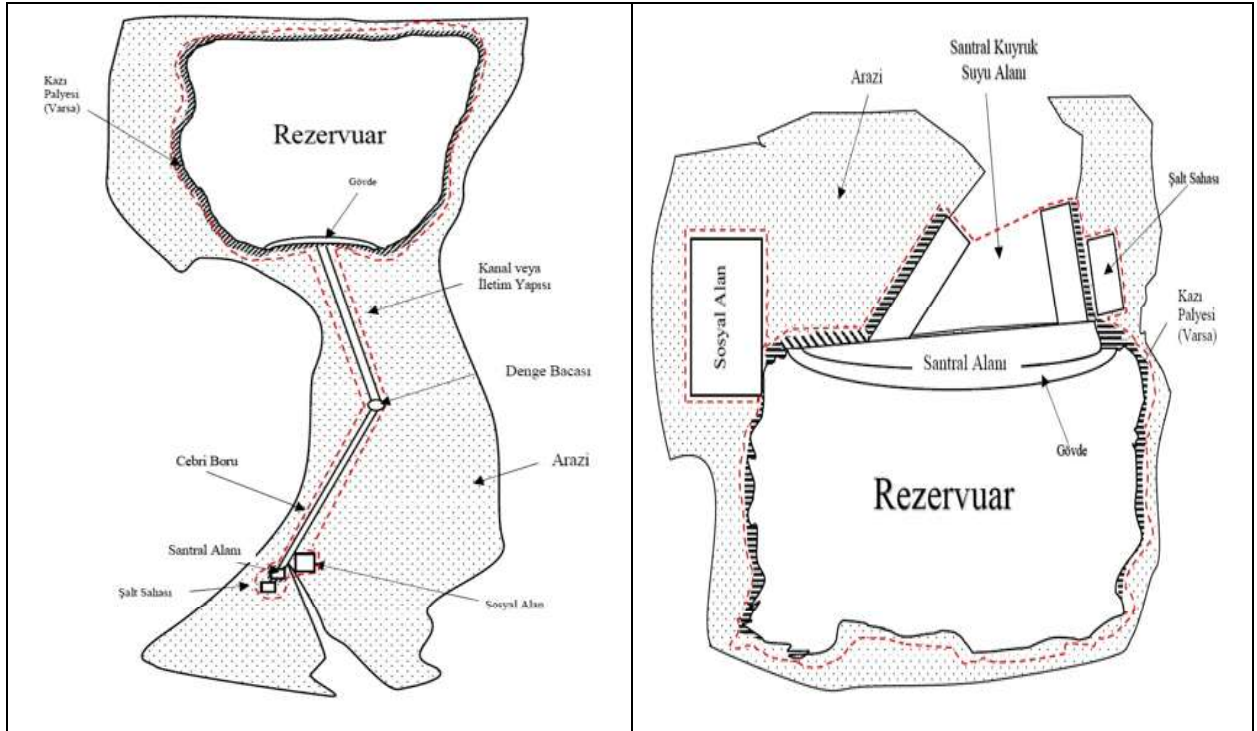
Mevcut hidroelektrik santrallere ait önlisans veya üretim lisanslarına santral sahası derç edilmemiştir. Ancak hibrit tesislere ilişkin mevzuatta yardımcı kaynak eklenerek mevcut tesislerin hibrit tesislere dönüştürülmesi işleminin santral sahası dışına çıkılmadan yapılması şart koşulmuştur. Bu sebeple tesislerdeki alanlar ve her bir belirtilen alan için ilgili mevzuatında tanımlanan koruma, sağlık, güvenlik bandı vb. mesafeler eklenmek ve DSİ tarafından belirlenen nehir kotu seviyesine göre projeksiyonu alınmak suretiyle bulunacak dış hat üzerinden doğrusal şekilde birleştirilerek santral sahası belirlenmesine ilişkin *Usul ve Esaslar* düzenlenmiştir.

Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da yer alan görsellerde, üç farklı tesis tipine göre *Usul ve Esaslar*'da belirlenmiş olan santral sahaları verilmektedir.

Bir hidroelektrik santralin tesis tipinin rezervuarlı veya regülatörlü oluşuna göre santral sahası değişmektedir. Ancak temelde her iki tesis tipinde de türbin, motor, generatör vb. tesisin ana birimlerini içeren santral alanı, personel ihtiyaçlarının karşılanması için ayrılan sosyal alan ve generatörde üretilen elektrik enerjisinin dağıtım ya da iletim sistemine aktarılması için gerekli orta gerilim veya yüksek gerilim makine ekipman ve/veya teçhizatının bulunduğu alan olan şalt sahası gibi ortak alanlar mevcuttur. HES'lerin önlisans veya üretim lisanslarına güvenlik bandı da dâhil olmak üzere santral sahası olarak; santral alanı asgari, bulunması halinde şalt sahası ile talep edilmesi halinde sosyal alanın koordinatları derç edilecektir.

Usul ve Esaslar'ın ilgili hükmünde yer almayan ancak tesis sahasının veya tesis teknolojisinin özelliklerinden kaynaklanan gerekler nedeniyle santral sahası içerisinde yer alması gereken yapı veya unsurlar ile tesis inşasına ve işletmesine hizmet etmek üzere edinilen alanlar, elektrik üretim tesisinin imar planına dâhil edilmek kaydıyla her biri harita üzerine yerleştirilerek santral sahasına dâhil edilebilir. Bu *Usul ve Esaslar*'ın yürürlüğe girmesinden önce verilen önlisans veya üretim lisansları kapsamında mülkiyet

veya kullanım hakkı edinilmiş ve imar planlarına konu edilmiş araziler de santral sahası sınırlarına dâhil edilebilir.

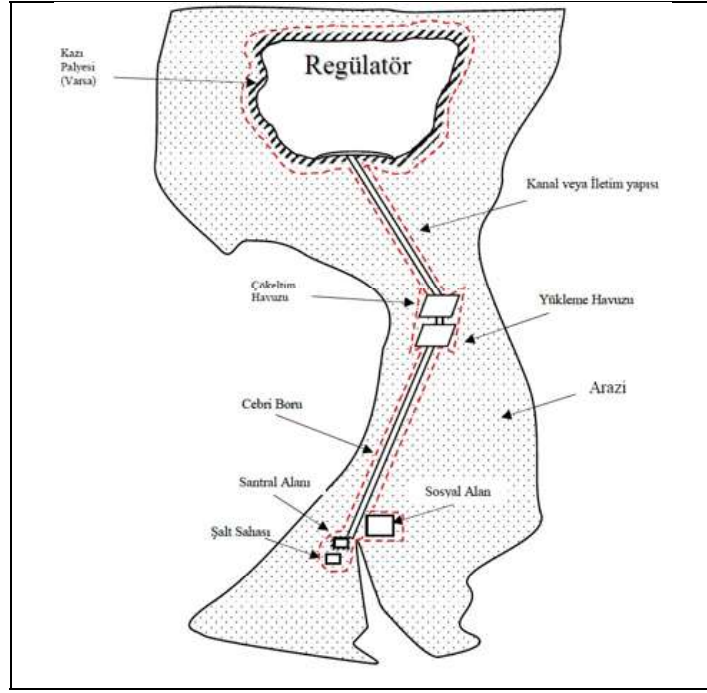


Şekil 3.5: Rezervuarlı ve Kanal Tipi HES ile Rezervuarlı HES'in Santral Sahası Çizimi²¹³

Verilen göresellerde görüldüğü üzere kırmızı sınırlar içerisinde kalan alanlar hidroelektrik santrallerin santral sahası olarak belirlenmiştir. Birden çok kaynaklı elektrik üretim tesislerinin oluşturulması kapsamında, DSİ'nin uygun görüşü verdiği her proje için belirlenmiş olan bu sahalarda içerisinde Yönetmelik'te yer verildiği gibi yüzer veya karasal GES sistemlerinin kurulması mümkün kılınmıştır. Mevzuatta güneş enerjisi sistemlerinin karasal alanda kurulabileceği yerler net bir ifade kazanmamış olsa da belirtilen santral sahaları içerisinde kazı palyesi olarak geçen ve işlevsel olarak derin kazılarda şev²¹⁴ yüksekliği boyunca şevi kesme/sonlandırma amacıyla yapılan alanlara da GES sistemlerinin kurulabileceği anlaşılmaktadır.

²¹³ **Kaynak:** Elektrik Piyasasında Önlisans veya Lisanslara Konu Üretim Tesislerinin Santral Sahalarının Belirlenmesine İlişkin Usul ve Esaslar

²¹⁴ **Şev:** Açık işletmelerdeki basamaklarda kazı yapılan alının (alın düzleminin) yatay düzlemle yaptığı dar açısı.



Şekil 3.6: Regülatörlü HES'in Santral Sahası Çizimi²¹⁵

DSİ'nin mevcut projelerden veya yeni yapılması planlanan projelerden hangilerine uygun görüşü vereceği ve bu görüşü hangi kriterlere göre vereceği tez kapsamında yapılan çalışmanın bu aşamasına kadar hala bir netlik kazanamamıştır.

3.5. Elektrik Piyasası Mevzuatı Çerçevesinde Mevcut Tesislere YFV Sistem Kurabilecek Kuruluşlar

Ülkemizde 2020 yılının Nisan Ayı verilerine göre halihazırda işletmede olan; rezervuarlı hidroelektrik santraller için toplam kurulu güç 20.830,70 MW, kanal tipi hidroelektrik santraller için toplam kurulu güç 7.882,70 MW'dir. Hidroelektrik santrallerin toplam kurulu gücü 28.713,40 MW olmakla birlikte, bu kurulu gücün 14.332,90 MW'si serbest üretim şirketlerinin sahip olduğu hidroelektrik santrallere aittir.

Tablo 3.1'de yer alan verilere göre işletmede olan mevcut hidroelektrik santrallerin toplam kurulu güç değerinin yaklaşık olarak %50,1'i ise mülkiyeti kamuya ait olan hidroelektrik santrallere aittir.

²¹⁵ **Kaynak:** Elektrik Piyasasında Önlisans veya Lisanslara Konu Üretim Tesislerinin Santral Sahalarının Belirlenmesine İlişkin Usul ve Esaslar

Tablo 3.1: 2020 Yılı Nisan Ayı Verilerine Göre İşletmedeki Hidroelektrik Santrallerin Kurulu Güç Dağılımları²¹⁶

Birinci Kaynak	EÜAŞ Santralleri	İşletme Hakkı Devredilen Santraller	Serbest Üretim Şirketi Santralleri	Yap İşlet Devret Santralleri	Lisanssız Santraller	TOPLAM
Akarsu	160,3	543,7	7.129,8	40,3	8,7	7.882,7
Barajlı	12.614,5	913,1	7.203,1	100,0	0,0	20.830,7
TOPLAM	12.774,8	1.456,8	14.332,9	140,3	8,7	28.713,4

Elektrik enerjisi üretimi ve satışı faaliyetinde bulunmak amacıyla teşkil edilen bir kamu kuruluşu olan Elektrik Üretim Anonim Şirketi (EÜAŞ), 37 adet rezervuarlı ve 10 adet kanal tipi olmak üzere toplamda 47 adet hidroelektrik santrale sahiptir.

Tablo 3.2: 2020 Yılı Nisan Ayı Verilerine Göre İşletmedeki Hidroelektrik Santrallerin Sayısı²¹⁷

Birinci Kaynak	EÜAŞ Santralleri	İşletme Hakkı Devredilen Santraller	Serbest Üretim Şirketi Santralleri	Yap İşlet Devret Santralleri	TOPLAM
Akarsu	10	65	467	4	546
Barajlı	37	23	65	1	126
TOPLAM	47	88	532	5	672

EÜAŞ ana statüsüne göre; tüzel kişiliğe sahip, faaliyetlerinde özerk ve sorumluluğu sermayesi ile sınırlı ve sermayesinin tamamı devlete ait olan bir iktisadi devlet teşekkülüdür.²¹⁸ Bu açıdan, kamu tüzel kişinin mülkiyetinde olan ve kamu hizmetine tahsis edilmiş mallar kamu malı niteliğinde olduğundan EÜAŞ mülkiyetinde bulunan üretim tesisleri kamu malı niteliğinde değerlendirilmektedir.²¹⁹

²¹⁶ TEİAŞ Yük Tevzi Dairesi Başkanlığı, “Kurulu Güç Raporu”, Nisan 2020 <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/kurulu-guc-raporlari> Erişim Tarihi: 24 Mayıs 2020

²¹⁷ TEİAŞ Yük Tevzi Dairesi Başkanlığı, “Kurulu Güç Raporu”, Nisan 2020 <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/kurulu-guc-raporlari> Erişim Tarihi: 25 Mayıs 2020

²¹⁸ Elektrik Üretim Anonim Şirketi Ana Statüsü (2006, 27 Temmuz), *T.C. Resmi Gazete*, 26241

²¹⁹ Dilek Cıvık Erdaş,(2012), “Elektrik Piyasasında Tesislerin Mülkiyet Sorunları”, *Uzmanlık Tezi*, Ankara, s.56

EÜAŞ, *EPK*, 233 sayılı *KHK* ve ana statü hükümleri saklı kalmak üzere özel hukuk hükümlerine tabidir. İlgili mevzuat hükümleri gereğince EÜAŞ'ın devir alınması gereken tesisleri devralmak ve özel sektöre devri yapılmamış üretim tesislerini kendisi veya bağlı ortaklıkları vasıtasıyla işletmek ve gerektiğinde sistemden çıkarmak gibi görevleri vardır. Ayrıca ETKB tarafından kurulması öngörülen yeni üretim tesislerini kurmak ve Bakanlar Kurulunca görev verilmesi halinde yeni üretim tesislerini kurmak gibi görevleri de bulunmaktadır.

Bir kamu kuruluşu olan EÜAŞ'a, *Mülga 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu* ile özel sektör üretim yatırımlarının dikkate alınması suretiyle Enerji Piyasası Düzenleme Kurul'unun onaylı üretim kapasite projeksiyonu uyarınca, gerektiğinde yeni üretim tesisleri kurabileceği, kiralayabileceği ve işletebileceğine ilişkin yetki verilmiştir. Ancak 6446 sayılı *EPK*'nın 26'ncı maddesinin altıncı fıkrasında; elektrik enerjisinin veya kapasitesinin alımı/satışı/ticareti faaliyetleri, EÜAŞ'ın sahip olduğu üretim lisansları kapsamında yapabileceği faaliyetler olarak belirtilmiştir. Öte yandan aynı maddenin dördüncü fıkrasında Bakanlığın uygun görüşü ile EÜAŞ'ın, yeni yapılacak üretim tesisleri için özel hukuk hükümlerine tabi tüzel kişiler ile ortaklıklar kurabileceği bildirilmiştir. Ancak *EPK*'da doğrudan EÜAŞ tarafından üretim tesisi kurulmasına ilişkin bir yetki tanımlanmamıştır. Yine EÜAŞ'ın 2018 yılı Sektör Raporu'nda²²⁰ da bu hususa ilişkin olarak; 6446 sayılı *EPK*'ya göre özel hukuk hükümlerine tabi tüzel kişilerle ETKB'nin uygun görüşü ile yeni yapılacak üretim tesisleri için ortaklık kurabileceği ifade edilmiştir.

İdarelerin kanundan doğrudan yetki almaksızın yetki kullanmalarının ilke olarak mümkün olmadığı, söz konusu bu yasallık (kanunilik) ilkesinin dayanağının “*İdare, kuruluş ve görevleriyle bir bütündür ve kanunla düzenlenir.*” hükmünü içeren Anayasa'nın 123'üncü maddesinden geldiği bilinmektedir.²²¹ Başka bir ifade ile; idare hukukunda idareye yetki verilmesi durumunda idare harekete geçebilmektedir. Bu çerçevede değerlendirildiğinde; EÜAŞ'a, 6446 sayılı *EPK* ile doğrudan yetki verilmemesi sebebiyle mevcut tesislerinde YFV sistem kurulumu gerçekleştiremese de, özel hukuk hükümlerine tabi tüzel kişilerden oluşan ortaklıklar ile hibrit sistemlere ilişkin yeni başvuruda bulunabileceği değerlendirilmektedir. Öte yandan *EPK* ile yetki

²²⁰ EÜAŞ Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı Stratejik Planlama Müdürlüğü, “Elektrik Üretimi Ve Ticareti Sektör Raporu”, 2018, s.24

²²¹ Ali D. Ulusoy, *Yeni Türk İdare Hukuku*, Yetkin Yayınları, Ankara 2019, s.117

verilmemiş olsa dahi kendi ana statüsünde Bakanlık tarafından kurulması öngörülen yeni üretim tesislerini kurabileceğine ilişkin hüküm bulunmaktadır.²²² 233 sayılı Kamu İktisadi Teşebbüsleri Hakkında KHK, 399 sayılı KHK ve EPK’ya dayanılarak hazırlanmış olan bu ana statü ile verilen yeni üretim tesislerinin kurulabilmesine ilişkin yetkinin ise 6446 sayılı EPK’nın 26’ncı maddesi çerçevesinde verilmiş olabileceği değerlendirilmek ile birlikte EÜAŞ’ın mevcut santrallerini birden çok kaynaklı elektrik üretim tesislerine dönüştürüp dönüştüremeyeceği hususu henüz netlik kazanamamıştır.

Öte yandan, bir kontrat çerçevesinde belirli bir süre için yeni bir tesis yatırımı yapılması karşılığında, yatırımı yapma taahhüdünde bulunan başka bir tarafa devredilmesi modeline dayanan ve 1980’li yılların başından itibaren belli bir kamu hizmetine ilişkin tesisin kurulması ve daha sonra bu tesiste kamu hizmetinin belli bir süre işletilmesi ve süre sonunda da bu tesisin hizmetin asli sahibi ve sorumlusu olan Devlete geçmesi amacıyla kullanılan Yap İşlet Devret (YİD) modeli ile tesis edilen santraller de mülkiyeti kamuya ait olan santrallerdir.²²³ Bunun yanında özelleştirme yöntemlerinden birisi olarak sayılan ve kuruluşların bir bütün olarak veya aktiflerindeki mal ve hizmet üretim birimlerinin -mülkiyet hakkı saklı kalmak kaydıyla- bedel karşılığında belirli süre ve şartlarla işletilmesi hakkının verilmesi olarak tanımlanan İşletme Hakkı Devri (İHD) modeli ile tesis edilen santrallerde kamu mülkiyetinde olan santrallerdir. İşletme hakkı yoluyla özel hukuk hükümlerine tabi tüzel kişilere devri yapılmış veya yapılacak tesis ve işletmelerin ve bunlara yapılacak ilave ve idame yatırımlarının mülkiyet hakları devredilmemektedir.²²⁴

YİD modeli ile tesis edilmesi planlanan santraller için sözleşme yapmaya yetkili kılınan ve hizmetin asli sahibi olan kurum ve kuruluşlar ile sermaye şirketleri arasında uygulama sözleşmesi imzalanmaktadır. İdare ile sermaye şirketi arasında yapılacak olan özel hukuk hükümlerine tabi bu sözleşme, yetkili idarelerin bağlı, ilgili veya ilişkili olduğu Bakanın onayı alınarak imzalanır. Sözleşmelerde sermaye şirketinin yapacağı tesisin yatırım ve hizmet süresinin belirlenmesinde yatırım bedelinin (elde edilecek kar dahil) ve yatırım için sağlanan kredilerin geri ödeme süresi ile projenin mahiyeti, sermayenin miktarı ve işletme esasları dikkate alınır. Sözleşmelerin süresi 49 yıldan fazla

²²² Elektrik Üretim Anonim Şirketi Ana Statüsü, Madde 6

²²³ Dilek Cıvık Erdaş, s.53

²²⁴ Erkan Yetkiner, “ Kamuya Ait Elektrik Üretim Tesislerinin İşletme Hakkının Özel Sektör Şirketlerine Devrinin Vergi Kanunları Karşısındaki Durumu”, Denge Akademi Dergisi, 2005, <http://www.dengeakademi.com/Files/Article/Erkan2005KamuyaAit.pdf> Erişim tarihi: 27 Mayıs 2020

olamaz. Yapılan tesisler, sözleşme süresinin sona ermesi ile birlikte her türlü borç ve taahhütlerden ari, bakımlı, çalışır ve kullanılabilir durumda bedelsiz olarak idareye geçmektedir.²²⁵

YİD modeli ile tesis edilen santrallerin birden çok kaynaklı elektrik üretim santrallerine dönüştürülmesinin talep edilmesi halinde, uygulama sözleşmesinin yapıldığı yetkili idare ve bağlı, ilgili veya ilişkili olduğu ETKB'nin onayı alınması durumunda, sermaye şirketleri tarafından tadil talebinde bulunulabilir. Talebin EPDK tarafından uygun görülmesi halinde ise mevcut santraller birden çok kaynaklı elektrik üretim tesisine dönüştürülebilir.

İHD yoluyla özelleştirilen hidroelektrik santraller, devralan tüzel kişi bünyesinde sözleşmede geçerli olan süre boyunca işletilir. Bu süreçte tesisler için ilave yatırımlar, tadiller gerçekleştirilebilir. Örneğin bu kapsamda; daha önce EÜAŞ bünyesinde olan ve 1971 yılında işletmeye alınmış olan Doğankent 1-2 HES projesi, Özelleştirme İdaresi ve yetkili EÜAŞ'la yapılan İHD Sözleşmesi gereği özel hukuk hükümlerine tabi bir tüzel kişi uhdesine geçmiş, söz konusu tüzel kişi işletme halindeki mevcut Doğankent 1-2 HES tesisinde Doğankent Regülatörünün membaında oluşan rezervuar alanında yapılacak kapsamlı kazı çalışmaları neticesinde bu alana yeni bir su alma yapısı tesis edilerek mevcut regülatör rezervuarındaki suların büyük bölümünün, bu yeni su alma yapısıyla yeni tesis edilecek iletim tüneline alınmasını planlanmış, böylelikle mevcut Doğankent 1 HES binasının yanında tesis edilmesi planlanan 110,926 MW kurulu güce sahip Doğankent-3 HES projesi için önlisans başvurusunda bulunmuştur.²²⁶ Yapılan yeni önlisans başvurusu için DSİ; işletmedeki mevcut Doğankent 1-2 HES projesi ve bu tesise ilave olarak mevcut enerji tesislerinden teknik olarak bağımsız bir şekilde yapımı teklif edilen yeni Doğankent 3 HES projesini birlikte kapasite artışı olarak değerlendirmiştir. EÜAŞ tarafından ise; Doğankent 3 HES projesinin İHD Sözleşmesi Madde 9.1 kapsamında önerilen yeni tesisin mevcut tesisin rehabilitasyonu kapsamında değerlendirilmesi ve yeni tesisin mevcut tesise sonradan ilave edilecek bir mütemmim cüzü olduğunun kabul edilmesi, Doğankent 3 HES projesinin Doğankent 1-2 HES kapsamında yürütülmesi, 74,50 MW kurulu gücündeki mevcut tesis ile yapımı önerilen

²²⁵ 3996 sayılı Bazı Yatırım ve Hizmetlerin Yap-İşlet-Devret Modeli Çerçevesinde Yaptırılması Hakkında Kanun (1994, 13 Haziran), *T.C. Resmi Gazete*, 21959

²²⁶ **Kaynak:** EPDK

110,926 MW kurulu gücündeki yeni tesisin bir bütün olarak kabul edilmesi gerektiği değerlendirilmiştir.

İHD Sözleşmesi Madde 9.1 ile işleticinin işletme hakkını aldığı sözleşme konusu varlıklarda sözleşme süresi boyunca ihtiyaç duyulacak her türlü ilave tesis ile rehabilitasyonu ve geliştirme amaçlı yatırımları EÜAŞ'ın onayı ile gerçekleştirilebileceği, sözleşme ile devredilen mevcut tesislerin üretim lisansları ve sözleşmeleri kapsamında gerçekleştirilen yatırımlar sonucu elde edilen taşınmazların ve yapılan ilave tesislerin sözleşme süresi sonunda işler halde ve bedelsiz olarak EÜAŞ'a devredilmesi gerektiği bildirilmiştir. Bu çerçevede, Doğankent 3 HES için yapılan önlisans başvurusu, mevcut Doğankent 1-2 HES üretim tesisine güç artışı talebi kapsamında değerlendirileceği düşünüldüğünden Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu tarafınca reddedilmiştir.

Doğankent 1-2 HES örneğinde görüldüğü üzere, bu tesislerin sözleşmelerin bütünlükleri bozulmadan ve geri devir işlemlerinde sorunlara yol açmayacak şekilde ikmal edilmesi, yapılacak tüm kamulaştırma ve tescil işlemlerinin EÜAŞ adına yapılması, sözleşmeler kapsamında yapılacak tesislerin mevcut tesislerin geri devir tarihi itibarıyla EÜAŞ'a devir edilmeleri, sözleşme hükümlerine uyulması, anlaşmaların yapılması, işlemlerin serbest üretim şirketleri tarafından yürütülmesi koşulu ve tüm sorumluluğun (teknik, idari, mali ve hukuki) ve masrafların özel hukuk hükümlerine tabi tüzel kişilere ait olması ve bu hususta hiçbir şekilde EÜAŞ'a karşı hukuki girişimde bulunulmayacağını da içeren Taahhütname/Protokol'ün tüzel kişiler ile EÜAŞ arasında imzalanması kaydıyla İHD Sözleşmelerine göre mevcut tesislerde ilave tesislere ilişkin yatırımlar yapılabilecektir.

EPLY çerçevesinde, her ne kadar mevcut santrallerde YFV sistem kurulumuna ilişkin işlemler, lisans tadil işlemi kapsamında gerçekleştirilecek olsa da, mülkiyeti kamuya ait olan EÜAŞ'a ait santrallerin mevcut tesise entegre olacak yeni bir tesis kurulumunu içeren tadil işlemi gerçekleştirip gerçekleştiremeyeceği netlik kazanamamıştır. İşletmesi EÜAŞ'a ait olan toplamda 47 adet HES'in 37 tanesinin rezervuarlı, 10 tanesinin ise kanal tipi olduğu bilinmektedir. Söz konusu tesislerin rezervuar alanı ve kurulu güç kapasitesi bakımından ülkemizin en büyük santralleri oldukları göz önüne alındığında, bu tesislerin hibrit tesise dönüştürülmesi halinde büyük

ölçekli YFV sistemlerin kurulumu için yüksek potansiyel barındırdıkları düşünülmektedir. Tadil edilmesi durumunda mevcut santrallerin verimliliğinin artırılabilceği, projelerin yıllık üretim miktarlarında gerçekleştirilebilecek artışlar ile yenilenebilir enerji üretiminde kayda değer katkı sağlanabileceği değerlendirilmektedir. Tezin ilerleyen bölümlerinde EÜAŞ santrallerinin hibrit tesislere dönüştürülmesi durumunda yapılan değerlendirmelere yer verilmiştir.

Sonuç olarak; hibrit tesislere ilişkin yeni başvurular veya mevcut santrallerin hibrit tesise dönüştürülmesine ilişkin tadil talepleri, özel üretim şirketlerine ait tesisler, EÜAŞ'ın uygun bulmasıyla işletme hakkı devredilen tesisler ve uygulama sözleşmesinin yapıldığı yetkili idare ve bağlı, ilgili veya ilişkili olduğu ETKB'nin onayı alınması şartıyla YİD modeli ile tesis edilen santraller için gerçekleştirilebilecektir. Özel üretim şirketlerine ait işletmede olan toplam 14.332,90 MW kurulu gücünde, 467'si kanal tipi ve 65'i rezervuarlı olmak üzere 532 tesis; özelleştirme kapsamında ise toplam 1.456,8 MW kurulu gücünde, 65'i kanal tipi ve 23'ü rezervuarlı olmak üzere 88 tesis; YİD kapsamında ise toplam 140,3 MW kurulu gücünde, 4'ü kanal tipi ve 1'i rezervuarlı olmak üzere 5 tesis bulunmaktadır. EÜAŞ'ın işletmesinde olan 47 adet HES; işletmede olan santrallerin sayıca % 6,99'unu , kurulu güç bakımından ise %44,50'sini oluşturmaktadır. Günümüzde kurulu güç (%44,50) bakımından kamu (EÜAŞ) ağırlığı korunsada, lisans sahibi şirketlerin payı her geçen gün artmaktadır.²²⁷

3.6. Yönetmelik Çerçevesinde YFV Tesislerin Kurulabileceği Potansiyel Kapasite

Hidroelektrik santralin rezervuar alanında su yüzeyine kurulan bir yüzer güneş enerjisi santrali, hidroelektrik santral ile tamamlayıcı bir şekilde çalışarak rezervuarlarda su depolaması sağlayabilir, orta ve uzun vadede hidrolik kaynaklı enerji eksikliğini telafi edebilir. Öte yandan, güneş enerjisi sistemleri gibi alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarının aralıklı doğasından kaynaklanan güç üretiminin değişkenliği, hızla ayarlanabilen hidroelektrik birimleri tarafından stabilize edilebilir.

²²⁷ Deniz Daştan, (2010), “Elektrik Piyasasında Üretim Lisanslarının Hukuki Rejimi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, s.13

Çoğu hidroelektrik santralde günde 24 saat tam kapasite ile güç üretmek mümkün değildir ve bu sebeple elektrik şebekesi iletim hatları tam kapasite kullanılmayabilir. 2018 yılında, tüm Türkiye’deki kanal tipi HES’ler 2450 saat, barajlı HES’ler ise 2000 saat çalışmış ve kanal tipi HES’lerinin ortalama kapasite faktörü %28, barajlı HES’lerin ise %23 olmuştur.²²⁸

Tamamlayıcı bir hibrit sistemde güneş enerjisine dayalı elektrik üretim tesisi, sistemin enerji üretimini artırabilir ve bu da hidroelektrik santralin elektrik şebekesi bağlantısını daha iyi kullanılır hale getirebilir.

Bir FV tesisinin, sistemde herhangi bir iyileştirme olmaksızın halihazırda çalışmakta olan bir hidroelektrik santralle birleştirmek için izlenmesi gereken en önemli koşul, tesisle ilişkili elektrik iletim şebekesinin dayanabileceği maksimum güçtür.²²⁹ Çünkü elektrik şebekesinin güç kapasitesi, hibrit sisteminin sağlayabileceği enerji miktarını sınırladığı için dikkate alınması gereken önemli bir parametre haline gelmektedir. Bu parametre değeri dikkate alındığında YFV tesislerin kurulumlarının potansiyel açıdan kapasitesinin belirlenmesi için birkaç farklı değerlendirme yapılabilir.

◆ Birden çok kaynaklı elektrik üretim tesislerine ilişkin çıkarılan yasal mevzuat hükümleri gereği YFV sistemin şebekeye sağlayabileceği maksimum güç çıkışının, hidroelektrik santralin maksimum çıkışına eşit olabileceği düşünüldüğünde; öncelikle DSİ tarafından her bir olası hibrit tesis için uygun görüşün verildiği varsayılarak mevcut ve yapılması planlanan hidroelektrik santrallerin kurulu güç değerine eşit büyüklükte potansiyel yüzer FV sistem kurulumunun yapılabileceği değerlendirilmektedir. Ülkemizde yasal olarak YFV sistemlerin kurulumunun yapılabileceği serbest üretim şirketleri santrallerinden; rezervuarlı, kanal tipi, rezervuarlı ve kanal tipi olan projeler için toplam kurulu güç değeri 14.332,90 MW’dır. İşletme hakkı devreden santrallerden; rezervuarlı ve kanal tipi olan projeler için toplam kurulu güç değeri 1.456,8 MW’dır. YİD modeli ile tesis edilen santrallerden; rezervuarlı ve kanal tipi olan projeler için ise toplam

²²⁸ Dursun Yıldız, “HidroEnerji Raporu”, YEKDEM’e Kayıtlı HES’lerin Üretim Verimliliği, 2019, s.19 <https://www.enerjiportali.com/wp-content/uploads/2019/07/YEKDEME-Kay%C4%B1tl%C4%B1-HESlerin-%C3%9Cretim-Verimlili%C4%9Fi.pdf> Erişim Tarihi: 20 Nisan 2020

²²⁹ Jair Arone Maués, “Floating Solar PV- Hydroelectric Power Plants in Brazil: Energy Storage Solution with Great Application Potential”, Int. J. of Energy Prod. & Mgmt., Vol. 4, No. 1 (2019) 40–52 https://www.researchgate.net/publication/334529099_Floating_solar_PVhydroelectric_power_plants_in_Brazil_Energy_storage_solution_with_great_application_potential Erişim Tarihi: 25 Nisan 2020

kurulu güç değeri 140,3 MW'dir. EÜAŞ'a ait santrallerden; rezervuarlı ve kanal tipi olan projeler için toplam kurulu güç değeri 12.774,8 MW'dir. Bu açıdan yapılan değerlendirmede; EÜAŞ'a ait santrallerin hibrit tesislere dönüştürülmesi halinde YFV tesislerin toplam potansiyel kurulumunun 28.704,8 MW kapasiteye kadar yapılabileceği, dönüştürülememesi halinde ise 15.930 MW kapasiteye kadar yapılabileceği düşünülmektedir.

Birçok kanal tipi HES'in, kurulu gücüne eşdeğer güçte YFV sistemin kurulumu için yeterli su yüzeyi alanına sahip olmayacağı bilinmek ile birlikte, göl alanı geniş olan kanal tipi HES'lerin, su yüzeylerine kurulu gücünden daha fazla kapasitede YFV sistemlerin kurulumunun gerçekleştirebileceği de değerlendirilmektedir. Bu bakımdan YFV sistemlerin kurulabilecek potansiyel kapasitesinin hesaplamasında su yüzeyi alanının yeterli olup olmayacağı bir ölçüt olarak alınmamıştır.

Öte yandan, 2019 yılı Dünya Bankası Raporu'nda bu yaklaşıma benzer bir değerlendirme yapılmış, büyüklük bakımından dünyanın önde gelen rezervuarlı hidroelektrik santrallerine kurulabilecek ve hidroelektrik santraller ile aynı kurulu güç kapasitesine sahip olacak yüzer FV tesisler için ne kadarlık yüzey alanının kaplanması gerektiğine dair çalışmaya yer verilmiş, bu çalışmada ülkemizde bulunan ve 2.400 MW kurulu gücünde olan Atatürk Barajı'nın 820 km²'lik rezervuar alanının yaklaşık olarak %3'ünün (24,6 km²) hidroelektrik kapasiteyle eşleşmesi için YFV sistemler ile kaplanması gerektiği belirtilmiştir. Benzer şekilde bazı büyük hidroelektrik santrallerde, rezervuar alanının sadece % 1-4'ünün YFV sistemler ile kaplanması durumunda hidroelektrik santralin kurulu kapasitesinin iki katına çıkabileceği, böylelikle su kaynaklarının gün boyunca güneş enerjisi çıkışının kullanması ile daha stratejik bir şekilde yönetilmesinin sağlanabileceği yine aynı Rapor'da belirtilmiştir.

♦ Yüzey alanı ve şebekeye bağlanabilecek maksimum güç çıkışı göz önüne alınarak yapılabilecek bir başka değerlendirmede ise; 2020 yılı Haziran ayı itibariyle ülkemizde serbest üretim şirketlerinin ve özelleştirme yoluyla işletme hakkı alan şirketlerin sahip olduğu proje, inşaat veya işletme halinde bulunan tüm mevcut rezervuarlı projelerin rezervuar alanlarının sadece %1'lik bir alanına YFV sistemlerin kurulması durumu ele alınacaktır.

Piyasa şartlarında sıklıkla kullanılan 265 Wp'lık standart bir polikristal FV panel kullanılarak bir yüzer FV sistem tasarımı gerçekleştirildiğinde, yaklaşık olarak 11.000 m²'lik (0,011 km²) araziye 1 MW'lık yüzer FV sistem kurulumu gerçekleştirilebilmektedir.²³⁰

1 MW'lık kapasitede yüzer sistem kurulumu için ise yine aynı standartlarda yani 265 Wp'lık polikristal FV panelden yaklaşık olarak 3.375 adet kullanılması gerekecektir.

Örneğin; yukarıda kurulu güç değerine eşit olacak şekilde 24,6 km²'lik bir alana YGES kurulumunun yapılması gerektiği hesaplanan Atatürk Barajı'nın -DSİ kayıtlarına göre- 817 km² olan rezervuar yüzey alanının %1'lik kısmına yüzer FV sistem kurulumu yapılarak 742,73 MW'lık yüzer FV sistem kurulumu yapılabilir. Bu hesaplamanın;

$$\text{Kurulabilir kapasite (MW)} = \text{Toplam Rezervuar Alanı} / (100 \times 0,011) \quad (3.1)$$

denklemleri ile yapılabilmesi mümkündür.

Tablo 3.3: Türkiye'deki Rezervuarlı HES'lere Kurulabilir YFV Sistemlerin Kapasite Potansiyeli

	<i>Rezervuar Alanı (km²)</i>	<i>Kurulabilir Alan %1 (km²)</i>	<i>Kurulabilir Kapasite (MW)</i>
<i>EÜAŞ Santralleri</i>	3.168,225	31,68	2.880
<i>Serbest Üretim Şirketi Santralleri</i>	715,47	7,15	650
<i>İşletme Hakkı Devredilen Santraller</i>	236,538	2,37	215,45
<i>Yap İşlet Devret Santralleri</i>	85,3	0,85	77,27
TOPLAM	4.205,533	42,05	3.822,72

Bu bakımdan değerlendirildiğinde; ülkenin rezervuar alanı bakımından en büyük santrallerinin işletmesinin EÜAŞ'a ait olması sebebiyle, EÜAŞ'a ait santrallere YFV

²³⁰ Hakan Şençiçek, s.51

sistemlerin kurulumunun gerçekleşmemesi durumunda %1 değeri gibi spesifik bir oranda dahi büyük oranda potansiyel kurulum kapasitesi atıl durumda kalmaktadır. Oysa bu kadar büyük ölçekli kullanılabilir baraj gölü ve göl yüzey alanına sahip bir ülke olarak, yüzer FV sistemlerden yeterince faydalanılması, başta üretimde verimliliği artıracak bunun yanı sıra elektrik arzını çeşitlendirerek, enerjide dışa bağıllığı azaltacak ve enerji ihtiyacının daha temiz ve sürdürülebilir yollardan teminini sağlayacaktır.

Dünya genelinde de yüzer FV sistemlerin ölçeklendirilmesi ve konumlandırılması potansiyelini belirlemek için, yapılan araştırmalardan öğrenilen ön sonuçlara göre 1.500 hidroelektrik rezervuarındaki yüzey alanının %10'unun kaplanması ile 3 TW kurulabilir küresel kapasite potansiyelinin elde edilebileceği tahmin tahmin edilmektedir.²³¹

Elektrik piyasasına ilişkin mevzuatımızda hibrit sistemlerle birlikte ele alınan YFV sistemlerin, ülkemizde coğrafi konumu itibariyle bulunan göller ile içme suyu ve sulama amaçlı tesis edilen barajlarda kurulumu da göz ardı edilmeyecek bir potansiyel barındırmaktadır. Yalnızca belediyelerin kullandığı baraj göllerine yüzer FV sistem kurulumu yapıldığı düşünüldüğünde dahi oldukça büyük bir kurulum potansiyeli bulunduğu anlaşılmaktadır. Tüm bu potansiyel enerji kapasitesine ilave olarak, Büyükçekmece Gölü Yüzer GES Projesi'nde olduğu gibi buharlaşmanın engellenmesi amacıyla da yüzer sistemlerin kullanılabilirliği, bu sistemlerin gerekliliğini bir kat daha artırmaktadır.²³²

İçme ve sulama amaçlı baraj gölleri ile doğal göllerin yüzey alanlarının sadece %1'lik kısmına YFV sistemlerin kurulması halinde ise 18.039,08 MW kurulu güç kapasitesi elde edilebilmektedir. Bu bakımdan su kaynakları açısından böylesine zengin olan bir ülkede, yüzer FV sistemlerin kurulumunu sadece hidroelektrik santraller ile sınırlamanın, enerji ihtiyacımızı karşılamada varolan potansiyelimizin yeterince değerlendirilememesine neden olacağı düşünülmektedir.

²³¹ International Hydropower Association, "2019 Report", s.32

²³² Hakan Şençiçek, s.52

Tablo 3.4: Türkiye’deki İçme Suyu, Sulama Amaçlı Barajlar ve Doğal Göllerin Su Yüzeyine Kurulabilir YFV Sistemlerinin Kapasite Potansiyeli²³³

	<i>Yüz Ölçümü (km²)</i>	<i>Kurulabilir Alan %1 (km²)</i>	<i>Kurulabilir Kapasite (MW)</i>
<i>İçme Suyu Barajı</i>	1.288	12,88	1.170,90
<i>Sulama Barajı</i>	10.196	102	9.272,73
<i>Doğal Göl</i>	8355	83,55	7.595,45
TOPLAM	19.839	198,43	18.039,08

3.7. YFV Sistemler için Getirilen Teşvikler

FV endüstrisi hızla gelişmekte ve bu gelişmeye bağlı olarak teknolojik ilerleme ve artan üretim ölçeği sayesinde, güneş pillerinin ve modüllerinin maliyeti son yıllarda giderek azalmaktadır. 2010 ile 2018 yılları arasında, farklı ülkeler düzeyinde, büyük ölçekli güneş enerjisi projelerinin ortalama toplam kurulum maliyetinin % 66 ile % 84 arasında düştüğü gözlemlenmiştir. Örneğin; Hindistan’da toplam kurulum maliyetlerinde %84 oranında bir düşüş yaşanırken, Amerika Birleşik Devletler’nde %66 oranında bir düşüş yaşanmıştır. Teknoloji maliyetlerindeki düşüşler, FV sistem teknolojilerini ve enerji hizmetlerini uzun vadede daha erişilebilir ve uygun maliyetli kılmış, dağıtım modellerinde ve finansman modellerinde yeniliğin kilidini açmıştır. 2050 yılına kadar FV sistemlerin, özellikle güneş ışınlamasının çok iyi olduğu alanlarda mevcut en ucuz güç kaynakları arasında ve maliyetinin 0,014-0,05 USD/kWh aralığında olması beklenmektedir.²³⁴

Bu süreç zarfında güneş enerjisi sistemlerine yatırım sağlamak amacıyla destek ve teşvik mekanizmalarının başında gelen sabit fiyat garantisi yaygın biçimde dünyada ve ülkemizde kullanılmıştır.

²³³ Hakan Şençiçek, s.52 (Alıntı: Devlet Su İşleri. (2017) Türkiye’deki Barajlar. Erişim: 25 Eylül 2017 http://www2.dsi.gov.tr/barajlar_albumu/files/assets/basic-html/index.html#1)

²³⁴ IRENA (2019), s.28

Ülkemizde halen kullanılmakta olan bu mekanizmada, her bir yenilenebilir enerji kaynağı için eşit olmamak kaydıyla sabit fiyat garantili plan getirilmiştir. Gerçek ve tüzel kişiler, ihtiyaçlarının üzerinde ürettikleri elektrik enerjilerini dağıtım sistemine göndermeleri halinde *5346 sayılı Kanun*'a ekli I sayılı cetveldeki fiyatlardan 10 yıl süre ile yararlanmaktadırlar. Ayrıca lisans sahibi gerçek ve tüzel kişilerin, 31/12/2020 tarihinden önce işletmeye giren üretim tesislerinde yararlanılan mekanik veya elektro-mekanik aksamın yurt içinde üretilmesi halinde, bu tesislerden elde edilip iletim ve dağıtım sistemine gönderilen elektrik enerjisi için, I sayılı cetvelde sunulan fiyatlara, 5 yıl süreyle II sayılı cetvelde yer alan yerli katkı ilavesi eklenmektedir. Tüm bunların yanında lisanssız projeler için hizmet bedellerinin alınmaması, arazi kullanım ücretlerinin teşviki ve Türkiye'de yeni yatırımları özendirmeye teşvikler adı altında yer alan enerji nakil hatlarından yatırım ve işletme dönemlerinin ilk on yılında izin, kira, irtifak hakkı ve kullanma izni bedellerine yüzde seksenbeş indirim uygulanması gibi ilave teşvikler bulunmaktadır.

Öte yandan, geleneksel güneş enerjisi sistemlerinde gelişen teknolojilerle birlikte maliyetlerde düşüş yaşanırken, yüzer FV sistemlerine ilişkin uygulamalarda farklı teknolojilere ihtiyaç duyulması, henüz yaygın bir kullanıma sahip olmayan bu sistemler için yüksek harcamalar gerektirmektedir. Bu sebeple, enerji sektöründe meydana gelen yeni gelişmeler ile birlikte, güneş enerjisi tesislerinin diğer kullanımlar için ayrılan araziler ile meşguliyetini engellemek ve atıl su kütlelerinin kullanılmasını teşvik etmek için, küresel olarak YFV sistemler geliştirilmiş ve bu sistemleri suya dağıtmak için finansal teşvikler sunulmuştur.

Başlangıçta teknolojiyi test etmek için genellikle üniversiteler veya kamu araştırma kurumları tarafından Ar-Ge ve pilot projeler (<1 MW) geliştirilmiş ve bunları finanse etmek için ülkemizde de Hydrosolar Azmak Projesinde olduğu gibi kamu hibeleri verilmiştir. Sonrasında YFV sistemler için özel teşvik mekanizmaları, ihale, FV sistemler için uygulanan mevcut tarifelerden faydalanma gibi uygulamaları bulunan her ülke, kendi enerji politikasına uygun destekleme mekanizması oluşturmuştur.

Ülkemizde de birden çok kaynaklı elektrik üretim tesislerine ilişkin mevzuatsal süreçte bu tür hibrit tesisler, halihazırda uygulanan YEKDEM mekanizmasına dahil edilmiştir.

YEK Yönetmeliği'nde yapılan değişiklikler ile; yenilenebilir olarak değerlendirilen hidroelektrik santral ile bu santrale kurulacak olan YFV sistem birlikteliğinden oluşan tamamı yenilenebilir olan hibrit tesis, lisansındaki mevcut kurulu gücü ile üretebileceği yıllık azami üretim miktarı için YEK Destekleme Mekanizmasından yararlanacaktır. Ancak bu tesislerde üretilerek sisteme verilen net enerji miktarı, üretim tesisinde kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları için belirlenen fiyatlardan en düşük olanı üzerinden yani hidrolik kaynak üzerinden YEKDEM kapsamında değerlendirilecektir.

Ayrıca hidroelektrik santral sahasına kurulan güneş enerjisine dayalı üniteler, hidroelektrik santralin kalan süresi üzerinden YEKDEM kapsamında değerlendirilecek²³⁵, hidroelektrik santral işletmeye geçmeden önce YFV sistemin işletmeye geçmesi halinde sisteme verilen elektrik test üretimi kabul edilecek ve bu miktar için bir tahakkuk veya ödeme yapılmayacaktır.²³⁶

Hidroelektrik santral için söz konusu olan YEKDEM mekanizması yardımcı kaynak üzerinden de aynı şekilde devam edecek öte yandan, önlisans/üretim lisansı alma ve tadil bedellerinde, ayrıca lisans başvurularında sunulan teminat tutarlarında, lisans bedelleri ve asgari sermaye yeterliliğine ilişkin yükümlülüklerde hidroelektrik santral ile güneş enerjisine dayalı santralin kurulu güçleri toplanarak, hidrolik kaynağa ilişkin veriler üzerinden değerlendirme yapılacaktır.²³⁷

3.8. YFV Sistemlere İlişkin Öneriler

Türkiye'de YFV sistemlerin uygulamasına ilişkin olarak getirilebilecek öneriler bu sistemlerin geliştirilmesi açısından ve mevzuatsal açıdan olmak üzere iki ayrı şekilde ele alınacaktır.

²³⁵ Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmelik, (2013, 1 Ekim), *T.C. Resmi Gazete*, 28782

²³⁶ Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği, (2013, 2 Kasım), *T.C. Resmi Gazete*, 28809

²³⁷ Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği, (2013, 2 Kasım), *T.C. Resmi Gazete*, 28809

3.8.1. YFV Sistemlerin Geliştirilmesine Yönelik Getirilebilecek Öneriler

Su ve hava soğutmalı FV'lerin performanslarının araştırılması amacıyla 2007 yılında geliştirilen YFV sistemlerin, araştırma ve geliştirme amacıyla küçük ölçekli kurulumları test edilmiştir. Bu sistemler on yıldan daha az bir süre içerisinde, içlerinde Türkiye'nin de bulunduğu 29 ülkede kendisine uygulama alanı bulmuştur. Büyüklük bakımından 10 MW üzerinde kurulumun ilk defa 2016 yılında gerçekleştiği YFV sistemler, 2018 yılı sonu itibarıyla dünya genelinde 1.314 MW kurulum kapasitesine ulaşmıştır. Dünya genelinde 100 MW ve üzerinde kurulu güç kapasitesinde olan büyük ölçekli projeler yapılmış olsa dahi bu sistemlerin henüz sektörde geliştirilmeye ihtiyaç duyduğu bilinmektedir. Ülkemizde de ilk olarak 2014 yılında 10 kW'lık kapasite ile Azmak II HES'in rezervuar alanı üzerine bir prototip şeklinde kurulum gerçekleştirilmiş, daha sonra ise 2017 yılında Büyükçekmece Gölü üzerinde 210 kW kapasiteli kurulum gerçekleştirilmiştir. YFV sistemlerin dünya uygulamalarının ve ülkemizdeki pilot uygulamaların değerlendirilmesi neticesinde, bu sistemlerin ülkemizdeki uygulamalarına yönelik olarak geliştirilmesi amacıyla getirilebilecek öneriler şunlardır:

- YFV'lerin uygulanabilirliğini göstermek için dünya genelinde yeterince büyük ölçekli proje uygulanmış olsa da, bu sistemlerin su yüzeyine konuşlandırılmasında hala resmi kaynakların yetersiz olması sebebiyle birtakım belirsizlikler devam etmektedir. Bu belirsizlikleri sistemlerin kurulumuna, çevreye olan etkilerine ve çevrenin sistemlere olan etkilerine göre 3 başlık altında değerlendirmek mümkün olabilir. Başlıca belirsizlikler ise şunlardır; yüzdürücü sistemlerin maliyetleri, yapım ve işletimin karmaşıklığı (elektrik güvenliği, demirleme sorunları, işletme ve bakım), kullanılan teçhizatın ömrünü tamamlama işlemi, neme ve aşırı hava koşullarına dayanıklılığı, biyolojik çeşitliliğe etkileri, suyun kalitesinin etkilenmemesi için kullanılması gereken sistemlerin standartları. Bu konular üzerine ülkemizde de kamu kurumları, üniversiteler veya yatırımcılar aracılığıyla standartlara, çevresel etkilere, saha etütlerine ve batimetri ölçümlerine ilişkin olarak detaylı çalışmaların yapılmasına ihtiyaç duyulacağı değerlendirilmektedir.

Yüzer sistemler için standartların geliştirilmesinin, yapılacak saha etütlerinin ve batimetri ölçümlerine ilişkin çalışmaların ayrıca bu sistemlerin ÇED süreçleri kapsamında da değerlendirilebileceği düşünülmektedir.

- YFV sistemlerde kullanılan ekipmanlar için şu anda mevcut belirli standartlar/teknik yönergeler veya uluslararası standartlaştırılmış test prosedürleri bulunmamaktadır. YFV bileşenine ve ekolojik şartlara özgü standartların ve teknik yönergelerin geliştirilmesi önemlidir. Bu bakımdan ülkemiz, bu ekipmanlar için kendi sertifikalandırma programlarını ve standartlarını geliştirebilir.

- Pazar gelişimini desteklemek, YFV teknolojilerini küresel olarak daha iyi anlamak ve önceki projelerden çıkarılan dersleri daha geniş bir alana yaymak için kamu ve özel sektördeki tüm paydaşlar arasında aktif bir diyalog kurulması gereklidir. Sektör ile gerçekleştirilebilecek karşılıklı değerlendirmeler veya sektörden gelen geri bildirimler üzerine gerekli görülen mevzuatsal düzenlemelerin veya değişikliklerin yapılabileceği değerlendirilmektedir.

- Dünya uygulamalarına bakıldığında, balık yetiştiriciliğinde enerji temini için YFV sistemlerin kullanılabildiği görülmektedir. Öte yandan endüstri, gelecekte deniz aşırı YFV'nin sadece balık yetiştiriciliği ile değil, aynı zamanda suyu tuzdan arındırma, petrol ve doğal gaz arama, nakliye, veri merkezlerinin soğutulması ve hatta hidrojen üretimi gibi diğer deniz uygulamaları ile de entegre edilmesini beklemektedir. Dünya genelinde yapılan bu tür çalışmalar takip edilerek, ülkemizde de sektördeki bu yeniliklere başlangıç olması bakımından su ürünleri yetiştiriciliğinde enerji temini amaçlı YFV sistemlerin kurulumunun gerçekleştirilebileceği değerlendirilmektedir.

- Dünya geneli uygulamalarda YFV sistemlerin, barajlar üzerinde % 1 oranındaki alana kurulumunun çevre üzerinde önemli olumsuz etkilere sahip olmayacağı varsayılmaktadır. Ancak uygulamalarda yüzer sistemlerin kurulum alanlarına ilişkin oranlar farklılık gösterecektir. Bu sebeple ülkemizde yapılacak çalışmalarda; YFV sistemlerin suyun kalitesine, sualtı ekosisteme olan etkisinin resmi kurumlar tarafından, her bir rezervuar alanı için özel olarak araştırılması gerektiği düşünülmektedir.

- Yüzer FV'lerin arazi kurulumlu FV tesislere göre sermaye maliyeti %15-20 ve işletme ve bakım maliyeti %30-50 daha yüksektir. İşletme ve bakım faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi genellikle karada olduğundan daha zordur. Ayrıca kurulum maliyetleri ve piyasanın adaptasyonu arasında ters orantı mevcuttur. Bu sebeple yüzer FV

sektörünün, solar enerji piyasasında devamlılığı garanti etmesi için daha iyi bir piyasa tasarımına ihtiyaç duyulmaktadır. Güneş enerjisi tesislerinin diğer kullanımlar için ayrılan araziler ile meşguliyetini engellemek ve atıl su kütlelerinin kullanılmasını teşvik etmek için küresel olarak geliştirilen YFV sistemlerin kurulum, işletme ve bakım maliyetlerini azaltmak için ülkemizde bu sistemler için finansal teşvikler sunulabilir.

3.8.2. YFV Sistemlere Mevzuatsal Açıdan Getirilebilecek Öneriler

YFV sistemler, mevzuatsal anlamda ilk olarak 2018 yılında yayımlanan *4 sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi*'nde karşımıza çıkmıştır. *Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi*'nin 121'inci maddesinin (o) bendinde DSI'nin görev ve yetkileri arasında; baraj, gölet ve kanal gibi su yüzeyleri ile rezervuar alanında azami su kotu ile işletme kotu arasında kalan yerlerde güneş enerjisi sistemlerinin kurulmasına yönelik taleplerden uygun görülenleri bedeli karşılığında kiralaması tanımlanmıştır. Daha sonra 2019 yılında *7164 sayılı Kanun* ile birden çok kaynaklı elektrik üretim tesislerinin ülkemizde yasal olarak kurulumuna olanak tanınmış, bu çerçevede gerçekleştirilen kanuni düzenlemeler akabinde yayımlanan *EPLY* ile YFV sistemlerin uygulaması, "Yüzer GES" adı altında karşımıza çıkmıştır. YFV sistemlere ilişkin olarak mevzuatsal açıdan getirilebilecek öneriler şunlardır:

- *EPLY*'nin 4'üncü maddesinde;

"Yüzer GES: Rezervuarlı veya regülatörlü hidroelektrik üretim tesisleri santral sahaları kapsamındaki su yüzeylerine kurulan güneş enerjisine dayalı elektrik üretim üniteleri"

olarak tanımlanmıştır. Bu tanımlama ile dünya genelinde sulama amaçlı barajlar, endüstriyel havuzlar, sulama tesisleri, atık su arıtma tesisleri, hidroelektrik santral rezervuarları gibi su kütlelerinin yüzeylerine kurulan YFV sistemler, kurulum alanı açısından ülkemizde rezervuarlı veya regülatörlü hidroelektrik santrallerin santral sahası içerisindeki su yüzeyleri ile kısıtlanmıştır. Oysaki ülkemiz sahip olduğu doğal göller, sulama veya içme suyu amaçlı barajlar ile YFV sistemlerin kurulumu için daha yüksek potansiyele sahip olabilecek bir konumdadır. DSI'nin 2018 yılı resmi su kaynakları istatistiklerine göre; ülkemizde sadece DSI tarafından farklı amaçlarla yapılan 512 adet

gölet, 8440 adet işletmede olan taşkın koruma tesisi, 2743 adet sulama tesisi ve 821 adet baraj bulunmaktadır.

Bununla birlikte, buharlaşma ile dünya çapında %40 gibi yüksek değerlere sahip önemli bir su kaynağı kaybı yaşanmaktadır. Su buharlaşmasının azaltılması, özellikle suyun az olduğu ülkelerde önemlidir. Ülkemizde ise kişi başına düşen kullanılabilir yıllık su miktarı 2020 yılı itibarıyla 1.346 m³ olmuştur. Türkiye, kişi başına kullanılabilir su potansiyeline bakıldığında, su azlığı yaşayan ülkeler arasında yer almaktadır. Bu nedenle suyun tasarruflu ve optimum bir şekilde kullanılması önem arz etmekte ve depolamalı tesisler yapılması suretiyle su kaynakları potansiyelinin değerlendirilerek çok maksatlı bir şekilde kullanılmasına yönelik çalışmalar yürütülmektedir. Bu çalışmalar kapsamında; işletmede olan sulama tesislerinde, DSİ tarafından farklı amaçlarla yapılan göletlerde, barajlarda, taşkın koruma tesislerinde su yüzeyinin YFV panellerle örtülmesiyle su kayıplarının önüne geçilerek suyun daha etkin ve verimli bir şekilde kullanılabilmesi sağlanabilir.

Ülkemizin doğal göllerinin, sulama veya içme suyu amaçlı barajlarının su yüzeylerine ampirik bir oran olan %1 ile kurulum gerçekleşmesi durumunda bile 18.039,038 MW kapasitesinde kurulum gerçekleştirilebilecektir. Bu kapsamda güneş enerjisine dayalı elektrik üretim sistemleri için gerek su otoritelerinin ilgili mevzuatlarında gerekse *EPLY*'de yasal düzenlemeler yapılarak arazi ve çatı üstü kurulumları yapılan bu sistemlerin, ülkemizde bulunan doğal göller, göletler, sulama veya içme suyu amaçlı barajlar, su arıtma tesisleri gibi su yüzeylerine de kurulumunun yapılabilmesi sağlanmalıdır. Yüzer FV sistemlerin kurulması halinde hibrit nitelik taşımayacak olan bahse konu su yapıları için, güneş enerjisi sistemlerinin kurulmasında *EPK*'nın 7'nci maddesinin dördüncü fıkrasında belirtilen yarışma ve ölçüm şartları aranmayabilir, söz konusu alanlar için dünya uygulamalarında yer alan örnekler gibi ihale yoluyla DSİ tarafından kiralama yapılabilir.

- Hidroelektrik santrallerin santral sahası içerisinde kalan su yüzeylerine kurulabilecek YFV sistemler; hibrit sistemler için yapılacak yeni başvuru veya mevcut önlisans/lisansın tadili kapsamında gerçekleştirilecek iken, işletmesi EÜAŞ tarafından yapılan ve kamu mülkiyetinde olan 47 adet hidroelektrik santralin sahasına mevcut tesise

entegre olacak yeni bir tesis kurulumunun gerçekleştirilip gerçekleştirilemeyeceği netlik kazanamamıştır.

6446 sayılı EPK'nın 26'ncı maddesinin dördüncü fıkrasında;

“(4) Bakanlığın uygun görüşü ile EÜAŞ, yeni yapılacak üretim tesisleri için özel hukuk hükümlerine tabi tüzel kişiler ile ortaklıklar kurabilir.”

hükmü ile EÜAŞ'a ancak ETKB'nin uygun görüşü ile özel hukuk hükümlerine tabi tüzel kişiler ile ortaklık kurması durumunda yeni tesis kurabilme yetkisi verilmiştir.

233 sayılı Kamu İktisadi Teşebbüsleri Hakkında KHK, 399 sayılı KHK ve EPK'ya dayanılarak hazırlanmış olan EÜAŞ'ın ana statüsünün 6'ncı maddesinde ise;

“Bakanlık tarafından kurulması öngörülen yeni üretim tesislerini kurmak, kiralamak, işletmek, özel hukuk hükümlerine tabi tüzel kişilere işletme hakkı devri yapılmış veya yapılacak tesis ve işletmelerinin ve bunlara yapılacak ilave ve idame yatırımlarının mülkiyetini muhafaza etmek, ilgili mercilerce özelleştirilmesine karar verilen tesislerin veya İştirak hisselerinin ilgili mevzuat çerçevesinde devrini yapmak”

hükmü ile yeni üretim tesisleri kurabilmesine ilişkin yetki verilmiştir.

EÜAŞ'ın mevcut tesisleri hibrit tesislere dönüştürmek için yetkisinin olmaması halinde bünyesinde bulunan toplamda 12.774,8 MW gücündeki 47 hidroelektrik santral için mevcut kapasitelerin verimliliği ve elektrik üretim miktarında artış sağlanamayacaktır. EÜAŞ'ın işletmesinde olan bu santrallere ait toplam kurulu güç, ülkenin işletmede olan hidrolik kaynaklı elektrik üretim tesislerinin toplam kurulu gücünün %44,49'unu oluşturmaktadır. Ülkemizin rezervuar alanı bakımından en büyük santralleri de yine EÜAŞ'ın bünyesindeki bu santrallerdir. Türkiye'deki önlisans veya üretim lisansına sahip tüm rezervuarlı hidroelektrik santrallerin arasında EÜAŞ'ın işletmesindeki 37 adet rezervuarlı hidroelektrik santral toplam 3.168,225 km² rezervuar alanı ile %75,33'lük bölümü oluşturmaktadır. Tezin önceki bölümlerinde değerlendirildiği gibi EÜAŞ'a ait rezervuarlı santrallerin, rezervuar alanlarının sadece %1'ine YFV sistem kurulumun gerçekleşmesi durumunda dahi 2.880 MW kapasitesinde sistem kurulumu gerçekleşecektir. EÜAŞ'a ait santraller, mevcut kapasiteleri bakımından

değerlendirildiğinde, 6446 sayılı EPK’da EÜAŞ’ın hak ve yükümlülüklerine ilişkin bir düzenleme yapılarak, EÜAŞ’ın esasında kendi ana statüsünde yer aldığı gibi elektrik üretimi için yeni tesis yapabilmesine olanak sağlanması gerektiği değerlendirilmektedir.

- EÜAŞ’a ait santrallerin, birden çok kaynaklı elektrik üretim tesislerine dönüştürülebilmesine yönelik olarak; *EPLY*’de değişiklik yapılması başka öneri olarak sunulabilir.

EPLY’nin “Önlisans ve lisans alma yükümlülüğü” başlıklı 5’inci maddesinin birinci fıkrasında yer alan;

“Birden çok kaynaklı elektrik üretim tesislerinde kullanılan yardımcı kaynak ünitesi, ana kaynağa dayalı tesisin ünitesi olarak kabul edilir ve tesis tek bir önlisans veya lisans kapsamında değerlendirilir.” hüküm gereği hidroelektrik santraller ve YFV sistemler tek bir önlisans/lisans kapsamında değerlendirilecektir. Bu hususta yapılabilecek bir değişiklik ile hidroelektrik santrallerin ve YFV sistemlerin tek bir önlisans/lisans kapsamında değerlendirilmemesi halinde, EÜAŞ tarafından, işletmesindeki hidroelektrik santrallere YFV sistem kurulumu yapılamasa dahi başka özel hukuk hükümlerine tabi tüzel kişilere imtiyaz tanınabilir. Söz konusu değişiklik ile yüzer sistemlerinin kurulumunda mevcut başvurularda uygulanan yarışma ve ölçüm yükümlülükleri uygulanabilir. Aynı bağlantı noktasına ve/veya aynı bağlantı bölgesine bağlanmak için ilan edilen kapasiteden daha fazla başvuru bulunması halinde ve/veya aynı sahaya birden fazla başvurunun bulunması halinde TEİAŞ tarafınca yarışma yapılması ve son sekiz yıl içinde elde edilmiş, 6 ayı yerinde olmak üzere en az bir yıl süreli ölçüm yapılması zorunluğu ise kurulum sahasının su yüzeyi olacak olması sebebiyle uygulamada birtakım zorluklar ortaya çıkarabilir.

- 4 sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi’nde; baraj, gölet ve kanal gibi su yüzeyleri ile rezervuar alanında azami su kotu ile işletme kotu arasında kalan yerlerde güneş enerjisi sistemlerinin kurulmasına yönelik taleplerden uygun görülenleri bedeli karşılığında kiralaması hususu DSİ’nin görev ve yetkileri arasında tanımlanmış, kiralamanın ne şekilde yapılacağı DSİ’nin idari tasarrufuna bırakılmıştır. DSİ tarafından kiralama yapılırken su yüzeyi alanına göre mi yapılacağı, mevcut lisansın hibrit tesise dönüştürülmesi durumunda kiralama işleminin tüzel kişilerin kalan lisans süresine göre

ne şekilde düzenleneceği, *SKHA Yönetmeliği*’nde kiralama işlemlerine ilişkin hükümlerin olup olmayacağı veya kiralama işlemlerine ilişkin başka bir mevzuatsal düzenleme yapılıp yapılmayacağı, vs. gibi konular belirsiz bırakılmıştır.

Bununla birlikte, 4 sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi’nde yer verilen “...baraj, gölet ve kanal gibi su yüzeyleri...” ifadeleriyle bahsi geçen bu alanların üzerine kurulacak güneş enerjisi sistemlerinin bedeli karşılığında kiralanmasına ilişkin hüküm verilirken, *EPLY*’de “...Yüzer GES’ler veya hidroelektrik kaynaklara dayalı tesislerin kanal yüzeylerinde veya rezervuar alanında azami su kotuyla işletme kotu arasında kalan yerlerde...” kurulacak güneş enerjisi sistemleri için DSİ ile kiralama sözleşmesi yapılmasına ilişkin hüküm verilmiştir. Bu hükümlere ilişkin kullanılan ifadelerden de anlaşılacağı üzere EPDK, kanal yüzeyine kurulacak güneş enerjisi sistemini, kurulumun su yüzeyine yapılmayacak olması sebebiyle yüzer GES olarak değerlendirmemiştir. Ancak yine de karaya gerçekleştirilecek güneş enerjisi kurulumları için de DSİ ile kiralama sözleşmesi yapılmasına hükmetmiştir. Santral sahası içerisinde olan fakat su yüzeyi olarak değerlendirilmeyen alanda kurulumu yapılacak olan güneş enerjisi sistemleri için DSİ ile kiralama sözleşmesi yapılmasının, söz konusu sahaya ait alan için mülkiyet durumu dikkate alındığında, uygulamada yine kurumlar arasında yetkiye dayalı engeller oluşturabileceği düşünülmektedir. Bu sebeple *EPLY*’de su yüzeyi olmayan alanlara kurulacak güneş enerjisi sistemleri için DSİ ile kiralama sözleşmesi yapılması şartının kaldırılmasının uygun olacağı değerlendirilmektedir.

- Her hidroelektrik santral, üzerine tesis edildiği akarsuya veya nehre, bulunduğu konumdaki ekolojik koşullara özgü nitelikler barındırır. Bu nedenle hibrit projeler planlanırken, projenin çevresel, teknik ve ekonomik olarak uygulanabilir olmasını sağlamak için bütünsel bir yaklaşım benimsenmesi gerekir. Bu çerçevede, hidrolik enerjiye ve güneş enerjisine dayalı bir elektrik üretim tesisinin oluşumunda alınan tüm izin, ruhsat ve onaylara ilişkin olarak ilgili kurum ve kuruluşlar tarafından çıkarılan ikincil mevzuatların, hidroelektrik-güneş enerjisine dayalı hibrit sistemler açısından gerçekleştirilmiş olan düzenlemelerle uyumlaştırılması gerektiği düşünülmektedir. Bunlar arasında başlıca; Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından çıkarılan “*Elektrik Tesisleri Proje ve Kabul Yönetmeliği*”, “*Güneş Enerjisine Dayalı Elektrik Üretimi Başvurularının Teknik Değerlendirilmesi Hakkında Yönetmelik*” ve “*Yerli Aksam Yönetmeliği*”, “*ÇED Yönetmeliği*” ve “*SKHA Yönetmeliği*” gelmektedir.

SONUÇ

Türkiye’de doğru enerji politikalarının hayata geçirilmesi, coğrafi konumu sayesinde yenilenebilir enerji kaynakları ve de özellikle güneş enerjisi potansiyeli bakımından zengin olan ülkemiz için oldukça önem teşkil etmektedir. Bu politikaların artan hızda ilerlemesi, yerli ve tükenmez olan enerji kaynaklarına talebin günden güne artması, ülkemizin enerjide dışa bağımlılığını azaltmakla kalmayıp, ekonominin de istikrarlı ve güçlü bir biçimde şekillenmesine katkıda bulunacaktır. Bu sebeple yapılan ve yapılacak olan yasal düzenlemeler, çalışmalar ve yatırımlar ile yüksek potansiyellere sahip yerel kaynaklarımızı, teknolojimizi ve teknik kadrolarımızı hayata geçirerek ve bilinçlenmeyi artırarak enerji alanında önemli adımlar atılmalıdır.

Ülkemiz yenilenebilir enerji kaynakları bakımından Avrupa’da lider olabilecek kadar iyi bir konuma sahiptir. Daha yaşanılır ve gelecek kuşaklara daha güzel bir Türkiye bırakmak için, yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yatırımları her geçen gün arttırmak gerekmektedir. Bu kapsamda enerji piyasasında gerçekleştirilen dünya uygulamalarının takip edilmesi, teknolojik yeniliklerin yakalanabilmesi, dışa bağımlılığı azaltmak adına üretimde hedeflerin belirlenmesi ve bu çerçevelerde mevcut enerji politikalarının orta ve uzun vadede güncellenmesi, gerekli görülen mevzuatsal değişikliklerin yapılması gerekir.

Dünyada 2007 yılından bu yana pilot kurulumlar ile test edilen YFV sistemler, nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu, toprağın ise az olduğu veya fırsat maliyetinin yüksek olduğu Çin, Hindistan, Japonya, Kore Cumhuriyeti ve Singapur gibi ülkelerde, hükümetler tarafından yenilenebilir enerji hedeflerine ulaşmaya yardımcı olmak için artan bir hızla kullanılmaya başlanmıştır. 2016 yılından itibaren 10 MW ve üzeri kapasiteler ile kurulumlarının gerçekleştiği ve artık çok daha büyük ölçekli YFV sistemler ile enerji üretiminin yapıldığı bilinmektedir. Ülkemizde de enerji sektörü tarafından takip edilen bu sistemlerin kurulumu pilot uygulamalar olarak , ilk kez 2014 yılında bir hidroelektrik santralin rezervuar alanına, ardından 2017 yılında göl yüzeyine gerçekleştirilmiştir.

15/07/2018 tarihinde yayımlanarak yürürlüğe giren *4 sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi* ’nde; baraj, gölet ve kanal gibi su yüzeyleri üzerine kurulacak güneş enerjisi

sistemleri için DSI'ye kiralama yetkisinin verilmesi ile 2018 yılında yüzer GES'ler mevzuatsal çerçevede ilk kez değerlendirilmiştir. Daha sonra 2019 yılında *7164 sayılı Kanun* ile birden çok kaynaklı elektrik üretim santrallerinin kurulmasına imkan tanınmış, daha sonra *6446 sayılı EPK* ve *EPLY*'de yapılan değişiklikler ile ana kaynağın hidroelektrik santral, yardımcı kaynağın da YGES olduğu hibrit tesisler ile birlikte ele alınmıştır.

Türkiye'de 01/07/2020 tarihinden itibaren yeni başvuru veya mevcut santrallerin birden çok kaynaklı elektrik üretim tesisine dönüştürülmesi kapsamında YFV sistemlerin kurulumları mümkün olacaktır.

Dünya genelinde büyük ölçekli projeler olmasına rağmen, yeni bir uygulama alanı olması ve yeterli sayıda resmi kaynağın bulunmaması sebebiyle YFV sistemler için belirsizlikler mevcuttur. Yakın gelecekte daha yaygın hale gelecek olan YFV tesisler hakkında bilgi birikimi zamanla oluşacaktır. Ancak YFV sistemler için doğru bir şekilde ele alınması gereken birtakım zorlukların bulunduğu bilinmekte ve bunlar ile ilgili olarak aşağıdaki hususların dikkate alınması gerekmektedir:

→ YFV sistemlerin su yüzeyine konuşlandırılmasına ilişkin olarak kurulumu, çevreye olan etkileri ve çevrenin sistemlere olan etkileri üzerine yapılmış detaylı çalışmalara, araştırmalara ait yeterli resmi kaynak bulunmamaktadır. Yüzdürücü sistemlerin ve işletme/bakım maliyetlerinin ne olacağı; büyük ve küçük ölçekli sistemlerin kurulumların ve elektrik güvenliğinin nasıl sağlanacağı; bu sistemlerin biyolojik çeşitliliğe etkilerinin ve su kalitesinin etkilenmemesi için kullanılması gereken sistemlerin standartlarının neler olacağı, neme ve aşırı hava koşullarına dayanıklılığının ne kadar süreceği hususlarında araştırmalar yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Sektörde yeni bir uygulama alanı olan bu sistemlerin pazar gelişiminin desteklenmesi ve teknolojilerinin küresel olarak daha yakından takip edilmesi gerektiği düşünülmektedir.

YFV sistemlerin geliştirilmesi açısından bu sorunlar için çözüm önerileri bağlamında önelerimiz aşağıdaki şekildedir:

◆ YFV sistemlerin kurulumu, bu sistemlerin elemanlarının suya, neme ve zorlu hava koşullarına dayanıklılığı üzerine ülkemizde de kamu kurumları, üniversiteler veya

yatırımcılar aracılığıyla standartlara, çevresel etkilere, saha etütlerine ve batimetri ölçümlerine ilişkin olarak detaylı çalışmaların yapılması gerekmektedir.

◆ YFV sistemlerde kullanılan ekipmanlar için mevcut belirli standartlar/teknik yönergeler veya uluslararası standartlaştırılmış test prosedürleri bulunmamaktadır. Ancak kurulumunun su yüzeyinde olması sebebiyle, YFV sistemlerin güvenilirliği, sualtı ekosisteme ve suyun kalitesine olan etkisinin minimize edilmesi amacıyla ülkemizin bu ekipmanlar için kendi sertifikalandırma programlarını ve standartlarını geliştirmesi gerekmektedir.

◆ YFV sistemlerin, dünya geneli uygulamalarında barajlar üzerindeki %1 oranındaki alana kurulumunun çevre üzerinde önemli olumsuz etkilere sahip olmayacağı varsayılmaktadır. Ancak uygulamalarda bu sistemlerin kurulum alanlarına ilişkin oranların farklılık göstereceği bilinmektedir. Ülkemizde yapılacak çalışmalarda; YFV sistemlerin suyun kalitesine, sualtı ekosisteme olan etkisinin resmi kurumlar tarafından, her bir rezervuar alanı için özel olarak araştırılması gerekmektedir.

◆ YFV sistemlerin pazar gelişimini desteklemek, teknolojilerinin küresel olarak daha yakından takip etmek ve önceki projelerden çıkarılan dersleri daha geniş bir alana yaymak için kamu ve özel sektördeki tüm paydaşlar arasında aktif bir diyalog kurulması gerekmektedir.

Dünya uygulamalarına bakıldığında rezervuarlar, hidroelektrik barajlar, endüstriyel havuzlar, su arıtma havuzları, madencilik havuzları, göller gibi su yüzeylerine kurulan YFV sistemlerin, ülkemizdeki uygulanabilirliğine ilişkin olarak gerçekleştirilen mevzuatsal değişiklikler ile ilgili aşağıdaki hususların dikkate alınması gerekmektedir:

→ *EPLY*'de; rezervuarlı veya regülatörlü hidroelektrik üretim tesisleri santral sahaları kapsamındaki su yüzeylerine kurulan güneş enerjisine dayalı elektrik üretim üniteleri ifadesiyle tanımlanan Yüzer GES'ler kurulum alanı açısından dünya geneline kıyasla daha dar bir kapsamda ele alınmış, mevzuatta yer alan bu haliyle YFV sistemler, ülkemizde rezervuarlı veya regülatörlü hidroelektrik santrallerin santral sahası içerisindeki su yüzeyleri ile kısıtlanmıştır.

→ Hidroelektrik santrallerin santral sahası içerisinde kalan su yüzeylerine YGES'lerin kurulumu iki şekilde gerçekleştirilecektir. Bunlardan biri hibrit sistemler için yeni başvuru yapılması iken bir diğeri mevcut önlisans/lisansın tadil edilmesi işlemidir. İşletmesi EÜAŞ'a ait ve kamu mülkiyetinde olan 47 adet hidroelektrik santralin sahasına mevcut sisteme entegre olacak yeni üretim tesisinin kurulmasına ilişkin lisans tadilinin gerçekleştirilip gerçekleştirilemeyeceği hususu netlik kazanamamıştır.

→ 4 sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi'nde yer verilen "...baraj, gölet ve kanal gibi su yüzeyleri..." üzerine kurulacak güneş enerjisi sistemlerinin bedeli karşılığında kiralanmasına ilişkin DSİ'ye yetki verilirken, EPLY'de "...Yüzer GES'ler veya hidroelektrik kaynaklara dayalı tesislerin kanal yüzeylerinde veya rezervuar alanında azami su kotuyla işletme kotu arasında kalan yerlerde..." kurulacak güneş enerjisi sistemleri için DSİ ile kiralama sözleşmesi yapılması gerektiği bildirilmiştir. Bu hükümlere ilişkin kullanılan ifadelerden de anlaşılacağı üzere EPDK, kanal yüzeyine kurulacak güneş enerjisi sistemini, kurulumun su yüzeyine yapılmayacak olması sebebiyle yüzer GES olarak değerlendirmemiştir. Ancak yinede bu alanlarda yapılacak YFV sistemlerin kurulumu için kiralama sözleşmesi yapılması şart koşulmuştur.

Tez konusu YFV sistemlerin ülkemizde uygulanabilirliği hususunda yapılan değerlendirmelere ilişkin öneriler aşağıdaki şekildedir:

◆ Ülkemiz sahip olduğu coğrafi konumu itibariyle su kaynakları bakımından zengin ülkeler arasında olmasına rağmen, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de su kaynağı kaybı yaşanmakta ve kişi başına düşen 1.346 m³ yıllık su miktarı ile su azlığı yaşayan ülkeler arasında yer almaktadır. Tüm dünyada enerji arzında çeşitlilik sağlamanın yanı sıra buharlaşma sebebiyle su kaybının engellenmesi amacıyla da kullanılan YFV sistemlerin ülkemizde de kurulum alanlarının genişletilmesi gerekir. Türkiye sahip olduğu doğal göller, sulama veya içme suyu amaçlı barajlar ile YFV sistemlerin kurulumu için daha yüksek potansiyele sahip olabilecek bir konumdadır. Ülkemizin doğal göllerinin, sulama veya içme suyu amaçlı barajlarının su yüzeylerine ampirik bir oran olan %1 ile kurulum gerçekleşmesi durumunda bile yapılan hesaplamalara göre yaklaşık olarak 18.000 MW kapasitesinde kurulum gerçekleştirilebilecektir. Bu bakımdan ülkemizde YFV sistemlerin halihazırda var olan kurulum potansiyelinin değerlendirilmesi için güneş enerjisine dayalı elektrik üretim

sistemleri için öncelikle *EPLY*’de yasal düzenlemeler yapılarak arazi ve çatı üstü kurulumları yapılan bu sistemlerin, ülkemizde bulunan doğal göller, göletler, sulama veya içme suyu amaçlı barajlar, su arıtma tesisleri gibi su yüzeylerine de kurulumunun yapılabilmesi sağlanmalıdır. Yüzer FV sistemlerin kurulması halinde hibrit nitelik taşımayacak olan bahse konu su yapıları için, güneş enerjisi sistemlerinin kurulmasında *EPK*’nın 7’nci maddesinin dördüncü fıkrasında belirtilen yarışma ve ölçüm şartları aranmayabilir, söz konusu alanlar için dünya uygulamalarında yer alan örnekler gibi ihale yoluyla DSİ tarafından kiralama yapılabilir.

◆ İşletmesi EÜAŞ’a ait santrallerin toplam kurulu gücü, ülkenin işletmede olan hidrolik kaynaklı elektrik üretim tesislerinin toplam kurulu gücünün %44,49’unu oluşturmaktadır. Ülkemizin rezervuar alanı bakımından en büyük santralleri de yine EÜAŞ’ın bünyesindeki bu santraller olmakla birlikte, toplam 3.168,225 km² rezervuar alanı ile %75,33’lük payı oluşturmaktadır. EÜAŞ’a ait bu rezervuarlı santrallerin, rezervuar alanlarının sadece %1’ine YFV sistem kurulumu gerçekleşmesi durumunda dahi 2.880 MW kapasitesinde sistem kurulumu gerçekleşecektir. EÜAŞ’a ait santraller, 12.774,8 MW kurulu gücü ve büyüklükleri bakımından değerlendirildiğinde, *233 sayılı Kamu İktisadi Teşebbüsleri Hakkında KHK*, *399 sayılı KHK* ve *EPK*’ya dayanılarak hazırlanmış olan EÜAŞ’ın ana statüsü ile EÜAŞ’a verilen yeni tesis kurabilme yetkisinin, *6446 sayılı EPK*’da EÜAŞ’ın hak ve yükümlülüklerine ilişkin bir düzenleme yapılarak, EÜAŞ’a verilmesi ve elektrik üretimi için yeni tesis yapabilmesine olanak sağlanması gerekmektedir.

Kurulu güç kapasitesi ve rezervuar alanı büyüklükleri bakımından EÜAŞ hidroelektrik santrallerinin hibrit tesisler kapsamında ele alınabilmesi için başka bir değerlendirme yapılacak olursa; *EPLY*’de yer alan hidroelektrik santrallerin ve yardımcı kaynak olan YGES’in tek bir önlisans veya üretim lisansı kapsamında değerlendirilmesine ilişkin hükümde değişiklik yapılması gerekir. Bu değişiklik çerçevesinde; hidroelektrik santrallerin ve YFV sistemlerin tek bir önlisans/lisans kapsamında değerlendirilmemesi halinde, EÜAŞ tarafından, işletmesindeki hidroelektrik santrallere YFV sistem kurulumu yapılamasa dahi özel hukuk hükümlerine tabi tüzel kişilere imtiyaz tanınabilir ve bu kapasiteler hayata geçirilebilir.

◆ *EPLY* ile kanal yüzeyine, azami su kotu ile işletme kotu arasında kalan yerlere yapılacak güneş enerjisi kurulumları için de DSİ ile kiralama sözleşmesi yapılmasına hükmedilmiştir. Santral sahası içerisinde olan fakat su yüzeyi olarak değerlendirilmeyen alanda kurulumu yapılacak olan güneş enerjisi sistemleri için DSİ ile kiralama sözleşmesinin yapılması, söz konusu sahaya ait alan için mülkiyet durumu dikkate alındığında, uygulamada kurumlar arasında yetkiye dayalı engeller oluşturabileceği düşünülmektedir. Bu sebeple *EPLY*'de su yüzeyi olmayan alanlara kurulacak güneş enerjisi sistemleri için DSİ ile kiralama sözleşmesi yapılması şartının kaldırılması gerekmektedir.

◆ Her bir hidroelektrik santralin, üzerine tesis edildiği akarsuya veya nehre, bulunduğu konumdaki ekolojik koşullara özgü nitelikler barındırması sebebiyle TFV sistemin kurulumunda projenin; çevresel, teknik ve ekonomik olarak uygulanabilir olup olmayacağının bütünsel bir yaklaşım ile ele alınması gerekir. Bu çerçevede, hidrolik enerjiye ve güneş enerjisine dayalı bir elektrik üretim tesisinin oluşumunda alınan tüm izin, ruhsat ve onaylara ilişkin olarak ilgili kurum ve kuruluşlar tarafından çıkarılan “*Elektrik Tesisleri Proje ve Kabul Yönetmeliği*”, “*Güneş Enerjisine Dayalı Elektrik Üretimi Başvurularının Teknik Değerlendirilmesi Hakkında Yönetmelik*” ve “*Yerli Aksam Yönetmeliği*”, “*ÇED Yönetmeliği*” ve “*SKHA Yönetmeliği*” gibi ikincil mevzuatların, hidroelektrik-güneş enerjisine dayalı hibrit sistemler açısından gerçekleştirilmiş olan düzenlemelerle uyumlaştırılması gerekmektedir.

Yapılan bu çalışma neticesinde; YFV sistemlerin Türkiye’de uygulanabilirliği açısından farklı kurulum alanlarının dahil olduğu daha geniş kapsamlı bir düzenleme ve politika çerçevesi ile bu sistemlerin uygulamasında artış sağlayacağı, yenilenebilir enerji arzında çeşitlilik sağlanacağı, su kaynaklarında buharlaşmaya sebebiyle meydana gelen azalmayı engellemek için bu sistemlerin bir çözüm olarak kullanılabileceği, farklı maksatlarla oluşturulan su kütleleri için ayrılan sahalarının ekonomiye kazandırılacağı ve ülkemizin mevcut güneş enerjisi potansiyelinden daha fazla yararlanılması adına güneş enerjisi sistemleri için yatırımı teşvik etmeye yardımcı olabileceği değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

ACHARYA Mohit and DEVRAJ Sarvesh (2019), “Floating Solar Photovoltaic (FSPV): A Third Pillar to Solar PV Sector ?”, The Energy and Resources Institute (TERI). Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://www.teriin.org/sites/default/files/2020-01/floating-solar-PV-report.pdf> (Erişim Tarihi: 03 Mart 2020)

AÇIKALIN N., (2018), “Sürdürülebilir Kalkınmada Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Rolü: Türkiye ve Almanya’da Rüzgâr Enerjisi Üzerine Yasal ve Kurumsal Bir Değerlendirme”, Bursa Uludağ Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayımlanmış Doktora Tezi, Bursa

AKBAŞ AKDOĞAN D., (2018), “Yenilenebilir Enerjide Kamu Politikaları Ve Türkiye”, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayımlanmış Doktora Tezi, İstanbul

ALTUNTOP Necdet ve ERDEMİR Doğan, “Dünyada ve Türkiye’de Güneş Enerjisi ile İlgili Gelişmeler” Mühendis ve Makina, 2013, Cilt 54, S: 639, 69-77

ANTARA News. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://en.antaranews.com/news/139580/abu-dhabi-based-firm-to-invest-in-cirata-solar-plant-construction> (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)

Balkan Green Energy, News. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://balkangreenenergynews.com/norways-statkraft-seeks-to-build-floating-solar-power-plant-in-albania/> (Erişim Tarihi: 09 Nisan 2020)

CEBECİ S., (2017), “Türkiye’de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretim Potansiyelinin Değerlendirilmesi”, Uzmanlık Tezi, T.C. Kalkınma Bakanlığı, Ankara

CİVAK ERDAŞ D., (2012), “Elektrik Piyasasında Tesislerin Mülkiyet Sorunları”, Uzmanlık Tezi, Ankara

ÇUKURÇAYIR M. Akif ve SAĞIR Hayriye, “Enerji Sorunu, Çevre Ve Alternatif Enerji Kaynakları”, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 2008, Sayı 20, 257-

278. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <http://dergisosyalbil.selcuk.edu.tr/susbed/article/view/367/349> (Erişim Tarihi: 15 Aralık 2019)

DAŞTAN D., (2008), “Enerji Piyasalarında Yeni Bir Oluşum Güney Doğu Avrupa Enerji Topluluğu”, Uzmanlık Tezi, Ankara

DAŞTAN D., (2010), “Elektrik Piyasasında Üretim Lisanslarının Hukuki Rejimi”, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara

DEMİR Ş., (2012), “Güneş Enerjisinden Elektrik Üretim Sistemlerinin İncelenmesi ve 5346 sayılı Kanun’da Yapılan Düzenleme Sonrasında Türkiye’de Güneş Enerjisi Yatırımlarının Ekonomik Analizi”, Uzmanlık Tezi, Ankara

DSİ, “2019 Yılı Faaliyet Raporu”. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: http://strateji.dsi.gov.tr/duyurular/2020/03/20/dsi-2019-y%C4%B1%C4%B1-faaliyet-raporu_yay%C4%B1mlanm%C4%B1%C5%9Ft%C4%B1r- (Erişim Tarihi: 29 Aralık 2019)

DSİ, İstatistik. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <http://www.dsi.gov.tr/dsi-resmi-istatistikler/resmi-i-statistikler-2018/2018-y%C4%B1%C4%B1-verileri> (Erişim Tarihi: 22 Nisan 2020)

EAST ASIA FORUM, Japan. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://www.eastasiaforum.org/2018/05/10/recharging-japans-energy-policy/> (Erişim Tarihi: 13 Nisan 2020)

EDP, Alto Rabagão. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://portugal.edp.com/en/alto-rabagao-hydro-power-plant> (Erişim Tarihi: 03 Nisan 2020)

EİGM, Biyokütle. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Biyokutle> (Erişim Tarihi: 29 Aralık 2019)

Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT), Sirindhorn Barajı. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://www.egat.co.th/en/news-announcement/web-articles/egat-s-first-floating-solar-project-at-sirindhorn-dam-combining-hydropower-and-solar-power-is-the-largest-hybrid-power-generation-in-the-world> (Erişim Tarihi:12 Nisan 2020)

Elektrikport, Açık Denizde GES. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://www.elektrikport.com/makale-detay/acik-deniz-gunes-enerji-tesisi-kurulacak/21457#ad-image-0> (Erişim Tarihi:08 Mart 2020)

ENERGYSGE, Solar Massachusetts Renewable Target. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://news.energysage.com/solar-massachusetts-renewable-target-smart-massachusetts-srec-replacement-program/> (Erişim Tarihi: 13 Nisan 2020)

Enerji Günlüğü, Kanal Üstü GES. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://www.enerjigunlugu.net/sunedisondan-hindistana-kanal-ustu-ges-14235h.htm> (Erişim Tarihi:08 Mart 2020)

EPDK, Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, “Aylık Sektör Raporu”, Ankara 2020. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-23-3/elektrikaylik-sektor-raporlar> (Erişim Tarihi: 06 Mart 2020)

EPDK, Elektrik Piyasasında Önlisans veya Üretim Lisansı Verilecek Tesislerin Santral Sahalarının Belirlenmesine İlişkin Usul ve Esaslar. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/4-8134/elektrik-piyasasinda-onlisans-veya-lisanslara-kon> (Erişim Tarihi: 21 Mayıs 2020)

EPDK, Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, “Elektrik Piyasası 2019 Yılı Piyasa Gelişim Raporu”, Ankara 2020. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-24/elektrikyillik-sektor-raporu> (Erişim Tarihi: 20 Ocak 2020)

EPDK, Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, “Elektrik Piyasası Sektör Raporu”, Ankara 2020. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-23/elektrikaylik-sektor-raporlar> (Erişim Tarihi: 20 Eylül 2020)

EÜAŞ Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı Stratejik Planlama Müdürlüğü, “Elektrik Üretimi ve Ticareti Sektör Raporu”, Ankara 2018

Güneş Enerjisi Sistemleri Dergisi, YEKDEM. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://www.gesdergisi.com/yekdem-tesvik-miktari-38-milyar-lirayi-asti/> (Erişim Tarihi: 1 Mayıs 2020)

Hydro’s Digital Generation, Transforming For The Future Of Hydropower. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: https://www.accenture.com/_acnmedia/PDF-121/Accenture-Hydro-Digital-Generation-USLdig.pdf (Erişim Tarihi: 10 Nisan 2020)

IEA, Malaysia. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/NSR_Malaysia_2018.pdf (Erişim Tarihi: 13 Nisan 2020)

India Times, 600 MW solar project at Koyna dam in Maharashtra. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://economictimes.indiatimes.com/industry/energy/power/nhpc-plans-600-mw-solar-project-atkoyna-dam-in-maharashtra/articleshow/52925466.cms?from=mdr> (Erişim Tarihi: 07 Nisan 2020)

International Hydropower Association (IHA), “2019 Report”, World Hydropower Congress. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://www.hydropower.org/our-vision> (Erişim Tarihi: 23 Nisan 2020)

International Hydropower Association, Longyangxia_Dam. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://www.hydropower.org/blog/case-study-solar-pv%E2%80%93hybrid-system-at-longyangxia-china> (Erişim Tarihi: 02 Nisan 2020)

IRENA, Future Of Solar Photovoltaic, 2019. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://www.irena.org/publications/2019/Nov/Future-of-Solar-Photovoltaic> (Erişim Tarihi: 01 Mart 2020)

İSKİ, Büyükçekmece Gölü Yüzer GES Projesi. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <http://www.iski.istanbul/web/tr-TR/kurumsal/haberler1/haberler-detay/turkiyenin-ilk-yuzer-gesi-devreye-alindi> (Erişim tarihi: 23 Nisan 2020)

İstanbul Enerji A.Ş., Büyükçekmece Gölü Yüzer GES Projesi. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://www.enerji.istanbul/gunes-enerjisi/> (Erişim tarihi: 23 Nisan 2020)

KALELİ Kutay, “Türkiye’de PV Sektörünün Gelişimi “, (Basılmamış Bildiri Metni), Fotovoltaik Çalıştay (dzl. GÜNDER), Ankara 2017, Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://www.fmo.org.tr/wp-content/uploads/2017/10/kutay-kaleli-3-pv-calistayi.pdf> (Erişim Tarihi: 28 Şubat 2020)

KARAGÖL Erdal Tanas KARAGÖL ve KAVAZ İsmail, “Dünyada ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji”, SETA Siyaset, Ekonomi ve Toplum Araştırmaları Vakfı, 2017, S:197. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://setav.org/assets/uploads/2017/04/YenilenebilirEnerji.pdf> (Erişim Tarihi: 23 Kasım 2019)

KILIÇ Fatma Ç., “ Güneş Enerjisi, Türkiye’deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri”, Mühendis ve Makina, 2015, Cilt No. (56), S. 28-40

KORKMAZ M.S., (2015), “Buharlaştırma Kayıplarının Yüzer Fotovoltaik Paneller İle Azaltılması”, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul

KURUCU A.A., (2015), “Yeşil Enerji: Türkiye’nin Potansiyelinin ve Uygulamalarının Avrupa’dan Örneklerle Karşılaştırılması”, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, Yayınlanmış Doktora Tezi, Ankara

Massachusetts, Solar Massachusetts Renewable Target (SMART) Program. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://www.mass.gov/info-details/solar-massachusetts-renewable-target-smart-program#general-information-> (Erişim Tarihi: 13 Nisan 2020)

MAUÉS Jair Arone (2019), “Floating Solar PV- Hydroelectric Power Plants in Brazil: Energy Storage Solution with Great Application Potential”, Int. J. of Energy Prod. & Mgmt., Vol. 4, 40–52. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: https://www.researchgate.net/publication/334529099_Floating_solar_PVhydroelectric_power_plants_in_Brazil_Energy_storage_solution_with_great_application_potential (Erişim Tarihi: 25 Nisan 2020)

MTA, Jeotermal. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/kutuphane/ekonomi-bultenleri/2013_15/1.pdf (Erişim Tarihi: 29 Aralık 2019)

National Geographic, Ocean. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/ocean/> (Erişim Tarihi: 24 Eylül 2020)

Ocean Sun, Ocean Sun Şirketinin Uyguladığı YFV Sistem Örneği. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://oceansun.no/gallery/> (Erişim Tarihi: 09 Nisan 2020)

Oceans of Energy, Offshore Floating Solar. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://oceansofenergy.blue/2019/12/11/a-worlds-first-offshore-floating-solar-farm-installed-at-the-dutch-north-sea/> (Erişim Tarihi: 08 Mart 2020)

ÖZTÜRK H.Hüseyin, “Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Yöntemle Elektrik Üretiminde Güç Dönüşüm Verimi ve Etkili Etmenler”, V. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi Bildirileri, 2017. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: http://www.emo.org.tr/ekler/3a921ffad054cb0_ek.pdf (Erişim Tarihi: 28 Şubat 2020)

Petrotürk, Yenilenebilir. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <http://petroturk.com/yenilenebilir/cati-tipi-geslerde-amortisman-suresi-2-yila-dusebilir> (Erişim Tarihi: 08 Mart 2020)

PV Magazine, India. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://www.pv-magazine-india.com/2019/08/07/uttar-pradesh-cabinet-clears-150-mw-floating-solar-plant-over-rihand-dam/> (Erişim Tarihi: 07 Nisan 2020)

PV Magazine, Vietnamese. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://www.pv-magazine.com/2019/10/02/vietnamese-hydropower-company-secures-financing-for-47-mw-floating-pv-project/> (Erişim Tarihi:12 Nisan 2020)

REN21, “Renewables 2019 Global Status Report”, 2019. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://www.ren21.net/gsr-2019/> (25 şubat 2020)

Renewables Now, Thai Utility Plans Building 2.7-GW Floating PV Farm. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://renewablesnow.com/news/thai-utility-plans-building-27-gw-floating-pv-farm-report-645486/> (Erişim Tarihi:12 Nisan 2020)

SOLARIST, Güneş Enerjisi Kurulu Gücü. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://www.solar.ist/gunes-enerjisinde-kurulu-guc-54-gwye-ulasti/> (Erişim Tarihi: 08 Mart 2020)

STATKRAFT, A Floating Photovoltaic Plant of 2 MW Capacity on banja HPP reservoir. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://www.statkraft.al/en/news/2018/2-mw-floating-solar-project-proposal-in-banja-reservoir-accepted-by-albanian-authorities/> (Erişim Tarihi: 09 Nisan 2020)

Strateji ve Bütçe Başkanlığı, Dördüncü Beş Yıllık Kalkınma Planı. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: http://www.sbb.gov.tr/wpcontent/uploads/2018/10/Dorduncu_Bes_Yillik_Kalkinma_Plani-1979-1983.pdf (Erişim Tarihi: 11 şubat 2020)

şENÇİÇEK H., (2017), “Yüzer ve Arazi Kurulumu Fotovoltaik Sistemlerin Teknik ve Ekonomik Açıdan İncelenmesi”, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul

T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı, Dördüncü Beş Yıllık Kalkınma Planı. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: https://sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2018/10/Dorduncu_Bes_Yillik_Kalkinma_Plani-1979-1983.pdf (Erişim Tarihi: 11 şubat 2020)

T.C. Dışışleri Bakanlığı, Paris Anlaşması. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <http://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa> (Erişim Tarihi: 15 Aralık 2019)

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, İklim Değişikliği ve Uluslararası Müzakereler. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Iklim-Degisikligi-ve-Uluslararası-Muzakereler> (Erişim Tarihi: 25 Kasım 2019)

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Rüzgar. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Ruzgar> (Erişim Tarihi: 29 Aralık 2019)

T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, “Güneş Panel Sistemlerinin Kurulumu”, Güneş Enerjisi Kurulum, Bakım ve Onarım, Konya, 2016. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://docplayer.biz.tr/113570838-T-c-milli-egitim-bakanligi-gunes-enerjisi-kurulum-bakim-ve-onarim-gunes-panel-sisteminin-kurulumu.html> (Erişim Tarihi: 08 Mart 2020)

T.C. Resmi Gazete, “Çeşitli İlanlar”, 11 Ağustos 2011. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://www.resmigazete.gov.tr/ilanlar/eskiilanlar/2011/08/20110811-4.htm#%C3%A707> (Erişim Tarihi: 07 Mart 2020)

TAIYANGNEWS, TAIWAN. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <http://taiyangnews.info/markets/lowered-solar-fit-rates-come-into-effect-in-taiwan/> (Erişim Tarihi: 13 Nisan 2020)

TEİAŞ, 2019 Aralık Kurulu Güç Raporu. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/kurulu-guc-raporlari> (Erişim Tarihi: 22 Ocak 2020)

TEİAŞ, Elektrik Üretim İletim İstatistikleri. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri> (Erişim Tarihi: 28 Nisan 2020)

TEİAŞ, Nisan 2020 İşletmedeki Santrallere Ait Kurulu Güç Verileri. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/kurulu-guc-raporlari> (Erişim Tarihi: 24 Mayıs 2020)

TEİAŞ, Türkiye Yenilenebilir Kaynaklardan Elektrik Enerjisi Üretimi. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://www.teias.gov.tr/tr/iii-elektrik-enerjisi-uretimi-tuketimi-kayiplar-1> (Erişim Tarihi: 28 Aralık 2019)

Temiz Yaratıcı Teknolojiler, Hydrosolar Azmak. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://www.tyt.com.tr/hydrosolar> (Erişim tarihi: 23 Nisan 2020)

The International Hydropower Association (IHA), Alto Rabagão. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: https://www.hydropower.org/sites/default/files/publicationsdocs/case_study_a_hybrid_hydropower_and_floating_pv_system_in_portugal.pdf (Erişim Tarihi: 03 Nisan 2020)

The National Renewable Energy Laboratory, FV Verimleri. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html> (Erişim Tarihi: 29 Şubat 2020)

TRAPANI Kim, REDÓN Miguel, (2015), A review of floating photovoltaic installations: 2007 2013, Progress in Photovoltaics, 23(4),524-532. . Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/80704/FLOAT_REVIEW.pdf?sequence=2 (Erişim Tarihi: 16 Nisan 2020)

Türkiye Elektromekanik Sanayi A.Ş., Hidroelektrik. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://www.temsan.gov.tr/Sayfa/hidroelektrik/36> (Erişim Tarihi: 29 Aralık 2019)

ULUSOY Ali D., Yeni Türk İdare Hukuku, Yetkin Yayınları, Ankara 2019

VARINCA Kamil B. ve GÖNÜLLÜ M. Talha, “Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma”, UGHEK’2006: I. Ulusal Güneş Ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, Eskişehir ESOGÜ, 21-23 Haziran 2006

World Bank Group, ESMAP and SERIS, “Where Sun Meets Water”, Floating Solar Market Report, Washington, 2019. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: https://esmap.org/where_sun_meets_water_floating_solar_market_report (Erişim Tarihi: 01 Mart 2020)

YapıKredi Leasing, “En Önemli Engellerden Biri Teknolojik Arka Plan Eksiklikleri”, Gündergi (2014):6. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://gunder.org.tr/wp-content/uploads/Gundergi-Sayi-6.pdf> (Erişim Tarihi: 24 Mayıs 2020)

YEGM, Güneş Enerjisi. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx (Erişim Tarihi: 09 Şubat 2020)

YEREBAKAN Metin, Güneş Kollektörü Uygulamaları, İstanbul Ticaret Odası Yayınları, İstanbul 2010

YETKİNER Erkan, “ Kamuya Ait Elektrik Üretim Tesislerinin İşletme Hakkının Özel Sektör Şirketlerine Devrinin Vergi Kanunları Karşısındaki Durumu”, Denge Akademi Dergisi, 2005. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <http://www.dengeakademi.com/Files/Article/Erkan2005KamuyaAit.pdf> (Erişim Tarihi: 27 Mayıs 2020)

YILDIZ Dursun, “HidroEnerji Raporu”, YEKDEM’e Kayıtlı HES’lerin Üretim Verimliliği, 2019. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://www.enerjiportali.com/wp-content/uploads/2019/07/YEKDEMe-Kay%C4%B1tl%C4%B1-HESlerin-%C3%9Cretim-Verimlili%C4%9Fi.pdf> (Erişim Tarihi: 20 Nisan 2020)

YILMAZ Mutlu, “Türkiye’nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi”, Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, Yıl: 2012, Sayı 4(2), 33-54. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/564995> (Erişim Tarihi: 29 Aralık 2019)

YILMAZ Olcay ve HOTUNLUOĞLU Hakan, “Yenilenebilir Enerjiye Yönelik Teşvikler ve Türkiye”, Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Yıl: 2015,

Sayı: 2, 74-97. Belirtilen internet sitesinden alınmıştır:
<https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/166364> (Erişim Tarihi:1 Ocak 2020)