

**TÜRKİYE'DE KURULU OLAN HİDROELEKTRİK
SANTRALİ PROJELERİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Berna CANDAR



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE'DE KURULU OLAN HİDROELEKTRİK SANTRALİ
PROJELERİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Berna CANDAR
0000-0002-0975-1420

Prof. Dr. Güray SALİHOĞLU
0000-0003-0714-048X
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2022
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Berna CANDAR tarafından hazırlanan “TÜRKİYE’DE KURULU OLAN HİDROELEKTRİK SANTRALİ PROJELERİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Güray SALİHOĞLU

- Başkan** : Prof. Dr. Güray SALİHOĞLU İmza
0000-0003-0714-048X
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
- Üye** : Prof. Dr. N. Kâmil SALİHOĞLU İmza
0000-0002-7730-776X
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
- Üye** : Dr. Öğr. Üyesi Aşkın BİRGÜL İmza
0000-0002-7718-0340
Bursa Teknik Üniversitesi,
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü

.././.....

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

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

beyan ederim.

28/07/2022

Berna CANDAR

TEZ YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezin/raporun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma izni Bursa Uludağ Üniversitesi'ne aittir. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları ile tezin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları tarafımıza ait olacaktır. Tezde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederiz.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında, yönerge tarafından belirtilen kısıtlamalar olmadığı takdirde tezin YÖK Ulusal Tez Merkezi / B.U.Ü. Kütüphanesi Açık Erişim Sistemi ve üye olunan diğer veri tabanlarının (Proquest veri tabanı gibi) erişimine açılması uygundur.

Prof. Dr. Güray SALİHOĞLU
Tarih

Berna CANDAR
Tarih

İmza

Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum
anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.

İmza

Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum
anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TÜRKİYE’DE KURULU OLAN HİDROELEKTRİK SANTRALİ PROJELERİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Berna CANDAR

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Güray SALİHOĞLU

Bu çalışmada Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları içinde en büyük paya sahip olan hidroelektrik enerji potansiyelinin çevresel açıdan gerçekleşme durumu analiz edilmiş, yağışlarda yaşanan rejim bozukluğunun kurulu güç ve enerji üretimine etkisi incelenmiştir. 2020 yılı itibari ile işletmede olan hidroelektrik enerji santrali (HES) sayısı 714 ve yenilenebilir enerji kaynakları içerisindeki hidroelektrik enerji payı ise %60,24’tür. HES sayısındaki artışa bağlı olarak toplam kurulu gücünde de artış meydana gelmiştir. 1924-2020 yılları arasında HES’lerin toplam enerji üretimindeki payının korunmasına rağmen enerji üretiminde düzensizlikler meydana gelmiştir. İklim değişikliği ve artan sıcaklıkların etkisi ile yağışların düzensizleşmesinin HES yoluyla enerji üretimi üzerinde olumsuz etki oluşturduğu görülmektedir. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması’na kayıtlı HES’lerin 2014 ve 2019 yılları arasındaki enerji üretim miktarına bakıldığında, lisansa derç edilen yıllık üretimlerinin altında kaldığı tespit edilmiştir. İklim değişikliği nedeniyle Türkiye’nin su krizi yaşayacak ülkeler arasında rapor edildiği, yağış rejimindeki düzensizliklerin artacağı göz önünde bulundurulduğunda kurulu HES’lerin enerji üretimlerinde beklenen verimlerin elde edilemeyeceği, bu nedenle Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarında HES’lerin payını artırmak yerine güneş ve rüzgâr gibi diğer kaynaklara yatırım yapılmasının yerinde olacağı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hidroelektrik Enerji, İklim Değişikliği, Çevresel Etki

ABSTRACT

MSc Thesis

EVALUATION OF THE ENVIRONMENTAL IMPACTS OF HYDROELECTRIC POWER PLANT PROJECTS INSTALLED IN TURKEY

Berna CANDAR

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

Supervisor: Prof. Dr. Güray SALİHOĞLU

In this study, the environmental realization of the hydroelectric energy potential in Turkey was analyzed, and the effects of climate change and the regime disruption experienced in precipitation on the installed power and energy production were examined. As of 2020, the number of hydroelectric power plants (HEPPs) in operation is 714 and the share of hydroelectric energy in renewable energy sources is 60.24%. Depending on the increase in the number of Hydroelectric Power Plants, there has been an increase in the total installed power. Between 1924 and 2020, although the share of Hydroelectric Power Plants in total energy production was preserved, irregularities occurred in energy production. Irregular rainfall due to climate change and increasing temperatures has had a negative impact on Hydroelectric Power Plants. When the energy production amount of the Hydroelectric Power Plants registered to the Renewable Energy Resources Support Mechanism between 2014 and 2019 is examined, it has been determined that the annual production included in the license is below. As a result of the inability to produce the desired energy, it was concluded that Hydroelectric Power Plants were built above the environmental carrying capacity and the desired efficiency in energy production could not be achieved against the possibility of drought due to climate change.

Key words: Hydroelectric Power, Climate Change, Environmental Impact

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen, şefkat ve sabırla bana yol çizen, zorlandığım her anımda hoşgörü ve anlayışımı benden eksik etmeyen, bugüne kadar kendisinden çok şey öğrendiğim değerli tez danışmanım Prof. Dr. Güray SALİHOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Birlikte çıktığımız bu yolda sevgisi ve desteği ile her zaman yanımda olan, tanıdığım günden itibaren hep örnek aldığım, yüksek lisans eğitimim boyunca büyük bir sabır gösteren çok kıymetli eşim Onur CANDAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Varlıklarıyla güç bulduğum, hayatım boyunca arkamda olduklarını bildiğim, desteklerini her zaman hissettiğim canım annem Nazife TUNCA'ya, babam Zeynel USLULAR'a, kardeşim Onur USLULAR'a ve tüm aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimimin her aşamasında sabır gösterip destek veren, eşim sayesinde tanıdığım ikinci aileme teşekkürlerimi sunarım.

Berna CANDAR
28/07/2022

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Hidroelektrik Enerji Araştırmaları.....	3
2.2. Hidroelektrik Enerji Santralleri ile Enerji Üretimi.....	6
2.3. Hidroelektrik Enerji Santralleri Sınıflandırılması.....	8
2.3.1. Düşülerine göre.....	8
2.3.2. Ürettikleri enerjinin özellik ve değerine göre.....	8
2.3.3. Kapasitelerine göre.....	8
2.3.4. Yapılışlarına göre.....	9
2.3.5. Üzerine kuruldukları suyun özelliklerine göre.....	9
2.4. HES’lerde kullanılan türbin çeşitleri.....	11
2.4.1. Türbin seçim kriterleri.....	12
2.4.2. Pelton türbini.....	12
2.4.3. Francis türbini.....	13
2.4.4. Kaplan türbini.....	14
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	15
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	18
4.1. Türkiye’nin Su Kaynakları.....	18
4.2. Türkiye Akarsu Havzaları.....	18
4.2.1. Meriç-Ergene havzası.....	22
4.2.2. Marmara havzası.....	22
4.2.3. Susurluk havzası.....	23
4.2.4. Kuzey Ege havzası.....	23
4.2.5. Gediz havzası.....	23
4.2.6. Küçük Menderes havzası.....	24
4.2.7. Büyük Menderes havzası.....	24
4.2.8. Batı Akdeniz havzası.....	24
4.2.9. Antalya havzası.....	25
4.2.10. Seyhan havzası.....	25
4.2.11. Ceyhan havzası.....	25
4.2.12. Asi havzası.....	25
4.2.13. Fırat ve Dicle havzaları.....	25
4.2.14. Konya kapalı havzası.....	26
4.2.15. Doğu Karadeniz havzası.....	26
4.2.16. Çoruh havzası.....	26
4.2.17. Yeşilirmak havzası.....	26
4.2.18. Kızılırmak havzası.....	27
4.2.19. Batı Karadeniz havzası.....	27

4.2.20. Sakarya havzası.....	27
4.2.21. Van gölü kapalı havzası	27
4.2.22. Aras havzası	28
4.2.23. Burdur kapalı havzası.....	28
4.2.24. Akarçay havzası	28
4.2.25. Doğu Akdeniz havzası	28
4.3. Türkiye’deki Hidroelektrik Enerji Santrallerinin Tarihsel Gelişimi.....	28
4.4. HES Mevzuatı	30
4.4.1. HES ile lisanslı elektrik enerjisi üretimi	30
4.4.2. HES ile lisanssız elektrik enerjisi üretimi	31
4.5. Hidroelektrik Enerji Santralleri Yer Seçim Kriterleri.....	31
4.6. Dünya’da Hidroelektrik Enerji Gelişimi	32
4.7. Türkiye’nin Hidroelektrik Enerji Potansiyeli ve Gelişimi	33
4.8. İklim Değişikliğinin HES’ler Üzerine Etkileri	48
4.9. Hidroelektrik Enerji Santralleri Çevresel ve Sosyal Etkileri	55
4.9.1. İnşaat döneminde meydana gelen çevresel ve sosyal etkiler	55
4.9.2. İşletme dönemi içerisinde meydana gelen çevresel ve sosyal etkiler	56
4.9.3. Kapatma dönemi içerisinde meydana gelen çevresel ve sosyal etkiler.....	57
4.10. Türkiye’de HES’ler İçin ÇED Süreci	57
4.10.1. ÇED nedir?.....	57
4.10.2. HES’ler için ÇED ve Seçme, Eleme Kriterleri uygulama yöntemi	58
5. SONUÇ	62
5.1 SWOT Analizi.....	64
KAYNAKLAR	65

KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar	Açıklama
ÇED	Çevresel Etki Değerlendirmesi
DSİ	Devlet Su İşleri
HES	Hidroelektrik Enerji Santrali
HKT	Halkın Katılımı Toplantısı
İDK	İnceleme Değerlendirme Komisyonu
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
TEİAŞ	Türkiye elektrik İletim Anonim Şirketi
YEKDEM	Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Destekleme Mekanizması

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa
Şekil 1.	Hidroelektrik Enerji Santrali Kesiti.....	7
Şekil 2.	Nehir tipi hidroelektrik enerji santralinin şematik görünümü (Yılmaz ve ark, 2012).....	10
Şekil 3.	Pelton Türbini Şeması (Yolcubal, 2011).....	13
Şekil 4.	Francis Türbini Şeması (BTÜ, 2010).....	13
Şekil 5.	Kaplan Türbini.....	14
Şekil 6.	Türkiye Su Havzaları Haritası (DSİ, 2021).....	19
Şekil 7.	Yıllara Göre Dünya’da Üretilen Hidroelektrik Enerjisi (TWh).....	33
Şekil 8.	2020 Yılı Türkiye Elektrik Enerjisi Üretimine Kaynaklara Göre Dağılımı.....	34
Şekil 9.	2020 Yılı Yenilenebilir Enerji İçindeki HES Payı.....	34
Şekil 10.	1924-2020 Yılları Arasında Türkiye Geneli İl Bazında İnşa Edilen HES Sayıları.....	36
Şekil 11.	1924-2020 Yılları Arasında Türkiye Geneli İl Bazında İnşa Edilen HES’lerin Kurulu Güçleri (MW).....	37
Şekil 12.	1924-2020 Yılları Arasında Türkiye Geneli İl Bazında İnşa Edilen HES’lerin Ortalama Enerji Üretimleri (GWh/Yıl).....	38
Şekil 13.	1924-2020 Yılları Arasında Türkiye Geneli İl Bazında DSİ ve Özel Sektör Tarafından İnşa Edilen HES Sayıları.....	40
Şekil 14.	1924-2020 Yılları Arasında Türkiye Geneli İl Bazında DSİ ve Özel Sektör Tarafından İnşa Edilen HES’lerin Kurulu Güçleri (MW).....	41
Şekil 15.	1924-2020 Yılları Arasında Türkiye Geneli İl Bazında DSİ ve Özel Sektör Tarafından İnşa Edilen HES’lerin Ortalama Enerji Üretimleri (GWh/Yıl).....	42
Şekil 16.	1924-2020 Yılları Arasında Türkiye Geneli Bölge Bazında İnşa Edilen HES Sayıları.....	43
Şekil 17.	Bölgelere Göre Kurulu Güç (MW) ve Yıllık Ortalama Enerji Üretimi (GWh/Yıl).....	44
Şekil 18.	Yıllara Göre Toplam Kurulu Gücü ve Hidroelektrik Enerji Santrali Kurulu Gücü (MW).....	45
Şekil 19.	Türkiye’deki Hidroelektrik Enerji Santrallerinin Yıllara Göre Elektrik Üretimi.....	46
Şekil 20.	Yıllık Ortalama Toplam Sıcaklık Değerleri.....	49
Şekil 21.	Yıllık Ortalama Toplam Yağış Miktarı.....	50
Şekil 22.	1970-2021 Yılları Arasındaki Yağış Miktarları ve Standart Sapmaları.....	51
Şekil 23.	1970 ve 2020 Yılı Yağış Verileri.....	52
Şekil 24.	1970 ve 2020 Yılları Arasında Aylık Yağış Verileri.....	53
Şekil 25.	Derç Edilen ile Gerçekleştirilen Yıllık Elektrik Üretim Miktarları.....	54

Şekil 26.	2019 Yılı Derç Edilen ile Gerçekleştirilen Yıllık Elektrik Üretim Miktarı Karadeniz-Güneydoğu Anadolu Bölgesi....	55
Şekil 27.	2012-2022 Yılları Arasında HES Projeleriyle İlgili Verilen ÇED Kararları.....	62

ÇİZELGELER DİZİNİ

		Sayfa
Çizelge 1.	1 MWh elektrik üretimi başına meydana gelen çevresel etkiler (Tefferä ve ark, 2020).....	5
Çizelge 2.	Türbin Çeşitleri (Pulat, 2009).....	12
Çizelge 3.	Havzalara Göre Yıllık Ortalama Su Potansiyeli (DSİ,2020).....	18

1. GİRİŞ

Enerji, insanlık için vazgeçilmez bir kavramdır. İnsan faaliyetlerinin devam etmesi, ekonomik ve sosyal açıdan kalkınmanın sağlanması adına hayati bir rol oynamaktadır. Nüfusta ve ekonomide yaşanan gelişmeye bağlı olarak enerji talebinde de artış meydana gelmektedir (Beyazıt, 2021). Yıllık ve Doğan (2020) yaptığı çalışmada gelişen dünyaya bağlı olarak teknolojinin ivme kazanması ve nüfus yoğunluğunun artması ile enerjiye olan ihtiyacın da aynı oranda arttığını rapor etmiştir (Yıllık ve Doğan, 2020). İnsani faaliyetlerin devam etmesi ve ekonomik kalkınma adına artan enerji talebinin karşılanması büyük önem arz etmektedir.

Enerji ihtiyacının büyük bir çoğunluğu fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Fosil yakıtların uzun yıllar sonucunda oluşması, tükenir ve yenilenemez enerji kaynağı olarak nitelendirilmesine neden olmaktadır. Fosil yakıtların, diğer enerji kaynaklarına göre daha erişilebilir olması tercih edilebilirliğini arttırmıştır. Özellikle Sanayi Devrimi ile birlikte enerjideki artışa cevap vermek adına fosil yakıtların kullanımı hızla artmıştır (Kankal ve Akçay, 2019).

Enerji gereksiniminin son yıllarda hızla artış göstermesi, temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde yapılan bilimsel araştırmaların da ivme kazanmasına neden olmuştur. Günümüzde bir enerji kaynağının varlığı tek başına yeterli değildir. Enerji kaynağının potansiyeli, çevresel etkileri, ekonomik faktörler ve devamlılığı gibi parametreler önem kazanmıştır (Sevilgen ve Kılıç, 2013).

1973 yılında çıkan petrol krizi ile fosil yakıtlara olan güven yerini güvensizliğe bırakmıştır. Bu durum sonucunda enerji temini için yeni arayışlara girilmiş, alternatif enerji kaynaklarına yönelim meydana gelmiştir. Aynı zamanda artan bilinç ile birlikte çevre öncelikli bir durum haline gelmiştir. Fosil yakıtların kullanımı sonucunda çevrede yaşanan kirliliğin küresel ölçekte olması, nispeten daha temiz sayılan yenilenebilir enerjinin ilgi görmesine neden olmuştur (Çukurçayır ve Sağır, 2008).

Doğal kaynaklardan elde edilen, tüklenmeyen ve kullanıldıkça kendini yenileyen enerjiye yenilenebilir enerji denilmektedir (Akkuş Dağdeviren, 2019). Ülkemizin coğrafi konumu, yenilenebilir enerji kaynakları açısından elverişli bir durumdadır. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en büyük payı HES'ler oluşturmaktadır (Yılmaz, 2012).

Bu çalışmada, ilk bölümde enerjinin önemi ile birlikte enerjinin temin yöntemlerinden bahsedilmiştir. Çevre bilincinin artması ile enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payının artmasına değinilmiştir. İkinci bölümde, yenilenebilir enerji kaynağı olan HES'ler ve tarihsel gelişimine yer verilmiştir. Dünya'da ve Türkiye'deki HES'lerin gelişimine dikkat çekilmiştir. HES'lerin nasıl sınıflandırıldığından, bu santrallerin inşaat, işletme ve kapatma döneminde meydana gelen çevresel etkilerden ve ÇED sürecinden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde, HES'leri içeren DSİ, MGM, TEİAŞ ve YEKDEM verileri hakkında bilgiler yer almaktadır. Çalışmanın dördüncü bölümünde ise, TEİAŞ'tan alınan enerji üretiminin kaynaklara göre dağılımı, DSİ'den elde edilen yıllara bağlı olarak HES sayıları, kurulu güç ve üretilen enerjide yaşanan değişiklikler ve iklim değişikliğine bağlı olarak yağışlarda yaşanan rejim bozukluğunun hidroelektrik enerji üretim verimine etkileri bütüncül bir bakış açısı ile değerlendirilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Hidroelektrik Enerji Araştırmaları

Hidrolik enerji, kaynağını güneşten almaktadır. Hidrolik çevrim, deniz, göl veya nehirlerdeki suların güneş enerjisi ile buharlaşması sonucunda meydana gelen su buharının yağmur veya kar halinde tekrardan yeryüzüne inmesi ve bu su kütlelerinin nehirleri beslemesi ile meydana gelmektedir. Hidrolik enerji, doğal kaynaktan meydana gelmesi ve kullanıldıkça kendini yenilemesi sebebiyle yenilenebilir enerji olarak kabul edilmektedir (Yılmaz, 2015).

Hidrolik enerji, belirli bir potansiyel enerjiye sahip suyun enerjisinin kinetik enerjiye çevrilmesi sonucunda meydana gelmektedir. Su kütlelerinin yüksek kottan düşürülmesi ile enerji üretimi gerçekleştirilmektedir. Rezervuardan alınan su, cebri boru ile türbinlere iletilmekte ve türbinlere gelen suyun jeneratörü döndürmesi sonucunda enerji eldesi gerçekleştirilmektedir. Üretilen enerjinin verimini etkileyen parametreler, santrale gelen suyun debi miktarı ve düşü yüksekliğidir (Akan, 2017). Türkiye'nin konumu gereği ortalama yüksekliği ve akarsu eğimleri fazladır (Kocabaş ve ark, 2012; Yılmaz, 2015). Bu durum ülkemizi hidroelektrik enerji potansiyeli açısından avantajlı kılmaktadır.

Ülkemizde mevcut olan yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en büyük payı hidroelektrik enerji oluşturmaktadır. DSİ 2021 yılı faaliyet raporuna göre, hidroelektrik enerji için ülkemizde teorik olarak gerçekleştirilebilir potansiyel 433 milyar kWh, teknik yapılabilir potansiyel 216 milyar kWh ve teknik olarak gerçekleştirilebilir potansiyelinin ekonomik, çevresel ve sosyal açıdan değerlendirilebilir kısmı ise 180 milyar kWh olarak belirlenmiştir (DSİ, 2021).

Hidroelektrik enerji santralleri, pik santral olarak nitelendirilmektedir. Ani enerji ihtiyaçlarına hızla cevap vermelerine rağmen, yağış rejiminden oldukça etkilenmektedir. Yıllık yağış rejimine bağlı olarak toplam üretim içindeki payı değişim göstermektedir. Yağışların ortalamanın altında olması ve rejim bozukluğu enerji üretimini olumsuz yönde etkilemektedir (Yılmaz, 2015).

Ülkemiz için önemli bir enerji potansiyeli sunan HES'lerin çeşitli çevresel ve sosyal etkileri olabilmektedir.

Dursun ve Gökcol (2010), HES'lerin yerel arazi kullanımını değiştirdiğini ve buna bağlı olarak yerleşimin yeniden şekillendiğini, karasal habitatın su altında kaldığını ve balık göçlerinin engellenebildiğini rapor etmiştir (Dursun ve Gokcol, 2010).

Baraj yapımı sırasında, baraj alanının istimlak edilmesi sebebiyle bölge halkı göç etmek zorunda kalabilmektedir. Özgen ve Karadoğan (2013) 1990'lı yıllarda baraj ve regülatör yapımı nedeniyle, Siirt'in kırsal alanlarından zorunlu göç ile bölge halkının yerinden edildiğini ve başta Siirt olmak üzere çevre illerin kent merkezlerine yaşanan göçler sonucunda sosyoekonomik ve kültürel sorunların meydana geldiğini rapor etmiştir (Özgen ve Karadoğan, 2013).

HES'lerin ekosistem üzerinde meydana getirdiği tahribat neticesinde, yaban hayvanlarının barınma, beslenme ve üreme gibi faaliyetlerini gösterememesine ve bu durum sonucunda göç etmesine neden olduğu bilinmektedir (Atmiş ve ark, 2014). Göç eden ve doğal ortamı bozulan yaban hayvanlarında uyum problemi yaşandığı görülmektedir (Alkan, 2019).

Serdar (2020), HES'lerin enerji üretimine katkısının fazla olmasının yanı sıra çevresel etkilerinin en aza indirilmesi için HES yapılacak alanlarda havza bazında planlama yapılması gerektiğini vurgulamıştır (Serdar, 2020).

Teffera ve ark. (2020) HES'lerde 1 MWh elektrik üretimi başına meydana gelen etkiler yaşam döngüsü değerlendirmesi yaklaşımı ile analiz etmiş ve sonucunda orta ölçekli HES'lerin büyük ölçekli HES'lere kıyasla daha fazla çevresel etkilerinin olduğu rapor edilmiştir (Teffera ve ark, 2020). Yapılan çalışmada elde edilen bulgular Çizelge 1.'de verilmiştir.

Çizelge 1. 1 MWh elektrik üretimi başına meydana gelen çevresel etkiler (Teffera ve ark, 2020).

Etki Kategorisi	Birim	Orta Ölçekli HES	Büyük Ölçekli HES
İklim değişikliği	kg CO ₂	62,59	30,70
Partikül madde oluşumu	kg PM10	0,85	0,12
Tarım arazisi işgali	m ²	0,18	0,04
Kentsel arazi işgali	m ²	0,46	0,20
Doğal arazi kullanımı	m ²	3,79	0,69
Su tüketimi	m ³	2992,75	1453,38

Bovo ve ark (2021) hidroelektrik enerji santrallerinin nesli tükenmekte bir kuş türü olan Brezilya Merganser *Mergus Octosetaceus*'a etkisini ele almış, bu türün HES inşaatından etkilendiğini belirtmiştir (Bovo ve ark, 2021).

HES'ler için oluşturulan bariyer veya barajın balıkların göç sürecini etkilediği belirtilmiştir. HES baraj yapıları suyun sıcaklığında ve akışında değişiklikler meydana getirmekte, suyun ve çevresinin kimyasal özelliklerini değiştirmekte ve bu nedenle ekolojik denge üzerinde olumsuz etkiler bırakabilmektedir (Rahman ve ark, 2022).

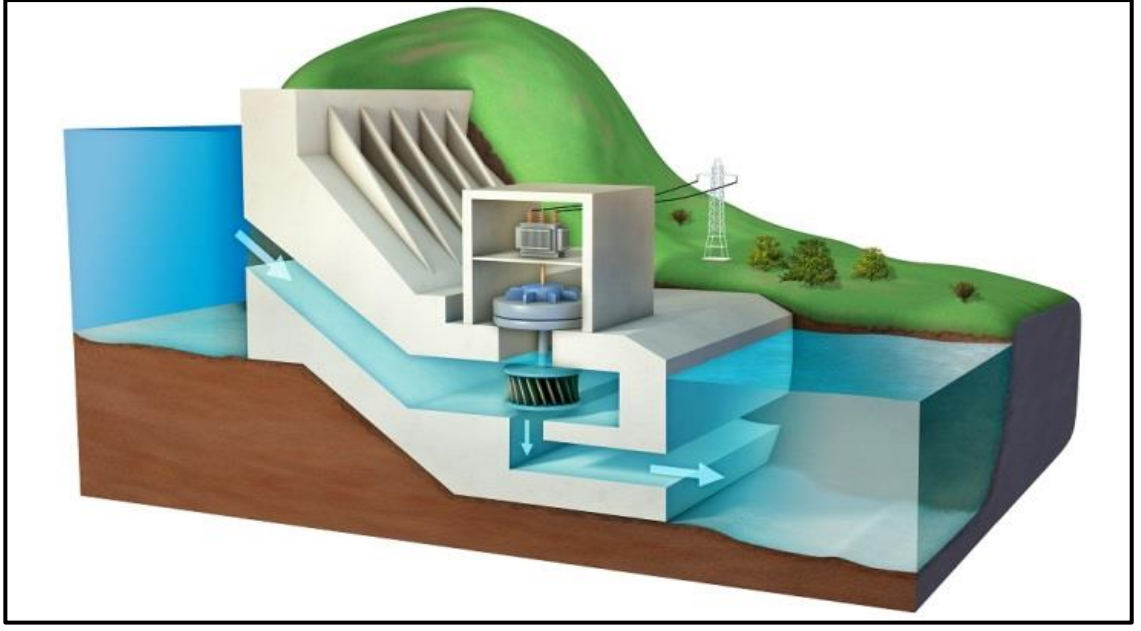
Türkiye'de bugüne kadar yapılan çeşitli çalışmalarda HES'lerin kurulu gücünden, üretilen enerjideki değişimlerden bahsedilmiştir. Ancak yazarların bilgisine göre iklim değişikliğinin ve buna bağlı olarak yağış rejimlerinde meydana gelen düzensizliklerin HES'ler üzerindeki etkileri konusunda yeterince çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada, iklim değişikliği ile meydana gelen yağışlardaki rejim bozukluğunun hidroelektrik enerji kurulu güç ve üretilen enerji üzerindeki etkilerini analiz edilmesi amaçlanmaktadır.

2.2. Hidroelektrik Enerji Santralleri ile Enerji Üretimi

Yüksek kotlu bölgelere düşen yağışlar, yüzeysel akış ile daha alt kottaki dere, ırmak ve nehirleri oluşturmaktadırlar. Yüksek kotlu nokta ile alt kotlar arasındaki fark nedeniyle suyun potansiyel enerjisi vardır (Bulu, 2011).

Hidroelektrik enerji santrallerinde, suyun belirli bir yükseklikten bırakılması ile mevcut potansiyel enerjinin kinetik enerjiye, türbinlerin çevrilmesi ve kinetik enerjinin form değiştirmesi sonucunda mekanik enerjiye, jeneratör yardımıyla da mekanik enerjinin elektrik enerjisine çevrilmesi ile enerji üretimi gerçekleştirilmektedir. HES'ler tamamen su gücü ile enerji üretimi gerçekleştirmektedir (Acar, 2008).

HES'lerde projelendirme topografik yapıya, üretilmek istenen enerji miktarına ve maliyete göre yapılmaktadır. HES'ler her projeye göre farklılık gösterse de, santral temel bazı bölümlerden oluşmaktadır. Bunlar; baraj gövdesi, su alma yapısı, su iletim hattı, santral binası, santral su bırakma hattı, şalt sahası, dip savak ve dolu savaktır. Santral planlamasına göre ihtiyaç duyulması halinde ilave yapılar yapılabilmektedir (Güney, 2017). Şekil 1.'de baraj yapılarına ait bazı kavramlar verilmiş olup aşağıda açıklanmaktadır (Güney, 2017).



Şekil 1. Hidroelektrik Enerji Santrali Kesiti

- Baraj gövdesi; suyun yükseklik kazanması amacıyla depolandığı yerdir.
- Su alma yapısı; suyun iletim hattına alınmasını sağlamaktadır.
- Su iletim hattı; suyun türbine iletilmesini sağlamaktadır. Tünel, kanal veya boru gibi çeşitli yapılarda inşa edilebilmektedir.
- Santral binası; türbinler, jeneratör ve elektrik panosu gibi elektromanyetik yapıların bulunduğu yerdir (Güney, 2017).
- Santral su bırakma hattı; türbinden geçen suyun akarsu yatağına bırakıldığı bölümdür.
- Şalt sahası; enerji iletim hattı, trafo ve transformatör gibi enerji elemanlarının bulunduğu bölümdür.
- Dip savak; barajdan kontrollü su alınmasını ve akarsu yatağına iletilmesini sağlayan yapılardır.
- Dolmuş savak; santralin en alt kotunda bulunan, genellikle taşkın sırasında ihtiyaç duyulması halinde mambadaki suyu mansaba ileten yapılardır (Güney, 2017).

2.3. Hidroelektrik Enerji Santralleri Sınıflandırılması

HES'lerin sınıflandırılması birçok yolla yapılmakta olup, aşağıda verilmiştir.

2.3.1. Düşülerine göre

- Alçak Düşülü Santraller: Düşü yüksekliğinin 15 m'den az olduğu santrallerdir. Genellikle düz araziler üzerinde yatak eğimi az, su debisinin fazla olduğu nehirler üzerine kurulmaktadır (Acar, 2008).
- Orta Düşülü Santraller: Düşü yüksekliğinin 15-50 m arasında olduğu santrallerdir. Çeşitli debilerdeki nehirler üzerine kurulabilmektedirler (Acar, 2008).
- Yüksek Düşülü Santraller: Düşü yüksekliğinin 50 m.'den fazla olan ve eğimli arazi üzerinde yer alan nehirler veya barajların üzerine kurulan santrallerdir (Acar, 2008).

2.3.2. Ürettikleri enerjinin özellik ve değerine göre

- Baz Santraller: Enerji üretiminin sürekli olduğu santrallerdir (Akdoğan, 2006).
- Pik Santraller: Enerji ihtiyacının en fazla olduğu zamanlara cevap veren santrallerdir (Akdoğan, 2006).

2.3.3. Kapasitelerine göre

- Küçük Kapasiteli Santraller: Kurulu gücü 99 kW'a kadar olan santrallerdir (Yıldız, 1992).
- Düşük Kapasiteli Santraller: Kurulu gücü 100 kW-999 kW arasında olan santrallerdir (Yıldız, 1992).
- Orta Kapasiteli Santraller: Kurulu gücü 1000 kW-9999 kW arasında olan santrallerdir (Yıldız, 1992).

- Yüksek Kapasiteli Santraller: Kurulu gücü 10000 kW ve daha fazla olan santrallerdir (Yıldız, 1992).

2.3.4. Yapılışlarına göre

- Yer Altı Santrali: Topoğrafik ve güvenlik gibi nedenlerden dolayı santralin yer altında yapıldığı tiptir (Akdoğan, 2006).
- Yarı Gömülü veya Batık Santraller: Santralin dar alanlara yapılması durumunda yarısının yer altında, diğer yarısının yer üstünde yapıldığı tiptir (Akdoğan, 2006).
- Yer Üstü Santrali: Santral binasının yer üstünde olduğu santrallerdir (Akdoğan, 2006).

2.3.5. Üzerine kuruldukları suyun özelliklerine göre

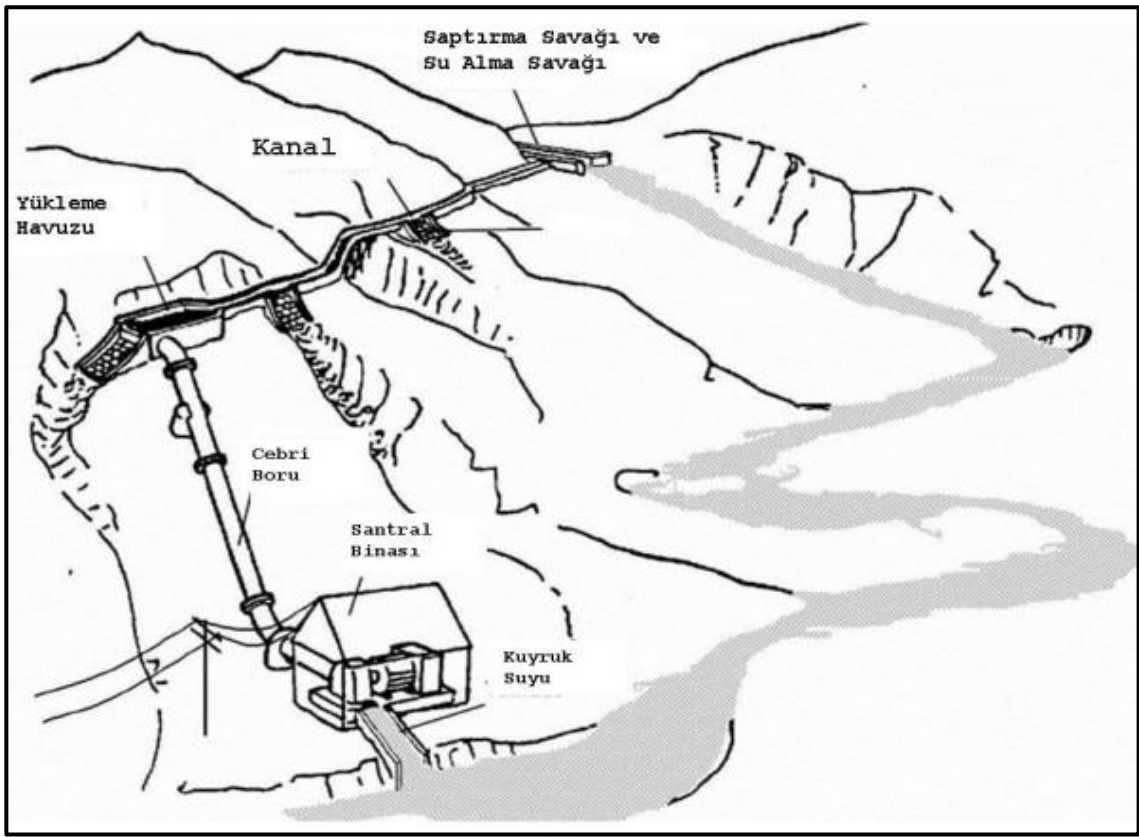
- Nehir Tipi Santraller: Düşü yüksekliğinin az, akarsu debisinin fazla olduğu durumlarda bu tip santraller inşa edilmektedir. Regülatör yapısı ile suya yükseklik kazandırılmaktadır. Su cebri boru yardımı ile santral binasına taşınıp, enerji üretimi gerçekleştirilmektedir (Acar, 2008). Santralin bütün yapıları aynı en kesit üzerine yerleştirilmektedir. Nehir genişliği yeterince elverişli değilse, en kesitte genişletme yapılmaktadır (Pulat, 2009).

Bu tip santrallerin inşa ve işletme maliyetleri düşük, projelendirme ve işletmeye alınma süreleri kısadır. Nehir tipi HES'ler de depolama yapıları olmadığı için baraj tipi HES'lere göre düşük kapasiteli tesislerdir. Nehir tipi HES'ler akarsu akımında meydana gelen değişimlerden doğrudan etkilenmektedir. Bu tip santrallerin debi değerleri çok iyi incelenmeli ve projelendirilmelidir (Berkun, 2016).

Nehir tipi HES'ler de regülatör yapısında tutulan suyun derinliği fazla değildir. Derinliğin az olması sebebiyle ötrifikasyon olayı meydana gelmektedir. Ötrifikasyon ile birlikte anaerobik çürüme meydana gelmekte, metan ve hidrojen sülfür gazları oluşmaktadır. Bu

durum suyun kalitesini düşürmekte ve ekosistemi olumsuz etkilemektedir (Berkun, 2016).

Şekil 2.'de görüldüğü üzere nehir tipi santraller; regülatör, iletim kanalı, yükleme havuzu, cebri boru, türbin, jeneratör, transformatör ve kuyruk suyu kanalı bölümlerinden oluşmaktadır. Regülatör yapısı ile kabartılan su kontrol altına alındıktan sonra kanallar ile yükleme havuzuna alınmaktadır. Cebri borular, suyu yüksek basınç ile türbine iletmekte ve enerji üretimi gerçekleştirilmektedir (Yılmaz ve ark, 2012).



Şekil 2. Nehir tipi hidroelektrik enerji santralinin şematik görünümü (Yılmaz ve ark, 2012).

- Kanal Tipi Santraller: Suyun kanal veya tünel yardımıyla türbinlere iletilmesi sonucunda enerji üretimi gerçekleştirilmektedir. Enerji üretimi için yeterli düşü yoksa su cebri borular yardımıyla uzatılarak topografya ve jeolojik yapının en uygun noktadan santrale bağlanmaktadır (Akdoğan, 2006). Türkiye’de en çok tercih edilen HES tiplerindendir (Yıldız, 1992).
- Baraj Tipi Santraller: Su, baraj yapısı ile rezervuarda biriktirilmektedir. Depolanan su, belirli bir yüksekliğe geldikten sonra türbinlerden geçirilerek enerji üretilmektedir. HES’lerde enerji üretimi düşü yüksekliği ile doğru orantılıdır. Baraj tipi HES’lerde suyun belirli bir düşü kazanmasıyla enerji üretimlerinde de artış görülmektedir (Yıldız, 1992).
- Pompaj Rezervuar Tipi Santraller: Pik saatlerde enerji üretimi gerçekleştirilmektedir. Enerji ihtiyacının azaldığı saatlerde rezervuara su pompalayarak suyun birikmesini sağlamaktadır. Enerji ihtiyacının fazla olduğu saatlerde rezervuarda biriken suyu türbinden geçirerek enerji elde etmektedir (Yıldız, 1992).

2.4. HES’lerde kullanılan türbin çeşitleri

Hidrolik türbinin amacı, suyun potansiyel enerjisini mekanik dönme enerjisine çevirmektir (Bulu, 2011). Bu dönüştürme işlemi iki şekilde yapılmaktadır:

- Suyun çarka girmeden önce kinetik enerjiye çevrildiği türbinlere, impuls türbinler denir. Su jetinin çark içerisinde bulunan yapılara çarparak dönmesi ile enerji üretimi gerçekleştirilmektedir. Pelton türbini bu tip türbinlere örnektir (Bulu, 2011).
- Su basıncının türbin çarkı kanatlarına çarptığı türbinler reaksiyon türbinleridir. Reaksiyon türbinlerinde çark, su içine tamamen batmış bir şekilde dönmektedir. Francis ve Kaplan türbinler bu tip türbinlere örnektir (Bulu, 2011).

2.4.1. Türbin seçim kriterleri

HES'lerde kullanılacak türbinler aşağıdaki parametrelere bağlı olarak seçilmektedir (Bulu, 2011).

- Düşü yüksekliği
- Türbin debisinin değişim aralığı
- Çark dönme hızı
- Maliyet

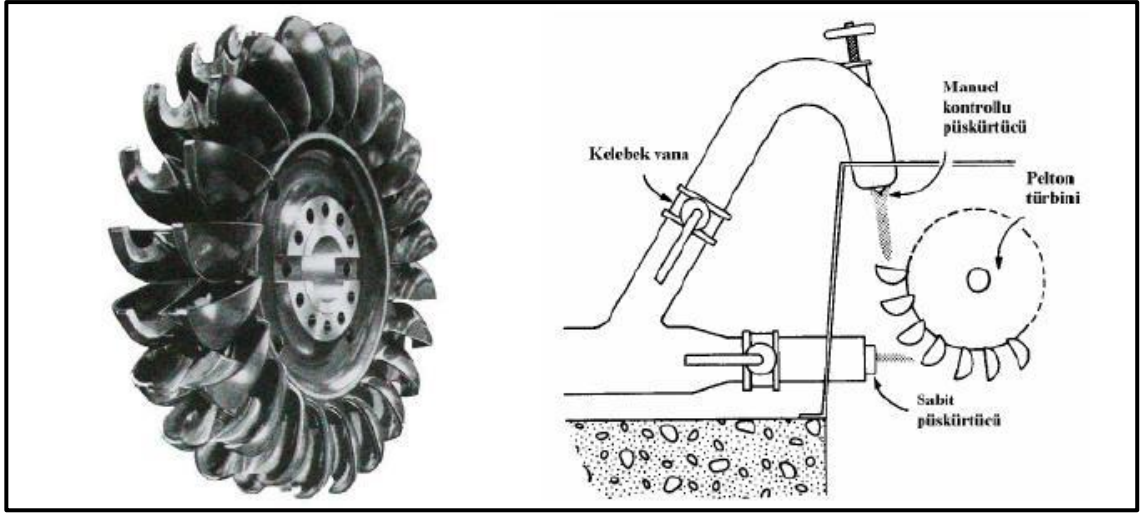
HES'lerde türbin seçiminde il göz önüne alınan husus düşü yüksekliğidir (Pulat, 2009). Düşü yüksekliğine bağlı olarak seçilen türbinler Çizelge 2.'de verilmiştir.

Çizelge 2. Türbin Çeşitleri (Pulat, 2009).

DÜŞÜ YÜKSEKLİĞİ (m)	TÜRBİN ÇEŞİDİ
Yüksek Düşülü, $H > 300$	Pelton Türbini
Orta Düşülü, $50 < H < 300$	Francis Türbini
Alçak Düşülü, $H < 40-50$	Kaplan Türbini

2.4.2. Pelton türbini

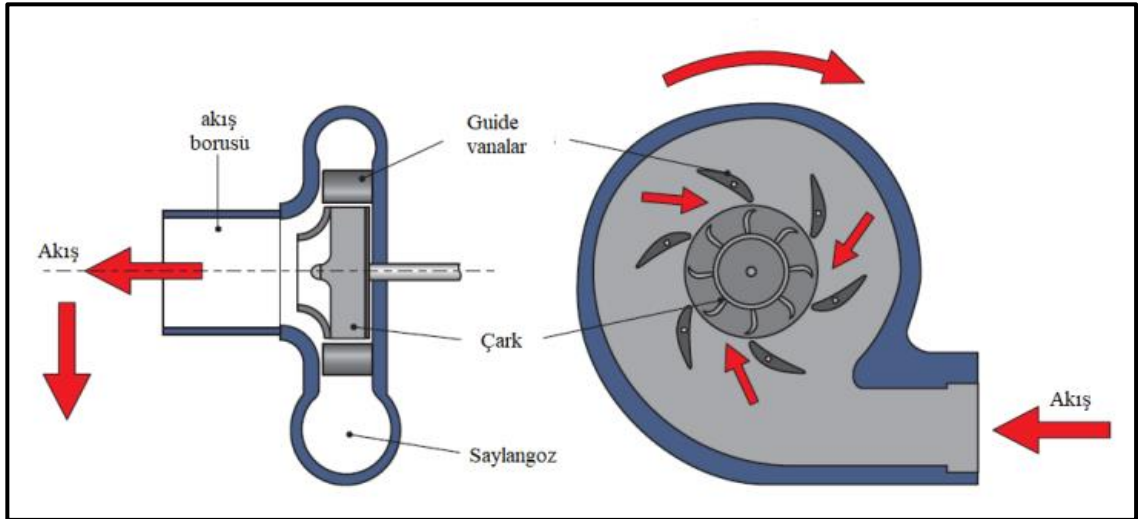
Düşü yüksekliğinin 300 m.'den fazla olduğu santrallerde pelton türbini kullanılmaktadır. Türbine gelen yüksek basınçlı suyun, atmosfer basıncına püskürtülmesi sonucunda türbin dönmekte ve enerji üretimi gerçekleştirilmektedir (Yılmaz, 1995). Pelton türbini şeması Şekil 3.'te verilmiştir.



Şekil 3. Pelton Türbini Şeması (Yolcubal, 2011).

2.4.3. Francis türbini

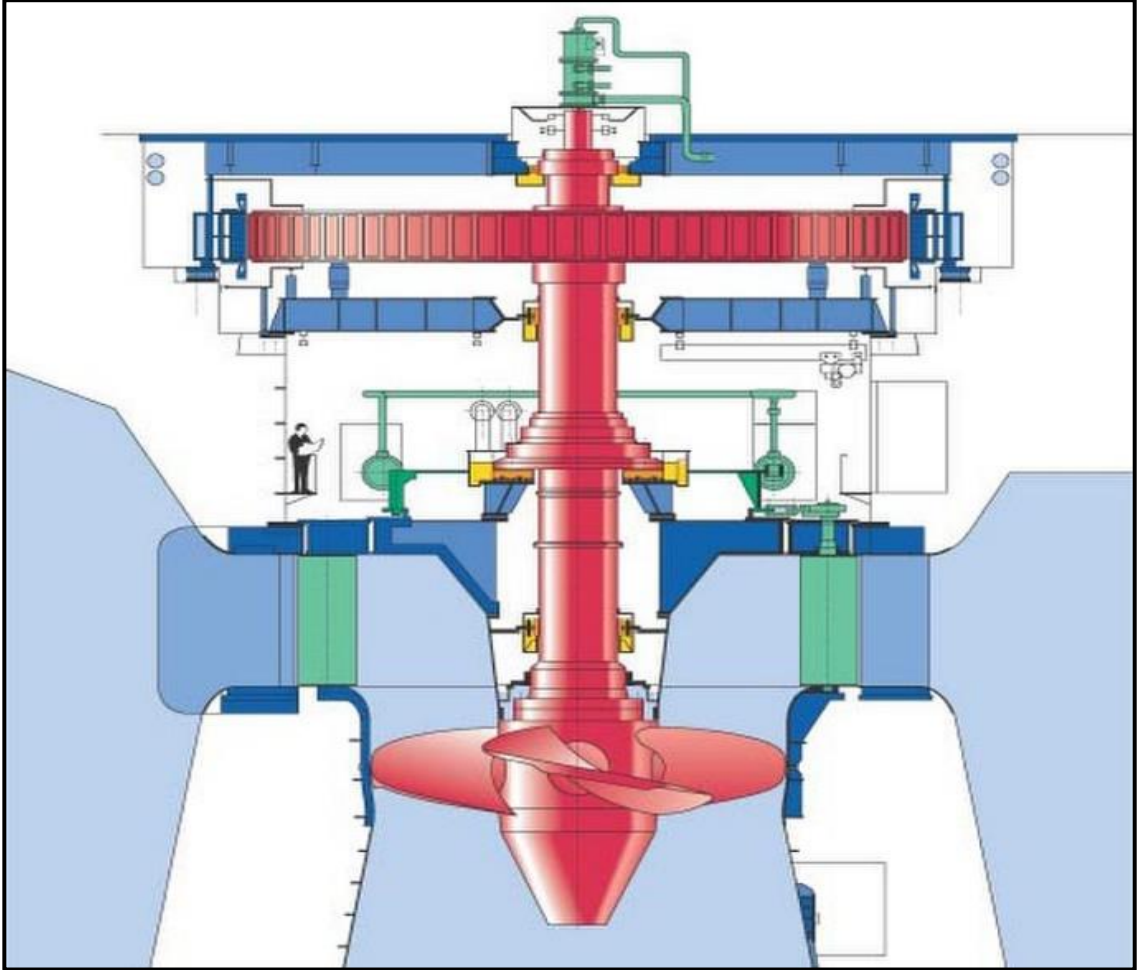
Düşü yüksekliğinin 50-300 m. arasında olduğu santrallerde tercih edilmektedir. Helezon şeklindeki kanaldan geçen su dağıtıcı üzerindeki kanatlara gelmektedir. Dağıtıcıdan geçen su çarkı çevirmekte ve potansiyel enerji kinetik enerjiye dönüştürülmektedir (Yılmaz, 1995). Francis türbini şeması Şekil 4.'te verilmiştir.



Şekil 4. Francis Türbini Şeması (BTÜ, 2010).

2.4.4. Kaplan türbini

Düşü yüksekliğinin 40-50 m.'ye kadar olduğu, düşük düşü yüksekliğine sahip santrallerde kullanılmaktadır. Dağıtıcı yapı Francis türbinine benzemektedir (Yılmaz, 1995). Kaplan türbinlerde, işletme durumuna göre kanat açıklıkları ayarlanabilmektedir (Bulu, 2011). Kaplan türbini şeması Şekil 5.'te verilmiştir.



Şekil 5. Kaplan Türbini

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında öncelikle yenilenebilir enerji türü olan Hidroelektrik Enerji Santrali projeleri ve tarihsel gelişimi ele alınmıştır. Hidroelektrik enerjinin üretilme prensibi ve enerji üretiminde yıllar içerisinde uğradığı değişim araştırılmıştır. Türkiye’de HES uygulanmasına ilişkin yıllar içerisinde alınan tüm kararların tarihsel gelişimi ve bu kararların HES uygulamalarındaki etkileri incelenmiştir. Türkiye’deki HES’lerin inşa dönemi ve faaliyete alınması aşamalarında EİE, DSİ, TEK ve EPDK gibi kurumların üstlendikleri görevler kronolojik sıraya göre verilmiştir.

HES ile lisanslı ve lisanssız elektrik enerjisi üretiminin yapılması ile ilgili genel şartlara yer verilmiştir. HES kurulmadan önce yapılacak yer seçimine ilişkin kriterler ve dikkat edilmesi gereken hususlar belirtilmiştir.

HES’i oluşturan temel yapılar ve görevleri araştırılmış ve projelendirmenin bağlı olduğu kriterler ele alınmıştır. HES’lerin sınıflandırılmasına ve kullanılan türbinlerin çeşitlerine yer verilmiştir.

HES’ler suyun gücünden yararlandığı için Türkiye’de bulunan su kaynakları incelenmiştir. 2020 yılı DSİ Faaliyet Raporu’ndan elde edilen, Türkiye’nin toplam yıllık su akış miktarı ve yıllık kullanılabilir su potansiyeli değerleri yorumlanmıştır. Türkiye’de bulunan 25 akarsu havzası analiz edilmiş ve havzalarda meydana gelen yıllık ortalama su potansiyeli, ortalama doğal akım ve ortalama yıllık verim değerleri incelenmiştir. Akarsuların akımını etkileyen faktörlere yer verilmiştir. Türkiye’deki akarsular içerisindeki en büyük yıllık akış hacmini oluşturan havza belirlenmiş ve akış hacmini etkileyen faktörler ele alınmıştır. 2020 yılı DSİ Faaliyet Raporundan alınan verilere göre, havzalarda meydana gelen yıllık ortalama su potansiyeli tablo şeklinde verilmiştir.

International Hydropower Association verileri ile Dünya’da üretilen hidroelektrik enerjisinde, yıllara bağlı meydana gelen değişimler ele alınmıştır.

TEİAŞ'tan alınan verilere göre, 2020 yılında Türkiye'de meydana gelen enerji üretiminin kaynaklara göre dağılımı incelenmiş ve ülkemizde bulunan mevcut yenilenebilir enerji kaynakları arasında HES'lerin payı araştırılmıştır. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nün yayınlamış olduğu faaliyet raporları incelenmiş ve HES'lerin Türkiye'deki mevcut durumu, gelişme oranları ve enerji üretimine katkısı analiz edilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde, hidroelektrik enerjinin en büyük paya sahip olmasının sebepleri ortaya konmuştur.

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü sayfasından temin edilen, 1920 ve 2020 yılları arasında DSİ ve özel sektör tarafından inşa edilen HES sayısı, kurulu gücü ve üretilen enerji miktarları il bazında ele alınmış ve grafik olarak verilmiştir. 1924 ve 2020 yılları arasında bölge bazlı inşa edilen HES'ler tespit edilmiş ve HES sayısının en fazla ve en az olduğu bölgeler nedenleri ile birlikte ortaya konmuştur.

Türkiye'de bölgelere göre inşa edilen HES'lerin kurulu gücü (MW) ve yıllık ortalama enerji üretimleri (GWh/yıl) incelenmiştir. 2010 ve 2020 yılları arasındaki elektrik enerjisi toplam kurulu gücü ve HES kurulu gücü arasındaki ilişki araştırılmıştır.

İklim değişikliğinin HES'ler üzerindeki etkileri ele alınmıştır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan verilere göre, 1970 ve 2021 yılları arasında sıcaklık ortalamalarında meydana gelen değişimler incelenmiştir.

1970 ve 2020 yılı yağış miktarları, aylara göre incelenmiştir. Türkiye'nin çeşitli iklim özelliklerine sahip olması dolayısıyla yağış rejimlerinde meydana gelen değişikliklerin HES'ler üzerinde yarattığı etkiler ele alınmıştır. Akarsuları besleyen yağışın cinsine göre havzada görülen en yüksek akım değerlerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu verilerine göre, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması'na kayıtlı HES'lerin 2016 ve 2019 yılları arasında lisansa derç edilen ve gerçekleşen yıllık üretim miktarları bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirilmiştir. Planlanan üretimin gerçekleştirilememesinin nedenleri ortaya konmuştur.

HES'lerin meydana getirdiği çevresel etkiler, inşaat, işletme ve kapatma dönemi olarak ele alınmıştır. Türkiye'de HES'ler için ÇED sürecinden bahsedilmiştir. T.C. Çevre ve şehircilik, İklim Değişikliği Bakanlığı E-CED sitesinden alınan verilere göre, 2012-2022 yılları arasında 100 HES projesi için verilen ÇED kararları istatistiki bilgi olarak verilmiştir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Türkiye'nin Su Kaynakları

Türkiye üç tarafı denizler ile çevrili bir yarımada ülkesi olmasına rağmen su zengini bir ülke değildir. Ülkemizdeki toplam yıllık su akış miktarı 185 milyar m³ olup 94 milyar m³'ü yer üstü ve 18 milyar m³'ü yeraltı suyu olmak üzere toplamda yıllık kullanılabilir su potansiyeli 112 milyar m³'tür (DSİ, 2021).

TÜİK'ten alınan resmi verilere göre, 2021 yılı Türkiye nüfusunun 84.680.273 kişi olduğu bilinmektedir (TÜİK, 2021). Kişi başı yıllık kullanılabilir su miktarı 2021 yılında 1.323 m³ olarak belirlenmiştir (DSİ, 2021). Kişi başı yıllık kullanılabilir su miktarına bakıldığında ülkeler su fakiri, su azlığı çeken ve su zengini olarak sınıflandırılmaktadır (Akarçeşme, 2019). Kişi başına düşen su miktarı 1.000 m³/yıl'dan az ise su fakiri, 1.000-2.000 m³/yıl arasında ise su azlığı çeken, 10.000 m³/yıl'dan fazla ise su zengini ülke olarak nitelendirilmektedir (Kırıtorun ve Karaer, 2018). Türkiye'nin su zengini bir ülke olarak gösterilmesinin aksine, kişi başı yıllık kullanılabilir su miktarına bakıldığı zaman su stresi yaşayan ülkeler arasında yer almaktadır (DSİ, 2021). Nüfusun hızla artması ve kaynakların bilinçsizce tüketilmesine bağlı olarak ülkemiz gelecekte su fakiri olma tehlikesi altındadır. Bu doğrultuda, su kaynaklarının yönetimine ilişkin sürdürülebilir yöntemler belirlenmeli ve hayata geçirilmelidir.

4.2. Türkiye Akarsu Havzaları

Türkiye 25 adet büyük ölçekli hidrolojik havzadan oluşmaktadır (DSİ, 2021). Türkiye akarsu havzaları haritası Şekil 6.'da verilmiştir.

Ülkemizde yağış, iklim ve mevsimsel şartlara göre farklılık göstermekle beraber yıllık ortalama yağış miktarı 450 milyar m³ düzeyindedir (DSİ, 2021). Türkiye'de toplam su akış miktarının 185 milyar m³, çeşitli maksatlara yönelik olarak yıllık kullanılabilir su potansiyelinin 112 milyar m³ olduğu bilinmektedir (DSİ, 2021). 2021 yılı DSİ verilerine göre toplam su potansiyelinin 58,41 milyar m³'ü çeşitli maksatlara yönelik olarak kullanılmıştır (DSİ, 2021).

58,41 milyar m³ suyun, 45,05 milyar m³'ü sulama suyu, 13,36 milyar m³'ü ise içme-kullanma ve sanayiye yönelik olarak kullanılmıştır (DSİ, 2021). Kullanılan sudan geriye kalan kısmı ise doğal akış ile akışa geçip ve ekosistemi beslemektedir.



Şekil 6. Türkiye Su Havzaları Haritası (DSİ, 2021).

Havzalara göre yıllık ortalama su potansiyeli, yağış miktarı ve şiddetine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (DSİ, 2020). Çizelge 3.'de havzalara göre yıllık ortalama su potansiyeli, ortalama doğal akım ve ortalama yıllık verim değerleri verilmiştir. Fırat-Dicle havzası Türkiye'deki akarsular içerisindeki en büyük yıllık akış hacmini oluşturmaktadır (DSİ, 2020). Ortalama yıllık verim, km²-saniyede akışa geçen su miktarıdır. Yağışlarla doğrudan ilgilidir. Dicle'de meydana gelen anlık akışa geçen su miktarı, bölgenin kurak bir bölge olması nedeniyle düşüktür. Ortalama yıllık verimin en yüksek olduğu havza, yıllık yağış miktarının fazla olması sebebiyle Doğu Karadeniz havzasıdır. Ortama doğal akım ve ortalama yıllık verim değerleri havzadaki hidroelektrik potansiyeli etkilemektedir (DSİ, 2020).

Çizelge 3. Havzalara Göre Yıllık Ortalama Su Potansiyeli (DSİ,2020).

Havza No	Havzanın Adı	Ortalama Doğal Akım (hm ³)	Ortalama Yıllık Verim (l/s/km ²)
1	Meriç-Ergene & Marmara	1.657	3,6
2	Marmara	7.442	10,2
3	Susurluk	4.963	6,5
4	Kuzey Ege	1.985	6,4
5	Gediz	1.776	3,3
6	Küçük Menderes	624	2,8
7	Büyük Menderes	3.047	3,7
8	Batı Akdeniz	6.499	9,8
9	Antalya	12.944	20,3
10	Burdur	234	1,2
11	Akarçay	375	1,5
12	Sakarya	6.487	3,2
13	Batı Karadeniz	10.797	11,9
14	Yeşilırmak	7.046	5,6
15	Kızılırmak	7.004	2,7
16	Konya Kapalı	2.407	1,5
17	Doğu Akdeniz	7.559	11,3
18	Seyhan	6.183	8,9
19	Asi	1.782	7,2
20	Ceylan	7.734	11,5
21	Fırat	31.133	8,1
	Dicle	25.183	14,6
22	Doğu Karadeniz	16.426	22,8
23	Çoruh	6.981	10,9
24	Aras	4.480	5,1
25	Van	2.602	4,6
Toplam		185.352	7,66

Çizelge 3.'e bakıldığı zaman en yüksek yüzey suyu potansiyeline sahip havzanın Fırat-Dicle Havzası olduğu görülmektedir. Yıllık ortalama doğal akım değeri Fırat Havzası için 31.133 hm³, Dicle Havzası için ise 25.183 hm³'tür. Fırat-Dicle havzasında meydana gelen yıllık ortalama doğal akım değeri, Türkiye'de meydana gelen ortalama akımın %30,4'ünü oluşturmaktadır. En düşük yüzey suyu potansiyeline sahip havza ise Burdur Havzası'dır. Türkiye'de meydana gelen ortalama akımın %0,1'lik bir kısmını oluşturmaktadır.

Akarsuların verimi, HES'ler ile enerji üretimini doğrudan etkileyen bir parametredir. HES'in üzerine kurulacağı akarsu, yüksek debili ve düzenli rejimde akış gösteriyorsa, arazi eğimi ve düşü yüksekliği fazla, geçirimsizliği az ise enerji üretimi için uygun olarak değerlendirilmektedir.

Türkiye'de yağış rejiminin düzensiz olmasına bağlı olarak akarsu rejimlerinin de düzensiz olmasına rağmen ülkenin engebeli yapısı gereği düşü yüksekliğinin fazla olması enerji üretimi için bir avantaj sağlamaktadır.

Akarsuların maksimum, minimum ve yıllık ortalama akım değerlerinin uzun yılları içerecek şekilde hesaplanması HES'ler için oldukça önemlidir. Baraj yapılarının tercih edilmesinde ve ekonomik değerlendirmesinin yapılmasında akım değerleri yol göstericidir (Akarçeşme, 2019).

Akarsu akımını etkileyen başlıca faktörler yıllık yağış miktarı, akarsu yatağı ve su toplama bölgesindeki zeminin geçirimsizlik özelliği, akarsuyu besleyen yağışın türü ve akarsu yatağı boyunca meydana gelen buharlaşma şiddeti olarak ele alınmaktadır (Akarçeşme, 2019).

Kar yağışı ile beslenen akarsularda, sıcaklığın artması ve kar kütesinin erimeye başlaması ile akım miktarı artmaktadır. Bu tür akarsuların en yüksek akım değerlerine yaz mevsiminde ulaştığı görülmektedir. Doğu Karadeniz ve Doğu Anadolu bölgelerinde meydana gelen akarsuların kar yağışı ile beslenmektedir (Akarçeşme, 2019).

Yağmur suları ile beslenen akarsuların debi miktarı yağış miktarı ile doğrudan ilişkilidir. Bu tür akarsularda yaz mevsiminde yağış miktarının düşmesi ve sıcaklık artışına bağlı olarak buharlaşmanın da artmasının etkisi ile akım değerlerinde düşüş görülmektedir. Kış mevsiminde yağış miktarlarının artması ile Ocak ve Şubat aylarında en yüksek akım değerlerine ulaşılmaktadır (Akarçeşme, 2019).

Türkiye'nin çeşitli iklim özelliklerine sahip olması, akarsuların rejimlerinin de karma özellik göstermesine neden olmaktadır.

4.2.1. Meriç-Ergene havzası

Trakya bölgesinde yer alan Meriç-Ergene Havası, Türkiye yüzölçümünün %1,8'ini oluşturmaktadır. Havzası'nın yağış alanı 14.510 km²'dir. Havza Bulgaristan ve Yunanistan sınırı, Tekirdağ ilinin Çorlu ilçesinin kuzeyinden güneyine doğru uzanmaktadır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2018).

Ergene nehri ve yan kolları, Meriç-Ergene Havzası'nın başlıca akarsularını meydana getirmektedir. Ergene Nehri, Trakya'nın kuzey doğusunda bulunan Istranca Dağları'ndaki Ergene kaynaklarından doğmaktadır. İnanlı köyü çevresinden gelen Çorlu Çayı ile birleşerek Ergene Nehri adını almaktadır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2018).

Meriç-Ergene Havzası'nda yıllık yağışın büyük bir kısmı kışın meydana gelmektedir. Havza'da yıllık yağış ortalaması yaklaşık 665 mm'dir. Yüzey ve yeraltı suyu kütleleri dahil olmak üzere toplam yüzey akışı yıllık 1.998 hm³'tür (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2018).

4.2.2. Marmara havzası

Marmara Havzası, Türkiye yüzölçümünün %3'ünü kapsamaktadır. Nehir havzasının toplam alanı 23.084 km²'dir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022).

Havza sınırları içerisinde genellikle her mevsim yağış görülmesine rağmen, yıllık yağışın büyük bir kısmı kışın meydana gelmektedir (02.marmara tubitak). Yıllık ortalama yağış potansiyeli 18,412 milyar m³'tür (Akarçeşme, 2019).

Marmara Havzası'nda bulunan akarsulara bakıldığında, havzanın akarsu potansiyeli bakımından zengin olmadığı görülmektedir. Havza'da şehirleşmenin ve nüfusun yüksek, yükseltinin düşük olması sebebiyle enerji üretimindeki payı düşüktür (Akarçeşme, 2019).

4.2.3. Susurluk havzası

Susurluk Havzası Türkiye yüzölçümünün %3.1'ini oluşturmaktadır. Havzanın toplam alanı 24.319 km²'dir. Susurluk Havza'sı Sakarya, Gediz, Kuzey Ege ve Marmara havzalarına komşu olup, Türkiye'nin kuzey batısında yer almaktadır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022).

Susurluk Havza'sı sınırları içerisinde kalan, devamlı veya kısa süreli akan çok sayıda büyük ve küçük ölçekli akarsu bulunmaktadır. Simav Çayı, Nilüfer Çayı, Mustafakemalpaşa Çayı ve Kocaçay havzanın önemli akarsuları arasında yer almaktadır. Havza alanında bulunan Uluabat ve Manyas Göllerinin ülkemiz açısından önemi son derece yüksektir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022).

Susurluk Havza'sında yıllık yağışın büyük bir kısmı kışın meydana gelmektedir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022). Yıllık ortalama yağış potansiyeli 16,351 milyar m³'tür (Akarçeşme, 2019).

4.2.4. Kuzey Ege havzası

Kuzey Ege Havza'sının toplam yağış alanı 9.032 m²'dir. Türkiye yüzölçümünün yaklaşık %1,3'ünü karşılamaktadır. Havza Marmara, Gediz, Ege ve Susurluk havzaları arasında yer almaktadır (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2018). Bu akarsularda yüzey akışları yağışların şiddetli olduğu zaman dilimlerinde görülmektedir (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2018). Havzada akışın büyük çoğunluğu Bakırçay Nehri tarafından oluşturulmaktadır. Kuzey Ege Havzası'nda yıllık yağış potansiyeli 7,302 milyar m³'tür (Akarçeşme, 2019).

4.2.5. Gediz havzası

Gediz Havzası Türkiye'nin batısında Kuzey Ege, Susurluk ve Küçük Menderes Havzaları arasında yer almaktadır. Havzanın toplam alanı 17.137 km²'dir. Türkiye yüzölçümünün %2,2'sini karşılamaktadır. Havzaya ismini veren Gediz Nehri havzanın en büyük su

kaynağı olup, 275 km uzunluğa sahiptir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019). Havza'da yıllık ortalama yağış potansiyeli 11,412 milyar m³'tür (Akarçeşme, 2019).

4.2.6. Küçük Menderes havzası

Gediz ve Büyük Menderes Havza'ları arasında kalan Küçük Menderes Havza'sı, sularını Küçük Menderes Nehri ve havza içerisinde bulunan diğer akarsular ile Ege Denizi'ne boşaltan alanı kapsamaktadır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2020). Havzanın en önemli su kaynağı, havzaya ismini veren Küçük Menderes Nehri'dir. Küçük Menderes Nehri'nin kollarını Kocahavran Çayı, Keleş Çayı, Aktaş Çayı, Ulu Çay ve Çamlıçay oluşturmaktadır (Akarçeşme, 2019). Havzanın toplam alanı 6.967 km²'dir. Küçük Menderes Nehri'nin Ege Denizi'ne ulaşmaya kadar ki mesafesi 129 km'dir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2020). Havza'nın yıllık yağış potansiyeli 5,111 milyar m³'tür (Akarçeşme, 2019).

4.2.7. Büyük Menderes havzası

Havza'nın toplam alanı 26.361 km²'dir. Türkiye yüzölçümünün yaklaşık %3,3'ünü oluşturmaktadır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2018).

Büyük Menderes Nehri, Havza'daki en önemli su kaynağı ve Ege Bölgesi'ndeki en uzun nehir olarak nitelendirilmektedir. Havza'nın yıllık yağış potansiyeli 16,384 milyar m³ olup, yağışın büyük bir kısmı kış aylarında meydana gelmektedir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2020; Akarçeşme, 2019).

4.2.8. Batı Akdeniz havzası

Batı Akdeniz Havza'sı, Türkiye'nin güney batısında yer almaktadır. Havza'nın toplam alanı 21.223 km²'dir. Türkiye yüzölçümünün yaklaşık olarak %2,7'sini oluşturmaktadır. Batı Akdeniz Havza'sının önemli su kaynakları arasında Dalaman ve Eşen Çayı, Alakır, Akçay, Kocadere ve Köyceğiz Gölü yer almaktadır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2016). Havza'nın yıllık yağış potansiyeli 18,124 m³'tür (Akarçeşme, 2019).

4.2.9. Antalya havzası

Antalya Havza'sı batıda Batı Akdeniz, kuzeyde Akarçay ve doğuda Doğu Akdeniz havzaları arasında yer almaktadır. Havza'nın toplam alanı 20.091 km²'dir. Türkiye yüzölçümünün %2,6'sını oluşturmaktadır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2018). Havza'da meydana gelen en önemli akarsular Manavgat, Aksu, Köprüçay, Boğa ve Düden Çayı'dır. Havza'da meydana gelen yıllık yağış potansiyeli 17,815 milyar m³'tür (Akarçeşme, 2019).

4.2.10. Seyhan havzası

Seyhan Havzası, 22.042 km²'lik yağış alanına sahiptir. Türkiye'nin %2,82'sine karşılık gelmektedir. Havza, doğuda Ceyhan, batıda Konya ve Berdan, kuzeyde Develi Havzası ve Kulmaç Dağları, güneyde ise Akdeniz'e kadar uzanmaktadır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019).

4.2.11. Ceyhan havzası

Doğu Akdeniz Bölgesi'nde bulunan Ceyhan Havzası, 21.391 km²'lik yüzölçümüne sahiptir. Ceyhan Havzası batıdan Seyhan, kuzey ve doğudan Fırat-Dicle, güneyden Asi Havzaları ile komşudur (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019).

4.2.12. Asi havzası

Türkiye'nin güney kesiminde yer alan Asi Havzası, Doğu Akdeniz Bölgesinde yer almaktadır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2020). Asi Nehri ve Afrin, Karasu gibi kolları, havzanın en önemli akarsularıdır (Akarçeşme, 2019). Toplam alanı yaklaşık 26.530 km² olan Asi Havzası, 7886,3 km² yağış alanına sahiptir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2020).

4.2.13. Fırat ve Dicle havzaları

Türkiye'nin en geniş akarsu havzası Fırat Havzası olup, su toplama alanı yaklaşık 121.447 km² 'dir. Fırat Nehri, havzanın en önemli akarsuları arasında yer almaktadır (Akarçeşme, 2019).

Türkiye yüzölçümünün yaklaşık %7'sini oluşturmaktadır. Havza, 54.695,7 km² yağış alanına sahiptir. Dicle Alt Havzası'nın kuzeybatısında ve batısında Fırat Alt Havzası ile kuzeyde Van Gölü Havzası ile güneyde Suriye ve Irak ile doğuda ise İran ile sınırlıdır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019).

4.2.14. Konya kapalı havzası

Konya kapalı havzası, Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi'nde yer almaktadır. Türkiye'nin yüzölçümünün yaklaşık %6,4'ünü kaplayan nehir havzasının toplam alanı, 49.786 km²'dir (Akarçeşme, 2019).

4.2.15. Doğu Karadeniz havzası

Türkiye'nin kuzeydoğu kesiminde yer alan Doğu Karadeniz Havzası, kuzeyde Karadeniz, doğuda Kaçkar Dağları, güneyde Yamanlı, Soğanlı, Kemer, Iğdır Dağları, batıda Çarşamba Ovası'nın doğusuna uzanmaktadır. Doğu Karadeniz Havzası Türkiye'nin yüzölçümünün %2,92'sini kapsamaktadır (TUBİTAK MAM, 2013).

4.2.16. Çoruh havzası

Çoruh Havzası, Türkiye'nin kuzeydoğusunda yer almaktadır. Havza yaklaşık 2 milyon hektar alanı kapsamakta olup Türkiye'nin yüzölçümünün yaklaşık %2,59'unu oluşturmaktadır. Havzaya ismini veren Çoruh Nehri, Erzurum ili sınırları içerisinde yer almaktadır. Erzurum ili sınırlarından sonra Artvin iline ve buradan da Gürcistan sınırları içerisinde Batum şehrinden Karadeniz'e dökülmektedir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2020).

4.2.17. Yeşilirmak havzası

Yeşilirmak Havzası, Anadolu'nun kuzey kesiminde yer almaktadır. Havza alanı yaklaşık olarak 3.873.280 hektar olup, Türkiye yüzölçümünün yaklaşık %5'ini oluşturmaktadır. Yeşilirmak Havzasının yağış alanı 36.129 km²'dir (Akarçeşme, 2019).

4.2.18. Kızılırmak havzası

Türkiye akarsularının en uzununu 1.151 km ile Kızılırmak'tır. Kızılırmak havzası 78.180 km²'lik bir alanı kaplamakta ve sularını Karadeniz 'e boşaltmaktadır. Türkiye'nin ikinci büyük havzasıdır. Türkiye'nin yüzölçümünün yaklaşık %11'ini kaplayan havzanın geniş bölümü tepelik alan görünümündeyken, sadece kuzey ve doğu kesimleri dağlıktır (Akarçeşme, 2019).

4.2.19. Batı Karadeniz havzası

Batı Karadeniz Havzası, Türkiye yüzölçümünün yaklaşık %3,7'sini kapsamaktadır ve 28.855 km² yağış alanına sahiptir. Batı Karadeniz Havzasının güney batısında Sakarya Havzası, güney doğusunda Kızılırmak Havzası, kuzeyde ise Karadeniz ile sınırlıdır (Akarçeşme, 2019).

4.2.20. Sakarya havzası

Sakarya Nehri Havzası Anadolu Yarımadası'nın kuzeybatısında yer almaktadır. Sakarya Nehri'nin drenaj alanı 58.160 km²'dir. Nehrin uzunluğu yaklaşık 720 km'dir. Havza Türkiye yüzölçümünün yaklaşık %7'sini kapsamaktadır (Akarçeşme, 2019).

4.2.21. Van gölü kapalı havzası

Van Gölü Kapalı Havzası, 17.887 km² yağış alanına sahiptir. Havzanın içerisinde Van Gölü (15.441 km²), Erçek Gölü (1.492,4 km²), Nemrut Krater Gölü, Turna Gölü, Akgöl ve Aygır Gölü kapalı havzaları ile Kapıköy (650 km²) drenaj alanları bulunmaktadır (Akarçeşme, 2019).

Sularını çevre denizlere gönderemeyen Van Gölü Kapalı Havzası, Türkiye'nin ikinci büyük içe akışlı havzasıdır. Alansal genişlik bakımından Türkiye'nin en büyük gölü Van Gölü'dür (Akarçeşme, 2019).

4.2.22. Aras havzası

Aras Havzası 28.114 km² yağış alanı ve 28.037 km² drenaj alanı sahiptir. Havza Türkiye yüzölçümünün yaklaşık %3,57'sini kapsamaktadır (Akarçeşme, 2019).

Türkiye'nin kuzeydoğusunda bulunan Aras Havzası, batısında Çoruh ve Fırat-Dicle, güneyinde Fırat-Dicle havzaları ile çevrilidir (Akarçeşme, 2019).

4.2.23. Burdur kapalı havzası

Burdur Havzası, Türkiye'nin güneybatısında, Akdeniz Bölgesi'nin kuzeybatısında ve Ege Bölgesi'nin doğusunda bulunmaktadır. Burdur Havzası 6.296 km² alanı kaplamaktadır. Türkiye'nin yüzölçümünün %0,8'ini oluşturmaktadır (Akarçeşme, 2019).

4.2.24. Akarçay havzası

Akarçay Havzası, Afyonkarahisar ve Konya illerinin bir kısmında bulunmaktadır. Havza 7.992 km² 'lik yağış alanına sahiptir. Havza'nın en önemli gölleri Eber Gölü, Akşehir Gölü, ve Karamık Gölü'dür (Akarçeşme, 2019).

4.2.25. Doğu Akdeniz havzası

Doğu Akdeniz Havzası yaklaşık 2.180.704 hektar (ha) alana sahiptir. Havza, Türkiye yüzölçümünün yaklaşık %2,8'ini meydana getirmektedir. Havza, kuzeyde Konya Kapalı Havzası, doğuda Seyhan Havzası ve batıda Antalya havzası ile komşudur ve sularını Akdeniz'e boşaltan Tarsus Irmağı ile Sedir Çayı arasında kalan alanı kapsamaktadır (Akarçeşme, 2019).

4.3. Türkiye'deki Hidroelektrik Enerji Santrallerinin Tarihsel Gelişimi

Türkiye'de hidroelektrik enerji santrali ile ilk enerji üretimi 1902 yılında Mersin'in Tarsus ilçesinde gerçekleştirilmiştir. Büyük ölçekli ilk hidroelektrik enerji santrali ise 1913 yılında İstanbul'da inşa edilmiştir (Gökdemir ve ark, 2012).

1932 yılında Türkiye'nin enerji ihtiyacını belirlemek, hidroelektrik potansiyelini geliştirmek için araştırma ve incelemeler yapmak üzere Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE) kurulmuştur. Bu dönemde, Seyhan, Sarıyer, Hirfanlı, Kesikköprü, Demirköprü ve Kemer Barajları ve Hidroelektrik Enerji Santralleri önemli projeler arasında yer almaktadır. 1940 yılı itibariyle inşa edilen HES'ler ile köy ve kasabaların elektrikleştirilmesi amaçlanmıştır (Gökdemir ve ark, 2012).

1954 yılında Devlet Su İşleri'nin faaliyete başlaması ile birlikte hidroelektrik kurulu gücünde hızlı bir artış yaşanmıştır. 1950 yılında hidroelektrik enerji payı %4,4 iken, 10 yıl içerisinde %34'e ulaşmıştır (Gökdemir ve ark, 2012).

1950-1969 yılları arasında HES'ler, DSİ, İller Bankası, Etibank ve Sümerbank tarafından inşa edilmiştir. Bu dönemin özelliği, DSİ ve devlet kuruluşların birlikte çalışmasıdır. 1970 yılında Türkiye Elektrik Kurumu'nun (TEK) kurulması ile birlikte İller Bankası, Etibank ve belediyeler gibi resmi kurumların HES inşası dönemi son bulmuştur. HES kurulumu ve inşası aşamalarında tek yetkili merci DSİ olarak görevlendirilmiştir. TEK Genel Müdürlüğü'nce 1970 ve 1990 yılları arasında enterkonnekte sistem yaygınlaştırılmıştır. Bu dönemde HES'ler, DSİ ve imtiyazlı şirketlerce inşa edilmiştir (Gökdemir ve ark, 2012).

19.12.1984 tarihinde Türkiye Elektrik Kurumu Dışındaki Kuruluşların Elektrik Üretimi, İletimi, Dağıtımı ve Ticareti ile Görevlendirilmesi Hakkında Kanun yürürlüğe girmiştir. İlgili kanunun yürürlüğe girmesi sonucunda yerli ve yabancı şirketlere elektrik üretimi ile ilgili haklar tanımlanmıştır (Türkiye Elektrik Kurumu Dışındaki Kuruluşların Elektrik Üretimi, İletimi, Dağıtımı ve Ticareti ile Görevlendirilmesi Hakkında Kanun, 1984). Elektrik üretimi konusunda özel sektörün önü açılmıştır. 1991 yılı ile faaliyete geçen HES'lerde Yap-İşlet-Devret modelinin uygulandığı belirtilmektedir (Gökdemir ve ark, 2012).

DSİ'ce, 1991 ve 2003 yılları arasında devletler arasında yapılan anlaşmalar ile baraj ve HES'ler inşa ettirilmiştir. Karakamış Barajı ve HES 1999 yılında bu dönemde devreye

alınmıştır. 2001 yılında EPDK kurulmuş ve enerji piyasası için yeni bir dönem başlamıştır.

26.06.2003 tarihinde yürürlüğe giren Elektrik Piyasasında Üretim Faaliyetinde Bulunmak Üzere Su Kullanım Hakkı Anlaşması İmzalanmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik ve 18.05.2005 yılında yürürlüğe giren Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun ile özel sektöre elektrik üretilip satılabilme yetkisi getirilmiştir (Elektrik Piyasasında Üretim Faaliyetinde Bulunmak Üzere Su Kullanım Hakkı Anlaşması İmzalanmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik, 2003).

2005 yılından sonraki süreçte, 08.01.2011 tarihinde Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik yapılmasına Dair Kanun ve 21.07.2011 tarihinde EPDK tarafından yayınlanan elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik'in yürürlüğe girmesi ile birlikte lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğü olmaksızın elektrik enerjisi üretilenlerin önü açılmıştır (Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun, 2011; Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik, 2011).

4.4. HES Mevzuatı

4.4.1. HES ile lisanslı elektrik enerjisi üretimi

6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ile elektrik faaliyetlerinin gerçekleştirilebilmesi için lisans alma zorunluluğu getirilmiştir. Yenilenebilir enerji üreten tesislerin, kurulu gücü 5 MW'den fazla olması durumunda üretim lisansı almaları zorunludur. Yenilenebilir enerji üretim tesisleri, EPDK'dan üretim lisansı olmadan faaliyetlerine başlayamamaktadır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı).

HES'lerde üretim faaliyetinde bulunabilmek için öncelikle önlisans alınmaktadır. Önlisans süresince, gerekli yükümlülüklerin tamamlanması ile birlikte üretim lisansı alınmaktadır.

Üretim gerçekleştirecek tesislere, proje yatırımlarına başlayabilmeleri ve alınması gereken izinlerin alınabilmesi için belirli bir zaman dilimini kapsayan izne önlisans denilmektedir. Üretim lisansı ise, kurumlar tarafından ifade etmektedir (Elektrik Piyasası Kanunu, 2013).

Önlisansın süresi, projeye bağlı olarak değişiklik gösterse en fazla otuz altı aydır. Lisans süresi ise, faaliyetin türü ve niteliğine bağlı olarak en az on, en çok kırk dokuz yıllığına verilmektedir (Elektrik Piyasası Kanunu, 2013).

4.4.2. HES ile lisanssız elektrik enerjisi üretimi

12.05.2019 Tarih ve 30772 Sayılı Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği Madde 5, (c) bendine göre, yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji üretimi sağlayan ve kurulu gücü bir megavata kadar olan tesislerin önlisans veya lisans alma zorunluluğu yoktur (Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği, 2019).

Hidroelektrik kaynaklara bağlı enerji üretim tesisleri için su kullanım hakkı edinilmesi amacıyla tesisin kurulacağı il özel idaresine başvuru yapılmaktadır. İl özel idareleri, üretim tesisinin yapımının su rejimi açısından uygun olup olmadığının değerlendirilmesi için DSİ'nin yetkili bölge müdürlüklerinden görüş alınmaktadır. İlgili DSİ birimi, uygunluk görüşünü il özel idaresine gönderilmektedir. DSİ'nin görüşünün olumlu olması durumunda, il özel idaresi görüşü başvuru sahibine gönderilmektedir. Lisanssız elektrik enerjisi üretimi için başvuruda sunulan belgeler incelendiğinde herhangi bir çevresel verinin istenmediği görülmektedir (Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği, 2019).

4.5. Hidroelektrik Enerji Santralleri Yer Seçim Kriterleri

HES'lerde yer seçim kriterleri oldukça önemlidir. Enerji üretim verimini de etkileyen yer seçimi alanında uzman jeolog ve mühendis grubu ile yapılmaktadır. Santralin yapılacağı yerde sondaj yapılarak yer seçimi kesinleştirilmektedir. Hidroelektrik enerji santrali yer seçiminde aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir (Yıldız, 1992).

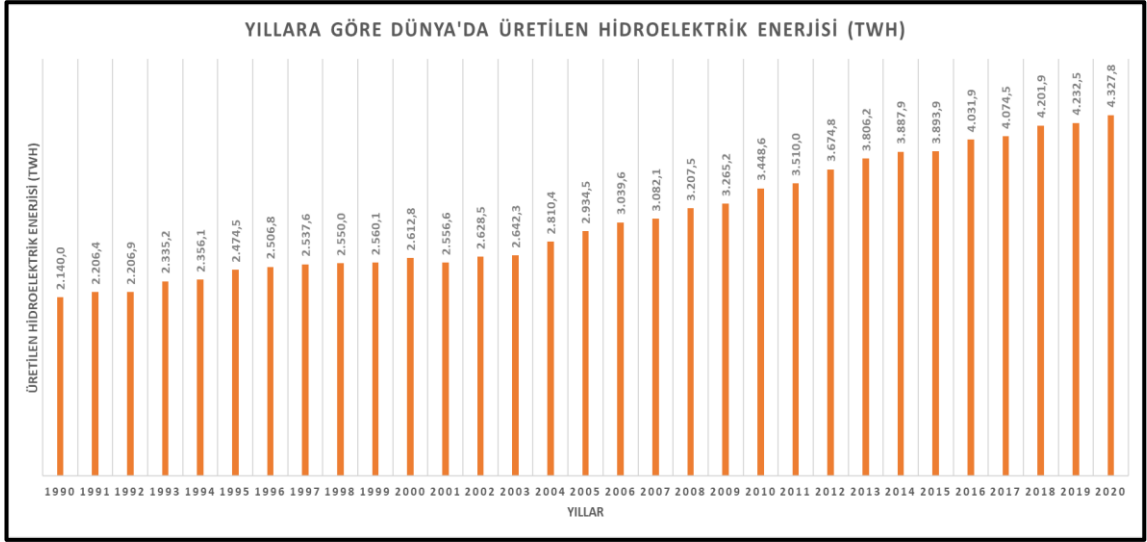
- Yer seçiminin ilk ve en önemli adımı jeolojik etüttür. Hidroelektrik enerji santralının yapılacağı yer, heyelan bölgesinden ve aktif faylardan uzak olmalıdır.
- Santral binası, düşü kaybının en az olacağı ve en kısa cebri borunun kullanılabileceği yere inşa edilmelidir (Yıldız, 1992).
- Kuyruk suyu kanalı, nehir yatağına en uygun ve ekonomik şekilde bağlanabilmelidir.
- Düşünün arttırılabilmesi adına, santral binası mümkün olduğunca en düşük kotta seçilmelidir.
- Santral binası, güvenlik açısından en sağlam kayaya inşa edilmelidir. Gerek görülmesi durumunda ilave önlemler alınmalı, yapı ve taşıma gücü emniyetli bir şekilde sağlanmalıdır (Yıldız, 1992).
- Vadi genişliği santral binaları için oldukça önemlidir. Taşkın kotlarında vadi genişliğinin dar olması, suyun yükselmesine ve taşkın olayının meydana gelmesine neden olmaktadır. Bu sebeple dar vadilere santral binası inşa edilmemelidir.
- Santral binası yer seçimini etkileyen diğer bir önemli faktör ise ulaşımır. Ulaşımın kolay olduğu yere santral binası inşa edilmelidir.
- Enerji nakil hattının santral binasına uzaklığı da dikkat edilmesi gereken diğer bir husustur. Aradaki mesafe kısa olmalıdır (Yıldız, 1992).

4.6. Dünya’da Hidroelektrik Enerji Gelişimi

Yenilenebilir enerji kaynakları, fosil yakıt kullanımında ve buna bağlı olarak karbon emisyonlarında azalma sağlaması, çevre dostu ve yerli kaynak olması sebepleri ile sürdürülebilir kaynaklar olarak tercih edilmektedir (Beyazıt, 2021). Gelişen teknoloji ile birlikte yenilenebilir enerjinin uygulanabilirliği artmaktadır (Kankal ve Akçay, 2019).

Yenilenebilir enerji kaynağı olan hidroelektrik enerji santralleri (HES’ler), suyun gücünden faydalanmaktadır. Bu santrallerde suyun potansiyel veya kinetik enerjisinin, elektrik enerjisine çevrilmesi sonucunda enerji üretimi gerçekleştirilmektedir. HES’lerde enerji üretmek amacıyla yakıt kullanılmamaktadır (Teffer, 2020).

Dünya’da üretilen hidroelektrik enerjisi de yıllara bağlı olarak artış göstermiştir. 2020 yılında üretilen toplam hidroelektrik enerji 4.327,8 TWh’tir (IHA, 2021). Dünya’da üretilen elektrik enerjisinin yıllara göre değişimi Şekil 7.’de verilmiştir. Dünya’da ki hidroelektrik enerji üretimine bakıldığında, 2005 yılından sonra enerji üretiminde daha hızlı bir artış yaşandığı görülmektedir.

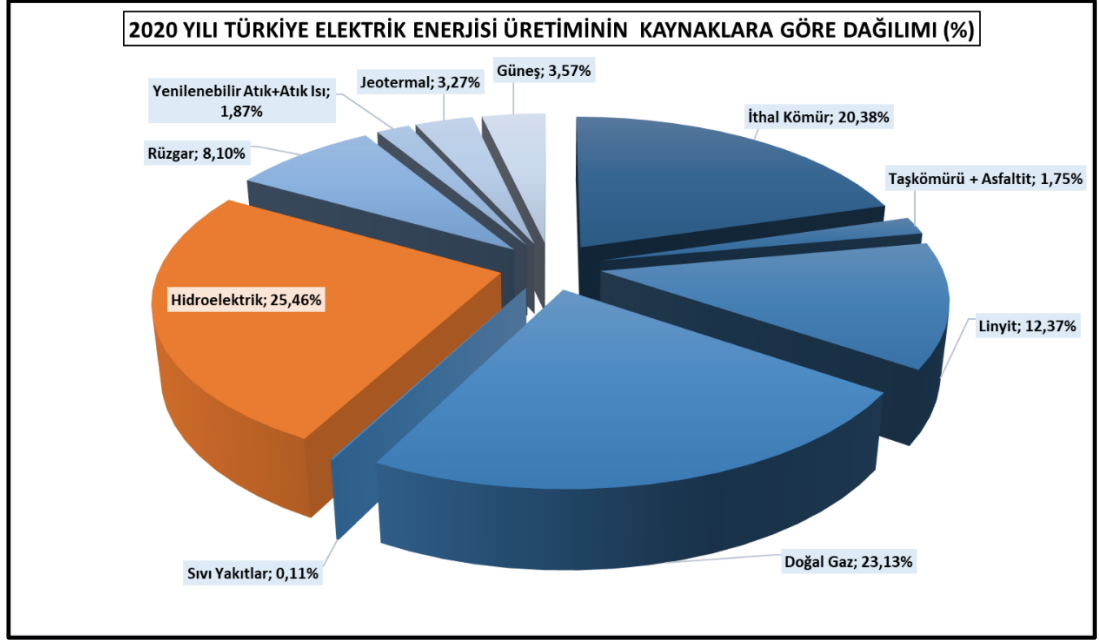


Şekil 7. Yıllara Göre Dünya’da Üretilen Hidroelektrik Enerjisi (TWh)

4.7. Türkiye’nin Hidroelektrik Enerji Potansiyeli ve Gelişimi

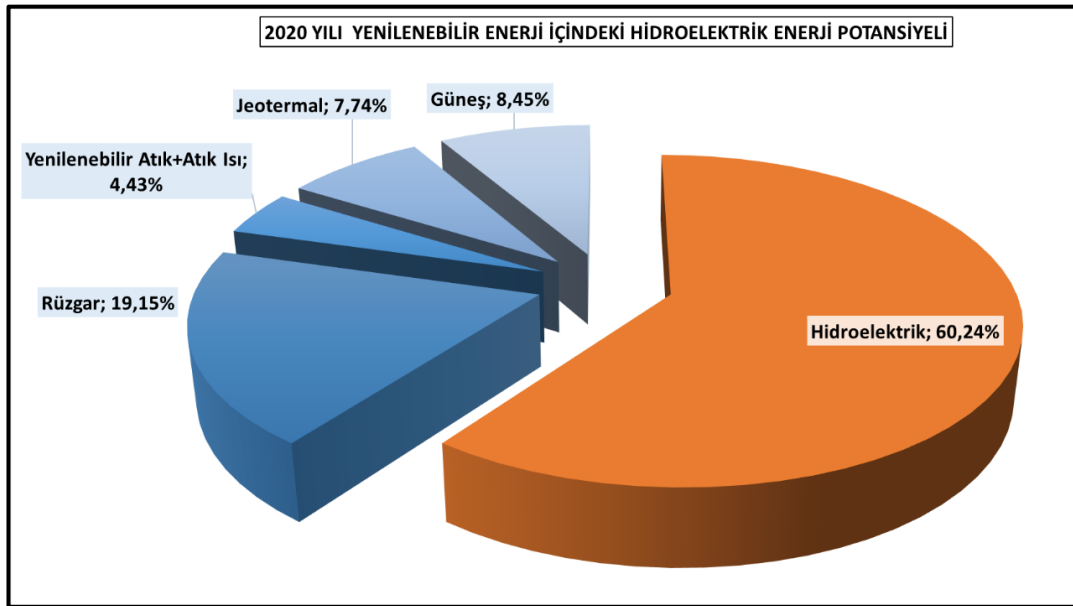
Ülkede meydana gelen bütün akışların %100 verim ile değerlendirilmesine teorik hidroelektrik enerji potansiyeli denilmektedir. Teorik hidroelektrik enerji potansiyelinin mevcut teknoloji ile yapılabilir kısmı teknik yapılabilir hidroelektrik enerji potansiyelidir. Teknik yapılabilir hidroelektrik enerji potansiyelin ekonomik, çevresel ve sosyal açıdan geliştirilebilir bölümü HES’lerin yapılabilirliği açısından önemli bir kavramdır.

Türkiye’de 2020 yılında toplam enerji üretimi 306.703,10 GWh ve yenilenebilir enerji kaynakları ile üretilen enerji miktarı ise 129.637 GWh’tir (TEİAŞ, 2021). Toplam enerji üretiminde yenilenebilir enerjinin payı %42,27, HES’in payı ise %25,46’dır (TEİAŞ, 2021). Şekil 8.’de Türkiye’de 2020 yılında üretilen elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı verilmiştir.



Şekil 8. 2020 Yılı Türkiye Elektrik Enerjisi Üretiminin Kaynaklara Göre Dağılımı

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisindeki en büyük payı HES'ler oluşturmaktadır. 2020 yılında 78.094,30 GWh elektrik enerjisi üretimi ile yenilenebilir enerji içerisindeki payı %60 olmuştur (TEİAŞ, 2021). Şekil 9.'da yenilenebilir enerji içerisindeki HES payı verilmiştir.



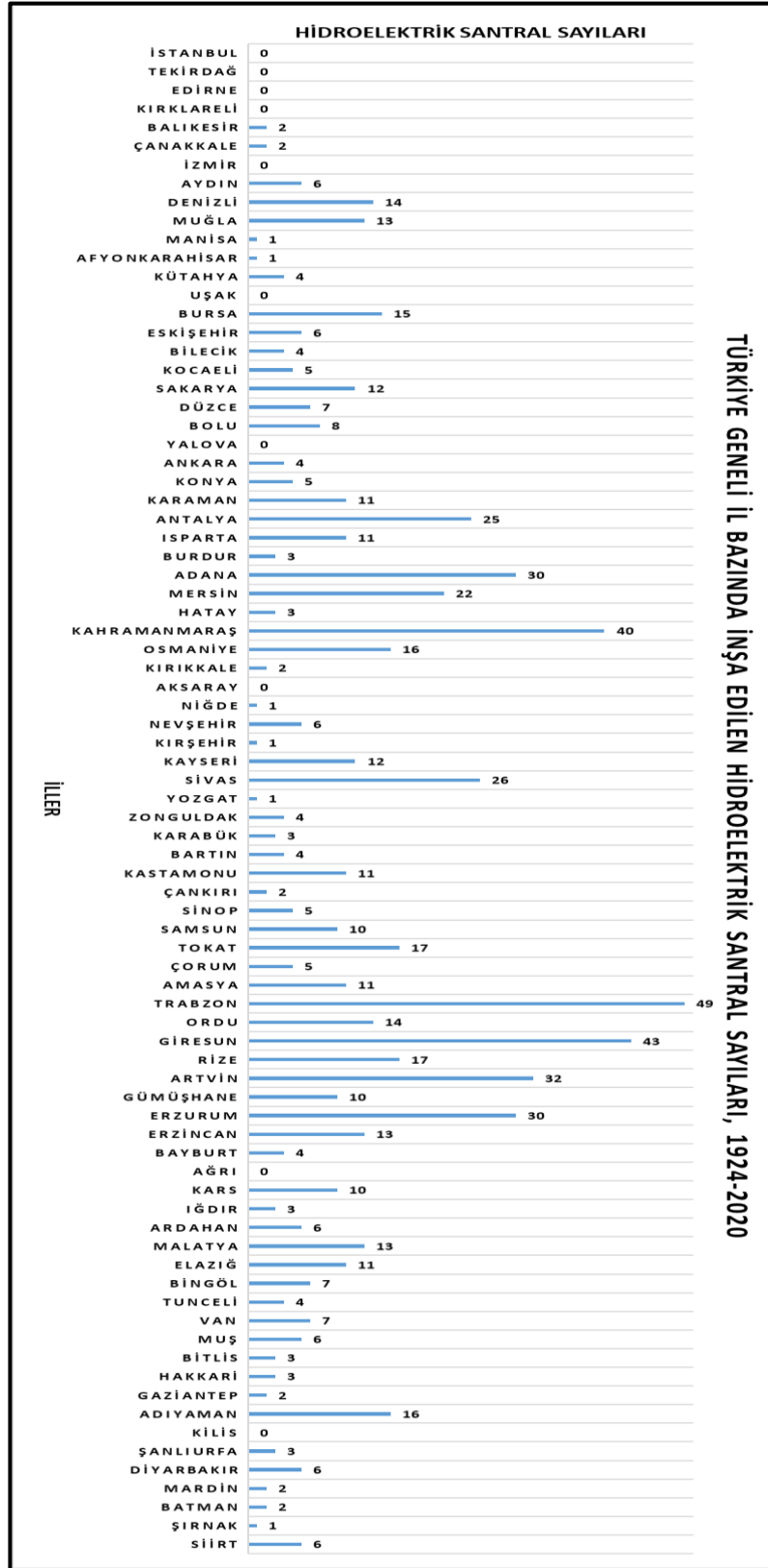
Şekil 9. 2020 Yılı Yenilenebilir Enerji İçindeki HES Payı

Türkiye’de hidroelektrik enerji, yenilenebilir enerji kaynakları içerisindeki en büyük paya sahiptir. Türkiye’de HES’lerin büyük ölçüde tercih edilmesinin, Türkiye’nin mevcut su potansiyelinin yüksek olması ve HES teknolojisinin diğer kaynaklara oranla daha basit ve ucuz bir teknoloji olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Bülbül ve Çokluk, 2017).

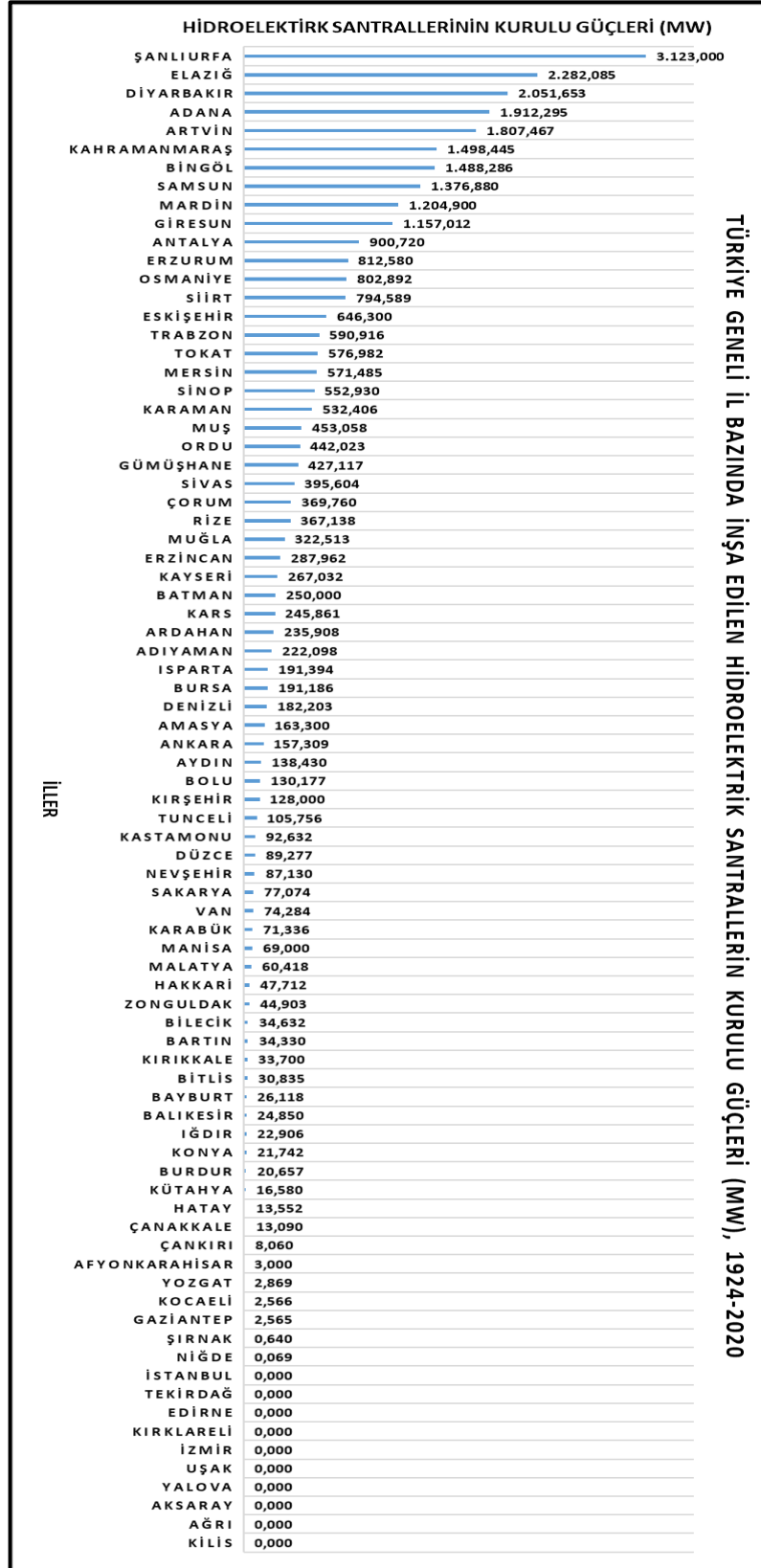
1920 ve 2020 yılları arasında DSİ ve özel sektör tarafından inşa edilen HES sayısı 714 adettir (DSİ, 2020). Türkiye geneli il bazında inşa edilen HES sayısı Şekil 10.’da verilmiştir. 1920-2020 yılları arasında 49 proje ile en fazla HES Trabzon ilinde inşa edilmiştir.

1920 ve 2020 yılları arasında DSİ ve özel sektör tarafından yapılan HES’lerin kurulu gücü 31.384,180 MW’dır (DSİ, 2020). Türkiye geneli il bazında inşa edilen HES’lerin kurulu gücü Şekil 11.’de verilmiştir. 1920-2020 yılları arasında kurulu gücün en yüksek olduğu il 3.123 MW ile Şanlıurfa’dır.

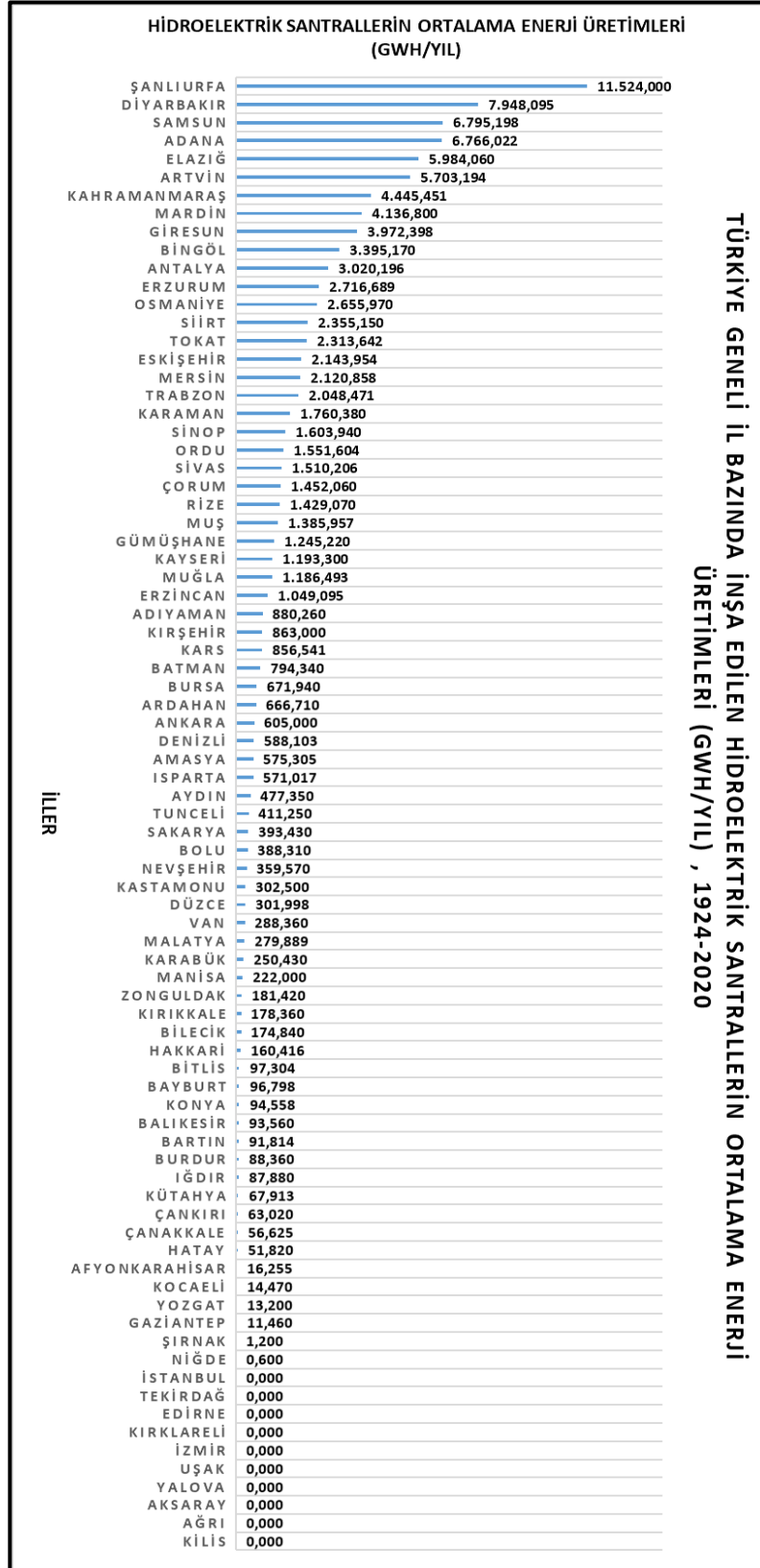
1920 ve 2020 yılları arasında DSİ ve özel sektör tarafından yapılan HES’lerin ortalama yıllık enerji üretimi 107.801,819 GWh’dır (DSİ, 2020). Türkiye geneli il bazında inşa edilen HES’lerin ortalama enerji üretimleri Şekil 12.’de verilmiştir. 1920-2020 yılları arasında ortalama enerji üretiminin en yüksek olduğu il 11.524 GWh/yıl ile Şanlıurfa’dır.



Şekil 10. 1924-2020 Yılları Arasında Türkiye Geneli İl Bazında İnşa Edilen HES Sayıları



Şekil 11. 1924-2020 Yılları Arasında Türkiye Geneli İl Bazında İnşa Edilen HES'lerin Kurulu Güçleri (MW)

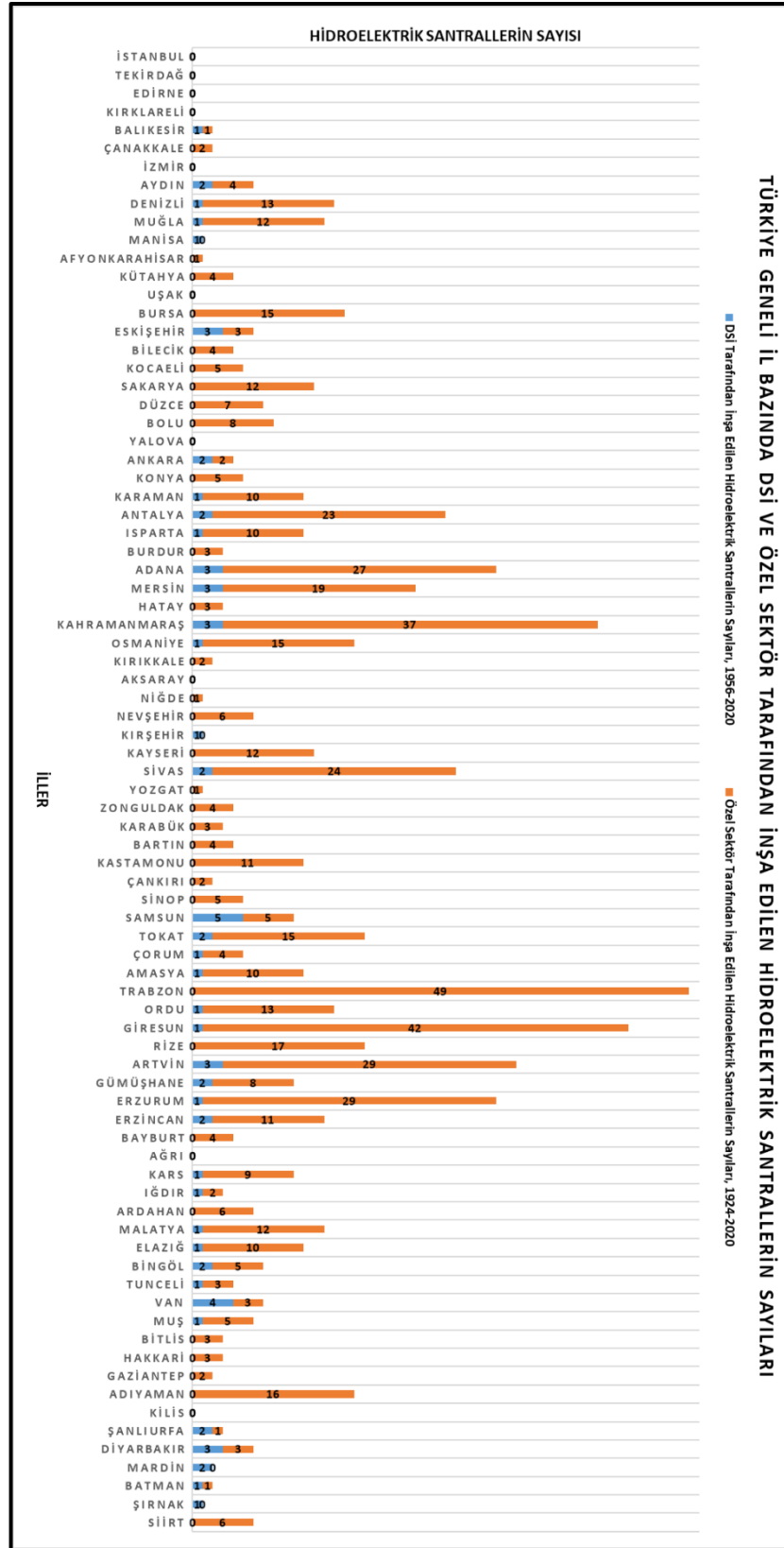


Şekil 12. 1924-2020 Yılları Arasında Türkiye Geneli İl Bazında İnşa Edilen HES'lerin Ortalama Enerji Üretimleri (GWh/Yıl)

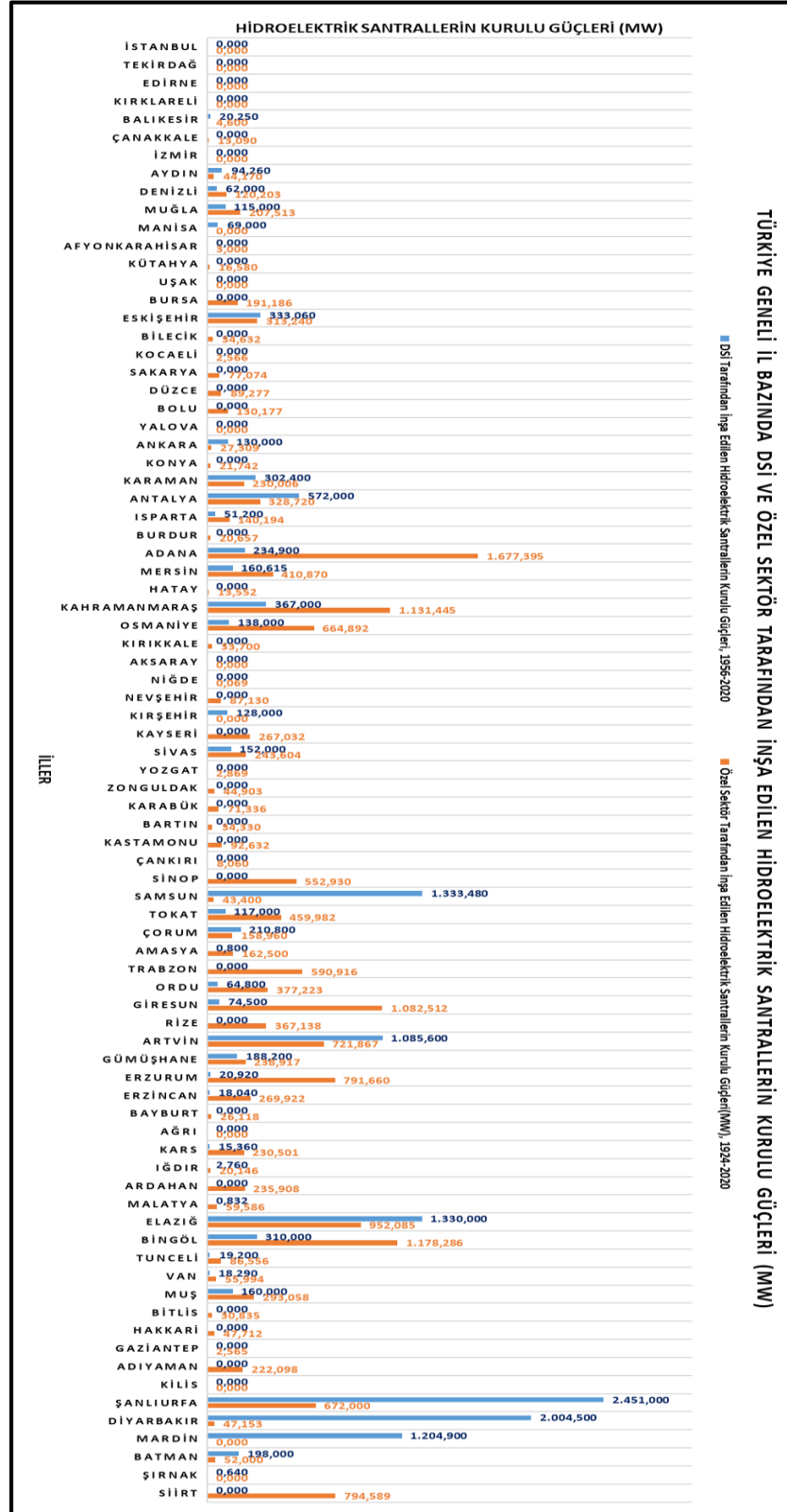
1954 ve 2020 yılları arasında DSİ tarafından 68 adet, 1924 ve 2020 yılları arasında özel sektör tarafından 646 adet HES inşa edilmiştir. (DSİ,2020). Türkiye geneli il bazında DSİ ve özel sektör tarafından inşa edilen HES sayısı Şekil 13.'de verilmiştir. DSİ genellikle baraj tipi HES inşa ettiği için santral sayısı özel sektöre göre oldukça azdır.

1954 ve 2020 yılları arasında DSİ tarafından faaliyete alınan HES'lerin kurulu gücü 13.759,307 MW, 1924 ve 2020 yılları arasında özel sektör tarafından inşa edilen HES'lerin kurulu gücü ise 17.624,873 MW'dir (DSİ, 2020). Türkiye geneli il bazında DSİ ve özel sektör tarafından inşa edilen HES'lerin kurulu gücü Şekil 14.'de verilmiştir.

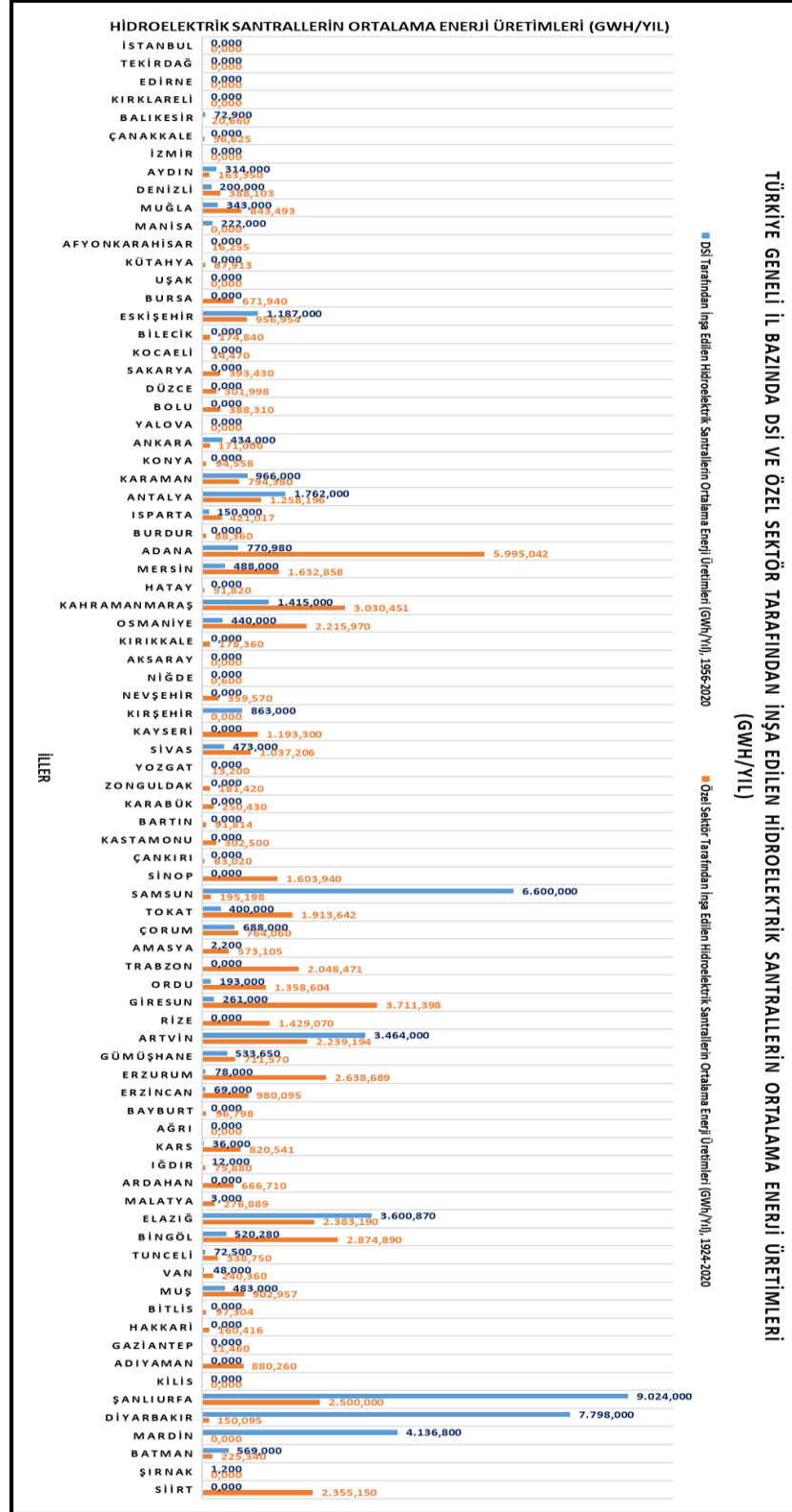
1954 ve 2020 yılları arasında DSİ'ce işletmeye alınan HES'lerin ortalama enerji üretimleri 48.694,380 GWh/yıl, 1924 ve 2020 yılları arasında özel sektör tarafından faaliyete alınan HES'lerin enerji üretimleri ise 59.107,439 GWh/yıl'dır (DSİ, 2020). Türkiye geneli il bazında DSİ ve özel sektör tarafından inşa edilen HES'lerin ortalama enerji üretimleri Şekil 15.'de verilmiştir.



Şekil 13. 1924-2020 Yılları Arasında Türkiye Geneli İl Bazında DSİ ve Özel Sektör Tarafından İnşa Edilen HES Sayıları

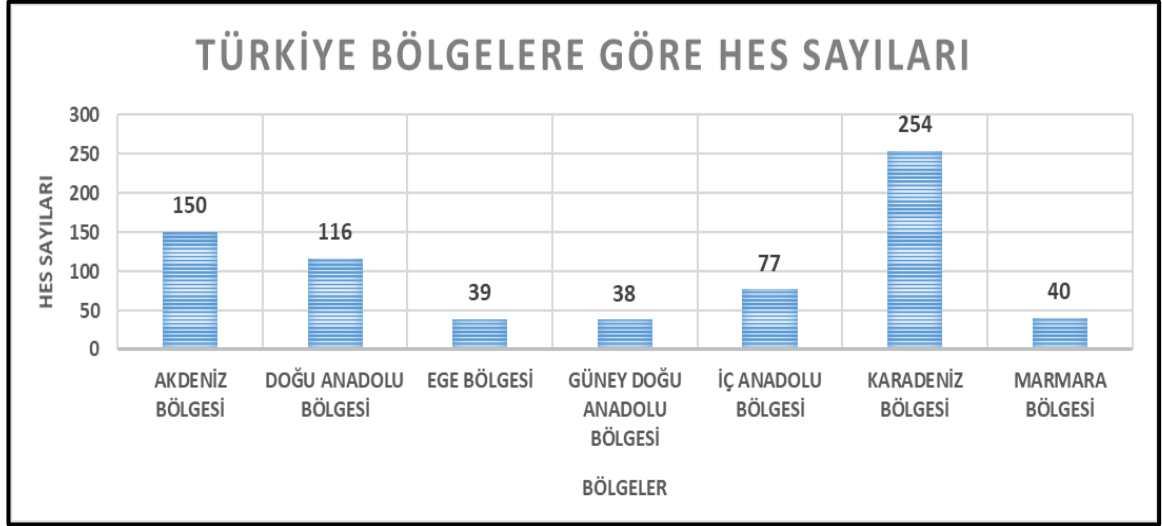


Şekil 14. 1924-2020 Yılları Arasında Türkiye Geneli İl Bazında DSİ ve Özel Sektör Tarafından İnşa Edilen HES'lerin Kurulu Güçleri (MW)



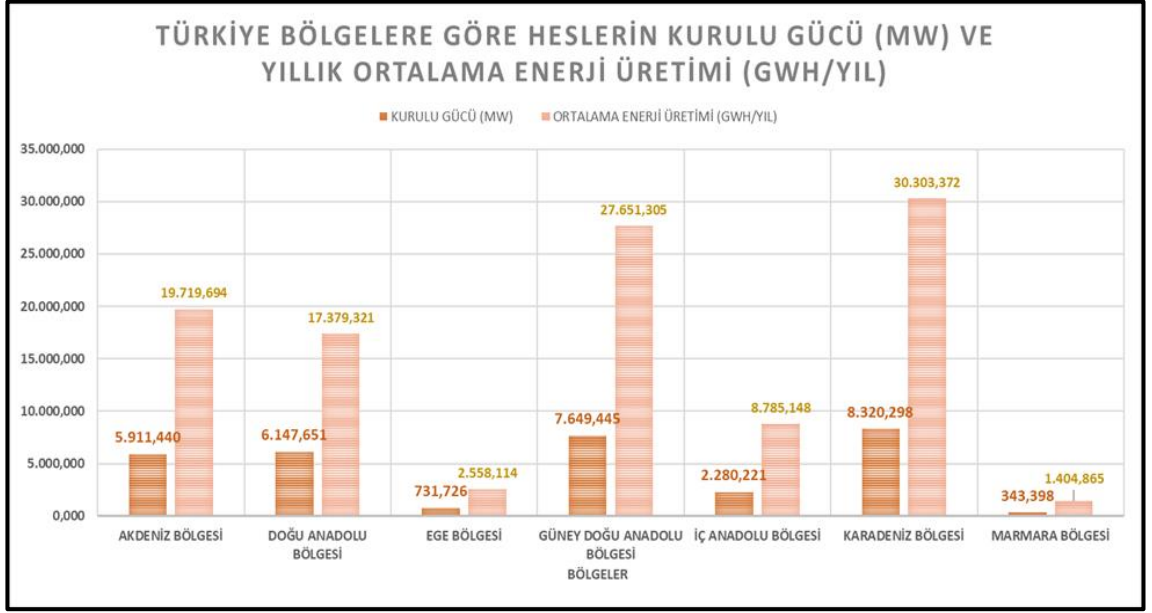
Şekil 15. 1924-2020 Yılları Arasında Türkiye Geneli İl Bazında DSI ve Özel Sektör Tarafından İnşa Edilen HES'lerin Ortalama Enerji Üretimleri (GWh/Yıl)

Türkiye’de 1924 ve 2020 yılları arasında bölge bazında inşa edilen HES sayıları Şekil 16.’da verilmiştir. Şekil 16. incelendiğinde 1924 ve 2020 yılları arasında inşa edilen HES sayısının en fazla olduğu bölgenin Karadeniz Bölgesi, en az olduğu bölgenin ise Güneydoğu Anadolu Bölgesi olduğu görülmektedir.



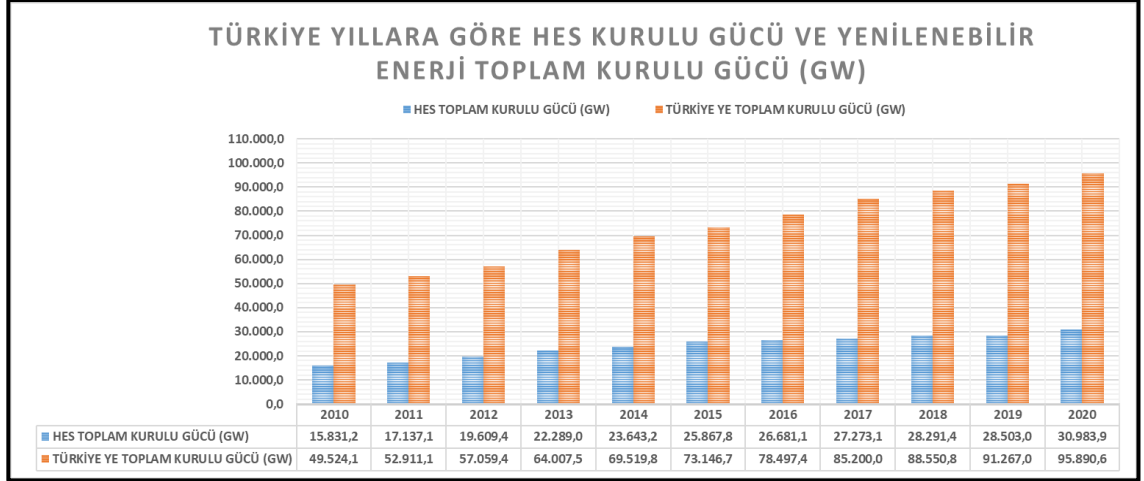
Şekil 16. 1924-2020 Yılları Arasında Türkiye Geneli Bölge Bazında İnşa Edilen HES Sayıları

Karadeniz Bölgesi vadi yamaçlarının dik, akarsu eğimlerinin ve yıllık yağış miktarının fazla olması nedeniyle HES’ler için tercih edilen bir konumdadır (TEİAŞ, 2021). Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde ise, Fırat-Dicle havzasının yıllık akış miktarının fazla olması HES potansiyelinin yüksek olduğunu göstermektedir (TEİAŞ, 2021). Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde baraj tipi HES’lerin yoğunlaşması nedeniyle santral sayısının az olmasına rağmen toplam hidroelektrik enerji üretimindeki payı büyüktür. 1924 ve 2020 yılları arasında Türkiye’de inşa edilen HES’lerin bölgelere göre kurulu gücü ve yıllık ortalama enerji üretim değerleri Şekil 17.’de verilmiştir. Şekil 17.’de görüldüğü üzere, kurulu gücün ve yıllık enerji üretiminin en fazla olduğu bölge Karadeniz Bölgesi’dir (DSİ, 2020).



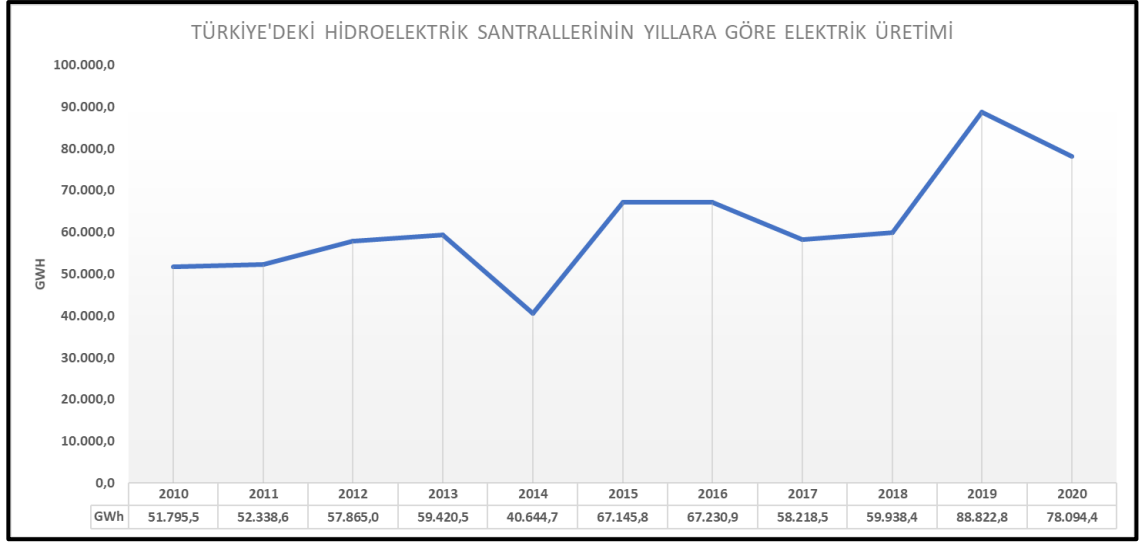
Şekil 17. Bölgelere Göre Kurulu Güç (MW) ve Yıllık Ortalama Enerji Üretimi (GWh/Yıl)

Türkiye’de 2010 ve 2020 yılları arasındaki elektrik enerjisi toplam kurulu gücü ve HES kurulu gücü Şekil 10.’da verilmiştir. Şekil 10.’a göre 2010 yılında elektrik enerjisi toplam kurulu gücü içindeki HES kurulu gücü %31,96 iken 2020 yılında %32,31 olduğu görülmektedir (TEİAŞ, 2021). Yıllara göre toplam elektrik enerjisi içindeki hidrolik enerjisi payı %30 ile %35 arasında değişmektedir. Toplam elektrik enerjisi kurulu gücü artarken hidroelektrik enerjisi kurulu gücü de artmış, dolayısıyla toplam elektrik enerjisi kurulu gücü içindeki oran sabit kalmıştır.



Şekil 18. Yıllara Göre Toplam Kurulu Gücü ve Hidroelektrik Enerji Santrali Kurulu Gücü (MW)

Hidroelektrik enerji kurulu gücünde yıllara bağlı olarak artış görülmesine rağmen, enerji üretiminde aynı oranda artış elde edilememiştir. Türkiye’de 2010 ve 2020 yılları arasında HES kurulu gücü ile elektrik üretim verileri Şekil 19.’da verilmiştir. Şekil 19.’a bakıldığında 2010 ve 2020 yılları arasında HES kurulu gücü artmasına rağmen enerji üretiminde düşüşler yaşandığı görülmektedir. 2010 ve 2020 yılları arasında HES kurulu gücü %95 artmasına rağmen enerji üretimindeki artış %50 seviyelerinde olmuştur (TEİAŞ, 2021). 2014 yılında hidroelektrik enerji kurulu gücü artarken elektrik enerjisi üretimindeki düşüşün nedeni EPDK tarafından yenilenebilir enerji üretimine getirilen lisanslar ve düzenlemelerdir. Yıllara bağlı olarak kurulu gücün artmasına rağmen enerji üretiminde yaşanan dalgalanmalar, hidroelektrik enerji potansiyeline her zaman güvenemeyeceğimizi göstermektedir.



Şekil 19. Türkiye’deki Hidroelektrik Enerji Santrallerinin Yıllara Göre Elektrik Üretimi

Türkiye’de hidroelektrik enerji potansiyelinin belirlenmesi için yapılan çalışmalarda, 433 milyar kWh, teorik olarak gerçekleştirilebilir potansiyel ve 216 milyar kWh, teknik olarak yapılabilir potansiyel olarak belirlenmiştir (DSİ, 2021). Teknik olarak yapılabilir hidroelektrik potansiyelin, ekonomik, çevresel ve sosyal açıdan uygulanabilirliği ise 180 milyar kWh/yıl’dır. 2021 yılı verilerine göre, 180 milyar kWh/yıl olarak belirlenen yapılabilir toplam potansiyelin faaliyete alınan kısmı 109 milyar kWh/yıl’dır. Bu değer, toplam yapılabilir hidroelektrik potansiyelinin yaklaşık %60’ına karşılık gelmektedir (DSİ, 2021).

2005 ve 2021 yılları arasında DSİ tarafından yayımlanan faaliyet raporları incelenmiş ve detayları aşağıda verilmiştir.

2005, 2006, 2007 ve 2008 yılı faaliyet raporlarında, Türkiye’de teorik hidroelektrik potansiyelin 433 milyar kWh, teknik olarak değerlendirilebilir potansiyelin 216 milyar kWh, teknik ve ekonomik olarak değerlendirilebilir potansiyelin ise 130 milyar kWh olduğu belirtilmiştir (DSİ).

2009, 2010, 2011, 2012 ve 2013 yılı faaliyet raporlarında, Türkiye’de teorik hidroelektrik potansiyelin 433 milyar kWh, teknik olarak değerlendirilebilir potansiyelin 216 milyar kWh, teknik ve ekonomik olarak değerlendirilebilir potansiyelin ise 140 milyar kWh

olduğu belirtilmiştir. Avrupa Birliğinin yeşil enerjiyi desteklemesi kapsamında uyguladığı verdi indirimleri ve gelişen teknoloji ile birlikte teknik ve ekonomik olarak değerlendirilebilir potansiyelin 180 milyar kWh'ye artması hedeflenmiştir (DSİ).

2014 yılı faaliyet raporlarında, T¼rkiye'de teorik hidroelektrik potansiyelin 433 milyar kWh, teknik olarak değerlendirilebilir potansiyelin 216 milyar kWh, teknik ve ekonomik olarak değerlendirilebilir potansiyelin ise 150 milyar kWh olduğu belirtilmiştir. Gelişen teknoloji ile birlikte teknik ve ekonomik olarak değerlendirilebilir potansiyelin 170 milyar kWh'ye artması hedeflenmiştir (DSİ).

2015, 2016, 2017 ve 2018 yılı faaliyet raporlarında, T¼rkiye'de teorik hidroelektrik potansiyelin 433 milyar kWh, teknik olarak değerlendirilebilir potansiyelin 216 milyar kWh, teknik ve ekonomik olarak değerlendirilebilir potansiyelin ise 158 milyar kWh olduğu belirtilmiştir. Gelişen teknoloji ile birlikte teknik ve ekonomik olarak değerlendirilebilir potansiyelin 180 milyar kWh'ye artması hedeflenmiştir (DSİ).

2019 yılı faaliyet raporunda, T¼rkiye'de teorik hidroelektrik potansiyelin 433 milyar kWh, teknik olarak değerlendirilebilir potansiyelin 216 milyar kWh, teknik ve ekonomik olarak değerlendirilebilir potansiyelin ise 160 milyar kWh olduğu belirtilmiştir. Gelişen teknoloji ile birlikte teknik ve ekonomik olarak değerlendirilebilir potansiyelin 180 milyar kWh'ye artması hedeflenmiştir (DSİ).

2020 yılı faaliyet raporunda, T¼rkiye'de teorik hidroelektrik potansiyelin 433 milyar kWh, teknik olarak değerlendirilebilir potansiyelin 216 milyar kWh, teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal aıdan yapılabilir potansiyelin ise 180 milyar kWh olduğu belirtilmiştir. 2020 yılı sonu itibariyle, toplam potansiyelin faaliyete alınan kısmı 108 milyar kWh/yıl'dır. Gelişen teknoloji ile birlikte ilerleyen yıllarda 180 milyar kWh'nin üzerinde üretim yapılmasının hedeflendiği belirtilmiştir (DSİ).

2021 yılı faaliyet raporunda, T¼rkiye'de teorik hidroelektrik potansiyelin 433 milyar kWh, teknik olarak değerlendirilebilir potansiyelin 216 milyar kWh, teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal aıdan yapılabilir potansiyelin ise 180 milyar kWh olduğu

belirtmiştir. 2020 yılı sonu itibariyle, toplam potansiyelin faaliyete alınan kısmı 109 milyar kWh/yıl'dır. Gelişen teknoloji ile birlikte ilerleyen yıllarda 180 milyar kWh'nin üzerinde üretim yapılmasının hedeflendiği belirtilmiştir (DSİ).

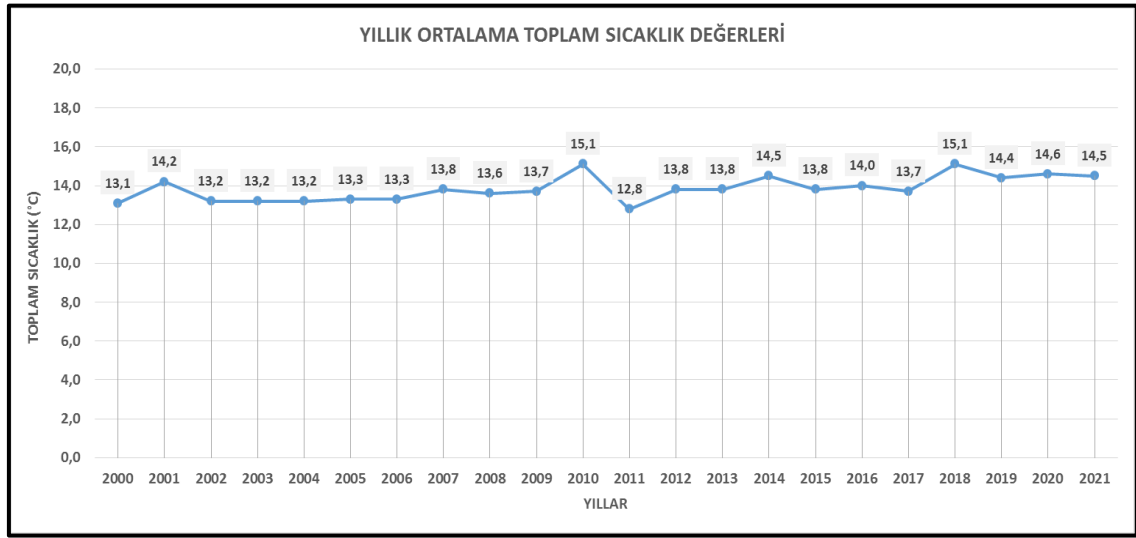
2005 ve 2021 yılları arasında yayımlanan faaliyet raporları incelendiğinde, ülkemizde mevcut olan hidroelektrik enerji potansiyelinin tamamının değerlendirilebilmesi için Özel Sektör-Devlet iş birliğinin artarak devam ettiği görülmektedir. DSİ'nin ana hedefinin ülkemizde mevcut olan HES potansiyelinin tamamını değerlendirmek olduğu, iklim değişikliği ve yağışlarda yaşanan rejim bozukluğunun çevresel açıdan gerçekleştirilebilir HES potansiyeline etkisinin ele alınmadığı tespit edilmiştir. Zaman içerisinde inşa edilen HES'lerin çevresel yükünün dikkate alınmadığı görülmektedir. Artan teknoloji ile birlikte teknik ve ekonomik olarak gerçekleştirilebilir HES potansiyelinin artması beklenen bir durumken, iklim değişikliği, artan sıcaklıklar ve yağışlarda yaşanan rejim bozuklukları nedeniyle çevresel açıdan gerçekleştirilebilir HES potansiyelinin yeniden değerlendirilmesi ve gerekirse azaltılması gerektiği düşünülmektedir.

4.8. İklim Değişikliğinin HES'ler Üzerine Etkileri

İklim değişikliği, uzun zaman diliminde yavaş yavaş meydana gelen, önemli etkilere neden olan küresel değişikliklere verilen isimdir (Türkeş ve ark, 2000).

Türkiye yarı-kurak bir iklime sahiptir (DSİ, 2021). Yağış rejimi, aylık veya mevsimlik meydana gelen yağışlar olarak tanımlanmaktadır (Aydın, 2014). Yağış rejimi, mevsim ve bölgelere bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Aydın, 2014). Türkiye'deki yenilenebilir enerjinin büyük bir çoğunluğunu oluşturan HES'lerin sürdürülebilirliği için iklim değişikliğine bağlı olarak yağış miktarının azalması ve kuraklığın artması en büyük tehdit unsurlarından biridir (Bulut, 2021). Akdeniz ikliminde yer alan Türkiye için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen, 2000 ve 2020 yılları arasındaki sıcaklık ve yağış verileri ele alındığında kuraklığın zaman içerisinde artış eğiliminde olduğu görülmektedir.

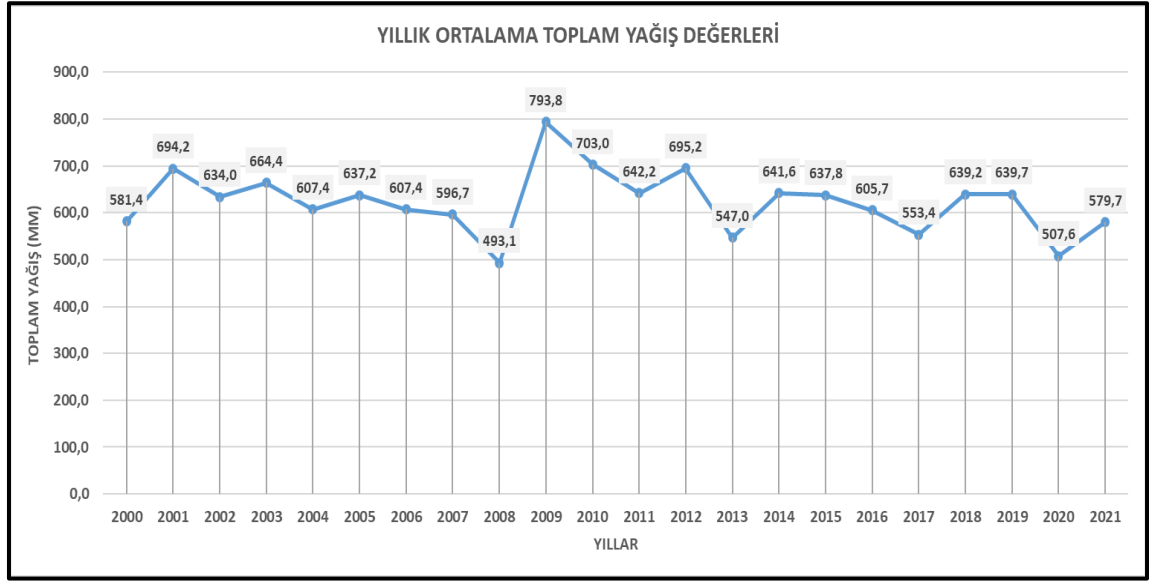
Türkiye’de iklim değişikliği etkisi ile sıcaklıklarda artış meydana gelmektedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden alınan verilere göre 2000 ve 2020 yılları arasında Türkiye ortalama sıcaklığı 13,9 °C’dir (MGM, 2021). 2000 ve 2020 yılları arasındaki sıcaklık değerleri Şekil 20.’de verilmiştir. Türkiye’deki sıcaklık ortalamasının yıllara göre artış eğiliminde olduğu, özellikle 1990 yılından itibaren yaşanan sıcaklık artışları dikkat çekmektedir. 1970 ve 2021 yılları arasında, ortalama sıcaklık değerinin 1,4 °C arttığı tespit edilmiştir.



Şekil 20. Yıllık Ortalama Toplam Sıcaklık Değerleri

İklim değişikliğine bağlı olarak, artan sıcaklığın yanı sıra yıllık yağış miktarlarında da düzensizlikler görülmektedir. Yağış miktarlarında düzensizliklerin meydana gelmesi, HES’ler üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır.

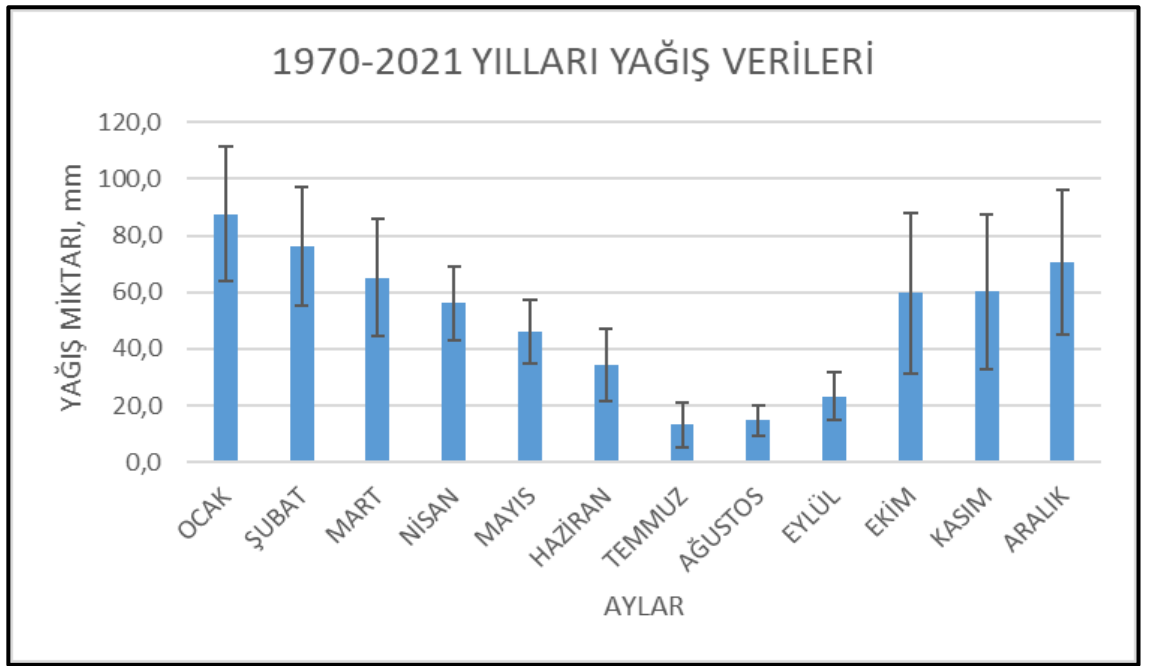
Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan, 2000-2021 yılları arasında meydana gelen toplam yıllık yağış verileri Şekil 21.'de verilmiştir. Türkiye'de 2000-2021 yılları arasında yıllık toplam yağış ortalaması 622,8 mm'dir. 2021 yılı yıllık ortalama yağış miktarı ise 579,7 mm'dir. 2000-2021 yılları arasında yağışın en fazla olduğu sene 793,8 mm ile 2009, en az yağışlı sene ise 493,1 mm ile 2008 senesi olmuştur (MGM, 2021).



Şekil 21. Yıllık Ortalama Toplam Yağış Miktarı

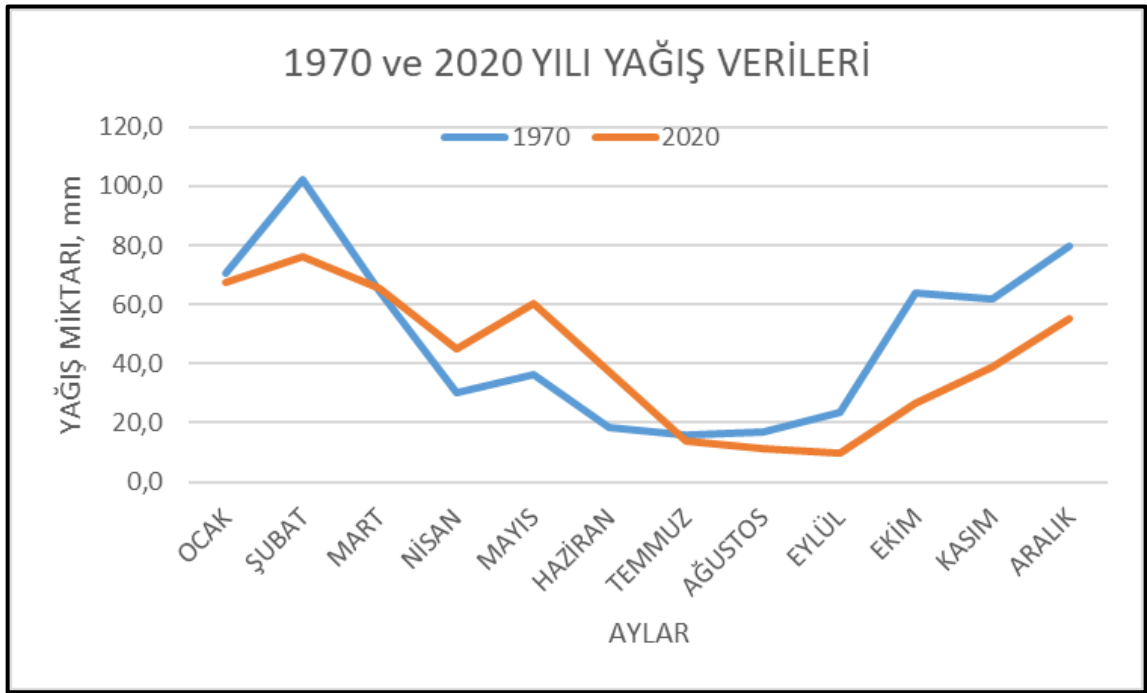
Yıllık yağış miktarının azalması ve yağışlarda meydana gelen rejim bozukluğu ile özellikle nehir- kanal tipi HES'lerin enerji üretim veriminde düşüşler meydana gelmektedir. Su kütlesinin baraj yapılarında depolanmasından kaynaklı rezervuar tipi HES'ler, yağış miktarlarındaki düşüşten doğrudan etkilenmese de enerji üretimlerinde kayıplar meydana gelmektedir.

1970 ve 2021 yılları arasında aylara göre yağış miktarı ve standart sapmaları Şekil 22.'de verilmiştir. Şekil 22.'de görüldüğü gibi yıl içerisinde en çok yağış alan aylar Ocak, Şubat ve Aralık aylarıdır. Şekil 22.'ye göre, özellikle yağışlı mevsimlerin çok salınım göstermeye başladığı ve standart sapmalarının büyük olduğu görülmektedir (MGM, 2021). Standart sapmanın büyük olması, düzensizliğin fazla olduğu anlamına gelmektedir. Yağışlı mevsimlerde istenilen yağışların elde edilememesi ve düzensizliğinin fazla olması sonucunda, HES'lerin enerji üretim veriminde kayıplar meydana gelmektedir. Bu durum istenilen enerjinin üretilmemesine neden olmaktadır.



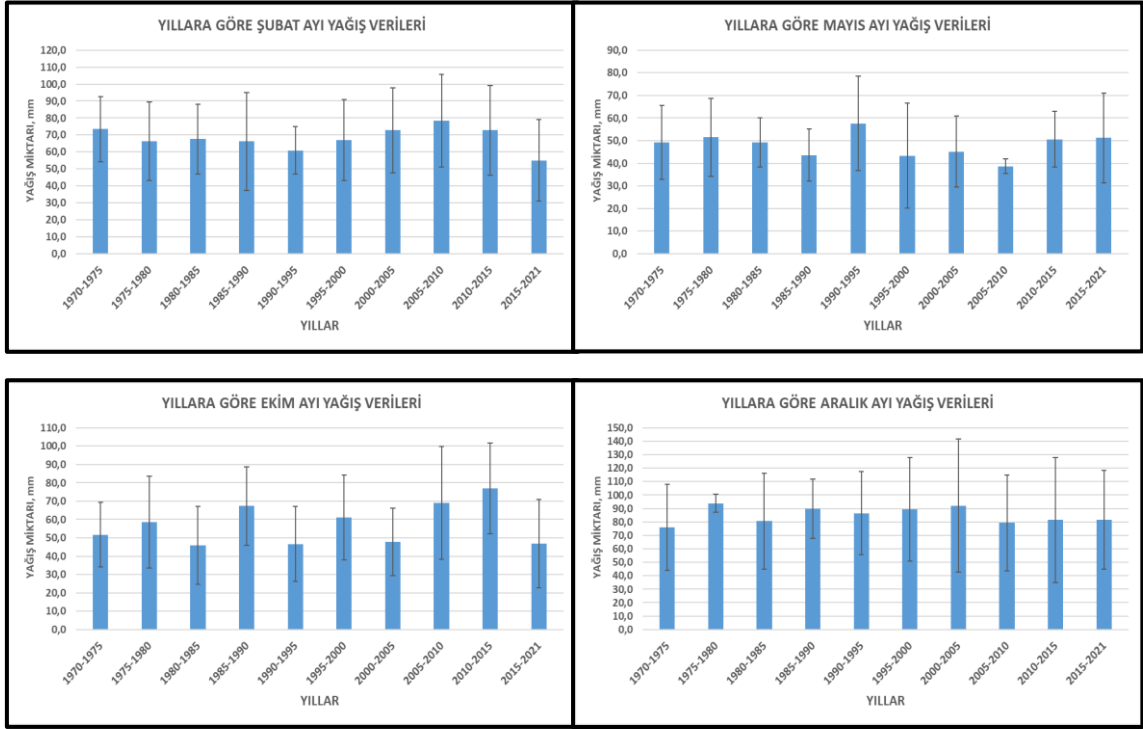
Şekil 22. 1970-2021 Yılları Arasındaki Yağış Miktarları ve Standart Sapmaları

1970 ve 2020 yıllarında aylara göre meydana gelen yağış verileri Şekil 23.'te verilmiştir. 1970 ve 2020 yıllarında meydana gelen aylık yağış miktarlarına bakıldığında, kış aylarında yağışların azaldığı ve yağışlı zamanların değiştiği görülmektedir (MGM, 2021). Şekil 23.'de, 2020 yılında 1970 yılına göre kış mevsimindeki yağışlarda azalma, ilkbahar mevsimindeki yağışlarda ise artma meydana geldiği görülmektedir. Bu durum, mevsimlerin ve yağışlı zamanların değiştiğinin bir göstergesi olarak kabul edilebilmektedir.



Şekil 23. 1970 ve 2020 Yılı Yağış Verileri

1970-2020 yılları arasında Şubat, Mayıs, Ekim ve Aralık aylarında meydana gelen yıllık ortalama yağış miktarı ve standart sapma değerleri Şekil 24.'te verilmiştir. Zaman içerisinde, yıllık ortalama yağış değerlerinde değişkenlikler ve standart sapma değerlerinde artış meydana gelmiştir. Bu durum yağış rejiminde meydana gelen düzensizliği ifade etmektedir (MGM,2021).

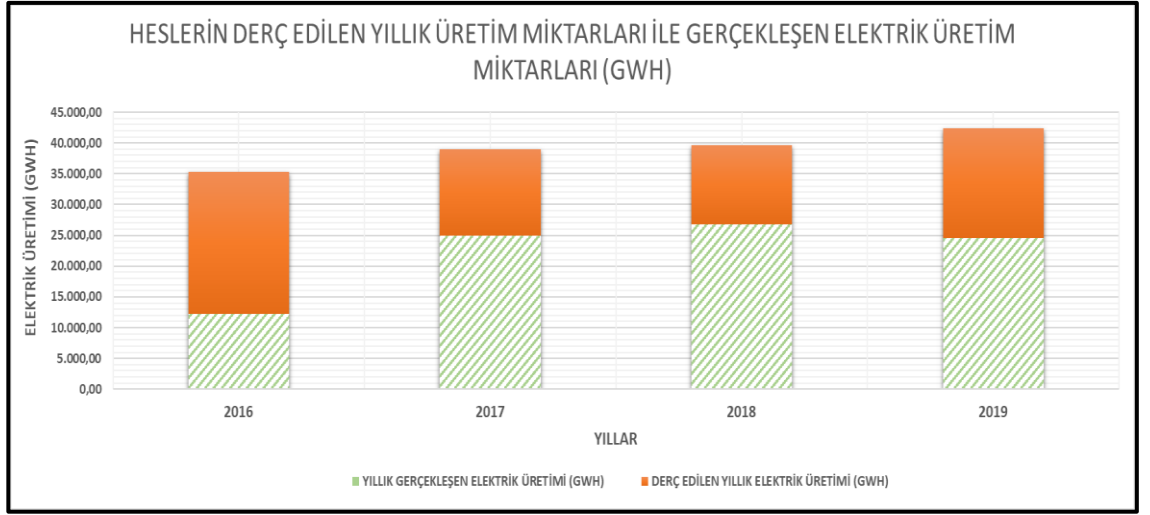


Şekil 24. 1970 ve 2020 Yılları Arasında Aylık Yağış Verileri

HES'lerde enerji üretimi, debi değeri ile doğrudan ilişkilidir. Yaz aylarında yağışın düşmesine bağlı olarak debinin düşmesi ile üretilecek enerjinin az olması muhtemeldir ve HES planlamalarında bu durum göz önüne alınmalıdır. Ancak kış aylarında da beklenen yağışın gelmemesi veya yağışlarda yaşanan düzensizlik neticesinde, istenilen enerji üretimi yapılamamakta ve bunun sonucunda hidroelektrik enerji üretimi planlanan üretimin altında kalabilmektedir. Yağışın düzenli olması ve yavaş akışa geçmesi HES verimini etkileyen önemli parametrelerdendir. Belirli bir zaman diliminde meydana gelmesi gereken yağışın kısa sürede yeryüzüne inmesi, yağışın hızlı akışa geçmesine sebep olmaktadır. Bu durum sonucunda HES'lere gelen su kütlesi fazla olsa da santral kapasitesi üzerinde su işlenemeyeceği için debinin yüksek olması enerji üretimini olumlu

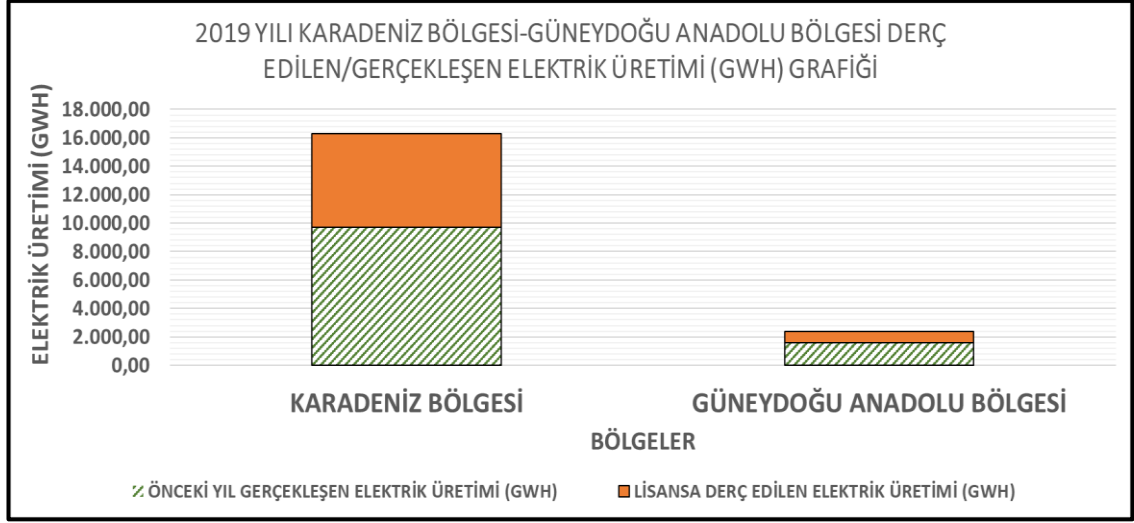
yönde etkilememektedir. Dolayısıyla yağışların düzensizleşmesi HES verimini olumsuz yönde etkilemektedir.

Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması'na kayıtlı HES'lerin 2016 ve 2019 yılları arasında derç edilen ve gerçekleşen yıllık üretim miktarı Şekil 25.'te verilmiştir. 2016 ve 2019 yılları arasındaki enerji üretim miktarına bakıldığında, lisansa derç edilen yıllık üretimlerinin altında kaldığı görülmektedir (YEKDEM, 2016-2019). 2016 yılında lisansa derç edilen yıllık üretim miktarının %34,76'sı gerçekleşirken, 2019 yılında bu oran %57,92 olmuştur (YEKDEM, 2016-2019).



Şekil 25. Derç Edilen ile Gerçekleştirilen Yıllık Elektrik Üretim Miktarları

HES'ler ile enerji üretiminin en yüksek olduğu Karadeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde 2019 yılında lisansa derç edilen ve gerçekleşen üretim miktarları Şekil 26.'da verilmiştir. YEKDEM'e tabi olan HES'lerde Karadeniz Bölgesi'nde %59 verim ile üretim gerçekleştirilirken, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde üretim veriminin %66 olduğu tespit edilmiştir (YEKDEM, 2016-2019).



Şekil 26. 2019 Yılı Derç Edilen ile Gerçekleştirilen Yıllık Elektrik Üretim Miktarı Karadeniz-Güneydoğu Anadolu Bölgesi

İklim değişikliğine bağlı olarak yıllık yağış miktarı azalmakta ve ortalama sıcaklık artış göstermektedir. Bu durum HES'ler üzerinde olumsuz etki oluşturmakta ve santrale gelen suyun debisinin düşmesi sonucunda enerji üretimindeki verim azalmaktadır.

4.9. Hidroelektrik Enerji Santralleri Çevresel ve Sosyal Etkileri

Hidroelektrik enerjinin yenilenebilir, ucuz ve yerli kaynak olması Türkiye için önemli bir enerji kaynağı olarak nitelendirilmesine neden olmaktadır. Mevcut teknoloji ile en çok tercih edilen yenilenebilir enerji kaynağıdır. Günümüzde işletmede olan modern HES'lerin enerji üretme verimleri yüksektir.

HES'lerin elektrik enerjisi üretimine olan katkısının göz ardı edilemez seviyede olması ile birlikte, kuruldukları bölgedeki çevresel ortam ve sosyal hayat üzerinde olumsuz etkiler de bırakabilmektedir. HES'lerin çevresel etkileri inşaat, işletme ve kapatma dönemi olarak ele alındığında aşağıdaki hususlar ön plana çıkmaktadır:

4.9.1. İnşaat döneminde meydana gelen çevresel ve sosyal etkiler

- İnşaat döneminde yapılan kazı çalışmaları sırasında toprağın sıyrılması erozyona neden olabilmektedir (Catolico, 2021).

- İnşaat faaliyetleri sonucunda meydana gelen toz oluşumu ile bölge ekosistemi olumsuz etkilenmektedir. Tozlar bitki örtüsünü kaplamakta ve fotosentez verimi düşen bitkilerin direncini de düşürebilmektedir (WWF, 2016).
- İnşaat döneminde sera gazı oluşumu meydana gelmektedir (Rahman ve ark, 2022).
- HES ile enerji üretimi sırasında karbon emisyonları meydana gelmese de inşaat döneminde meydana gelebilmektedir (Rahman ve ark, 2022).
- HES'lerin bazılarında su, kanal veya borular yardımı ile taşınmaktadır. Bu durumda suyun taşınacağı güzergâh uzunluğunda tahribat meydana gelmektedir. Kanal veya borular yardımı ile kurulan iletim hattından bölgedeki yaban hayatı olumsuz şekilde etkilenmektedir (WWF, 2013).
- Proje inşaatı sırasında meydana gelen hafriyat atıklarının yönetimi, Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) raporunda mevzuata uygun bir şekilde belirtilse de ilgili atıklar uygunsuz bir şekilde dere yataklarına dökülebilmektedir. Bu durum sucul ekosistemi ve bölgedeki bitki örtüsünü olumsuz etkilemektedir (WWF, 2013).
- İnşaat döneminde ormanlık alanlarda azalma meydana gelmektedir (Rahman ve ark, 2022).
- Bazı HES projelerinde yeni yollar açılabilir. Daha öncesinde insan ulaşımının mümkün olmadığı yerlere yolların yapılması yaban hayatı için tehdit oluşturmaktadır (WWF, 2013).

4.9.2. İşletme dönemi içerisinde meydana gelen çevresel ve sosyal etkiler

- Rezervuarlı HES yapımında oluşturulan barajlar, bölgede yaşayan balığın/canlıların göç sürecini olumsuz etkilemektedir (Bovo ve ark, 2021).
- HES'lerin büyük ölçekli olması nedeniyle kuruldukları bölgede su kaynaklarında kirlenme, sel baskınları, bölge ekosisteminde bozulma, habitat kaybı ve hidrolojik değişiklikler görülmektedir (Bovo ve ark, 2021).
- Su kaynakları üzerinde, suyun sıcaklığındaki ve tuzluluğundaki artış, çözülmüş oksijen değerindeki azalma gibi olumsuz etkiler görülmektedir. Bu doğrultuda suyun ekolojik özellikleri değişmekte ve bölge ekosistemi zarar görmektedir (Rahman ve ark, 2022).

- Baraj tipi HES'lerin mansabından geçen su, nehir suyuna göre daha soğuktur. Bu sıcaklık farkı canlı ekosistemini olumsuz etkilemektedir (Rahman ve ark, 2022).
- Barajlar, üzerine kuruldukları suyun akışını değiştirmektedir. Birçok balık türü üremek için akıntıya ters yüzmektedir. Balıkların üremesinde olumsuz etki göstermekte ve bölgedeki popülasyonu azaltmaktadır (Rahman ve ark, 2022).
- Barajların yapımı ile durgunlaşan su, içinde biriken besin maddelerinin artmasına ve yabancı otların birikmesine neden olmaktadır. Bunun sonucunda ötrofikasyon meydana gelmektedir (Rahman ve ark, 2022).
- Baraj tipi HES yapımında bölge halkı yer değiştirmek zorunda kalabilmektedir (Rahman ve ark, 2022).
- HES yapımında, arkeolojik ve sosyal alanlar zarar görebilmektedir (Rahman ve ark, 2022).
- Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) raporunda belirlenen can suyu miktarının bırakılmaması sonucunda bölge ekosisteminde bozulma ve canlı ekosistemi üzerinde baskı meydana gelmektedir (WWF, 2016).

4.9.3. Kapatma dönemi içerisinde meydana gelen çevresel ve sosyal etkiler

- İnşaat dönemi ile benzer çevresel ve sosyal etkiler meydana gelmektedir.
- Kapatma dönemindeki inşaat faaliyetleri sonucunda sera gazı oluşumu meydana gelmektedir (Rahman ve ark, 2022).

4.10. Türkiye'de HES'ler İçin ÇED Süreci

4.10.1. ÇED nedir?

ÇED, yapılması gereken bazı faaliyetlerin çevrede meydana getirebilecek her türlü olumlu veya olumsuz etkinin belirlenmesi, meydana gelebilecek olumsuz etkilerin en aza indirilmesini amaçlayan, faaliyetin başlamasından biteceği son duruma kadar izleme ve denetleme mekanizması oluşturmayı hedefleyen bir çalışma bütünüdür (Güler ve Çobanoğlu, 1994). Çevrenin düzen ve kalitesinde bir bozulma meydana gelmeden, planlanan faaliyetin hayata geçirilmesi ÇED'in ana hedefidir. Bu doğrultuda hazırlanan raporlara ÇED raporu denilmektedir. ÇED ile çevrede meydana gelebilecek olumsuz

etkilerin belirlenmesinin yanı sıra faaliyet alanında bulunan canlı popülasyonunu etkileyebilecek zararların tespit edilip, belirlenmesi sağlamaktadır (Güler ve Çobanoğlu, 1994).

Faaliyet sahibi gerçekleştirilmesi planlanan faaliyet veya proje için, ÇED Yönetmeliği kapsamında değerlendiriliyor ise ÇED Başvuru Dosyasını, ÇED Raporunu veya Proje Tanıtım Dosyasını sunup, onaylatmakla yükümlüdürler (ÇED, 2014).

ÇED Yönetmeliği kapsamında kalan projeler için “Çevresel Etki Değerlendirmesi Olumlu” kararı veya “Çevresel Etki Değerlendirmesi Gerekli Değildir” kararı verilmedikçe proje için yatırıma başlanamamakta ve izin, onay yapı ve kullanım ruhsatı verilememektedir (ÇED, 2014).

4.10.2. HES’ler için ÇED ve Seçme, Eleme Kriterleri uygulama yöntemi

ÇED Yönetmeliği’ne göre, hacmi 10 milyon m³ üzerinde olan göl, baraj veya göletler ve kurulu gücü 10 MWm ve üzerinde olan HES’ler, ÇED sürecine tabidir. Göl hacmi 5-10 milyon m³ olan baraj ve göletler ve kurulu gücü 1-10 MWm olan HES’ler ise ÇED Yönetmeliğine göre Seçme Eleme Kriterleri kapsamında kalmaktadır. Bu doğrultuda kurulu güç değeri 1 MW altında olan HES’ler, ÇED Yönetmeliği’nden muaf tutulmaktadır (ÇED, 2014).

HES’ler için ÇED (Ek-1 Listesi) Uygulama Süreci:

ÇED Yönetmeliğinin ek-1 listesinde yer alan, “ÇED Gereklidir” kararı verilen ve kapsam dışı değerlendirilen projelerde kapasite artışının yapılması ve/veya genişletilmesinin planlanması durumunda yeni kapasitenin ek-1 listesi kapsamında kalması durumunda ÇED Raporu hazırlanması zorunludur.

ÇED Yönetmeliği Ek-3 listesindeki Genel Format esas alınarak ÇED Başvuru Dosyası hazırlanmaktadır. Hazırlanan dosya Bakanlığa sunulur. Bakanlık ilgili başvuru dosyasını beş iş günü içerisinde inceler ve bu dosyanın bir örneği halka duyurulması için Valiliğe

gönderir. Duyuruda, sürecin başlamış olduğu ve dosyanın halkın görüşlerine açıldığı Bakanlık veya Valiliklerce halka duyurulur.

Halkın proje hakkında bilgilendirilmesi ve görüşlerin toplanması amacıyla Halkın Katılımı Toplantısı (HKT) düzenlenir. Toplantıdan on takvim günü öncesinde toplantının yeri, tarihi, saati ve konusu ulusal veya yerel gazetelerde ilan edilir. Toplantı Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürü veya görevlendireceği vekil gerçekleştirilir. Toplantı tutanağı, bir nüshası Valilikte kalması şartıyla Bakanlığa gönderilir. Halkın görüş ve öneri vermesi durumunda, zamanlama takvimi içerisinde Komisyona duyurulur. Komisyon üyeleri talep etmeleri halinde HKT'ye katılabilirler.

Bakanlıkça, komisyon üyesi kurum/kuruluş ve halkın görüş ve önerileri ile ÇED Raporu Özel Formatı hazırlanır. HKT'nin tamamlanmasını takiben bir ay içerisinde Format Bedeli yatırılır. Format bedelinin bir ay içerisinde yatırılmaması durumunda ÇED süreci sonlandırılır. Format bedelinin yatırılması ile yedi iş günü içerisinde Bakanlık tarafından özel format verilir. Yeterlik belgesine sahip firmalar tarafından hazırlanan ÇED Raporu on iki ay içerisinde Bakanlığa sunulur. Talep edilmesi halinde altı ay ek süre verilir. ÇED Raporunun bu süre zarfında sunulmaması durumunda ÇED süreci sonlandırılır. ÇED Raporunun Bakanlığa sunulması ile Bakanlık tarafından Özel Formata uygunluğu ve çalışma grubunda yer alması gereken uzmanlarca hazırlanıp hazırlanmadığı hakkında yapılan inceleme beş iş günü içerisinde tamamlanır. ÇED Raporunun Özel Formata uygun olmadığı veya belirlenen uzmanlar tarafından hazırlanmadığı tespit edilmesi durumunda, düzeltme yapılması için ÇED Raporu iade edilir. İade tarihinden bir ay içerisinde gerekli düzeltmelerin yapılması ile tekrar başvuru yapılır. ÇED Raporunun bir ay içerisinde sunulmaması veya yapılan düzeltmenin yeterli görülmemesi halinde ÇED süreci sonlandırılır. Bakanlıkça ÇED Raporunun Özel Formata uygun olarak hazırlandığı tespit edildiği durumlarda, ilgili rapor inceleme ve değerlendirme toplantısı için tarih ve yeri belirten yazı ile Komisyon üyelerine gönderilir. Halkın görüşüne açılan ÇED Raporu için inceleme değerlendirme sürecinin başladığı Bakanlık ve Valilik tarafından halka duyurulur. Duyuru tarihinden rapor nihai edilene kadar ki sürede, raporu incelemek isteyenler incelemelerini yapıp, Bakanlık veya Valiliğe görüş bildirebilirler. Valiliğe

bildirilen görüşler Bakanlığa iletilir. Bildirilen görüşler yetkili merci tarafından dikkate alınır ve yeterlik firmaları tarafından ÇED Raporuna yansıtılır.

ÇED Raporu, ilk inceleme değerlendirme toplantısını takiben on iş günü içerisinde Komisyon tarafından değerlendirilir. Komisyon üyeleri görüşlerini yazılı vermiş dahi olsa salt çoğunluk ile toplantı düzenlenir. Yapılan toplantıda ÇED Yönetmeliğinin 12'nci maddesi çerçevesinde değerlendirme yapıp, tamamlanan çalışmalar tutanak ile rapor edilir. Komisyon tarafından son hali verilen ÇED raporu, yeterlik belgesine sahip firmalar tarafından düzenlenip toplantı tarihinden itibaren on takvim günü içerisinde Bakanlığa sunulur. Sunulan raporda eksiklik tespit edilmesi halinde doksan takvim günü ek süre verilir. ÇED Raporunun ek süre içerisinde tamamlanıp yüklenmemesi halinde ÇED süresi sonlandırılır.

Komisyon tarafından incelenerek son şekli verilen ÇED Raporu, halkın görüş ve önerilerini almak üzere Bakanlık veya Valilik tarafından on takvim günü askıda ilan ve internet aracılığı ile görüşe açılır. Bakanlık halktan gelen görüş ve öneriler doğrultusunda ek çalışmalar yapılmasını ve Komisyonun yeniden toplanmasını isteyebilir.

Nihai ÇED Raporu ve ekleri için proje sahibi tarafından verilen taahhüt yazısı ve noter onaylı imza sirküleri beş iş günü içerisinde Bakanlığa sunulur. İlgili belgeler gerekçe belirtmeden beş iş günü içerisinde sunulmaz ise ÇED süreci sonlandırılır. Bakanlık, Komisyon çalışmaları ve halkın görüş ve önerilerini dikkate alarak on iş günü içerisinde "ÇED Olumlu" ya da "ÇED Olumsuz" kararını verir. Proje için verilen karar, Bakanlık ve Valilik tarafından askıda ilan ve internet aracılığı ile halka duyurulur.

"ÇED Olumlu" kararı verilen projeler için mücbir sebep bulunmaksızın yedi yıl içerisinde yatırıma başlanmaması durumunda ÇED Olumlu kararı geçersiz sayılır.

"ÇED Olumsuz" kararı verilen projeler için kararın verilmesine neden olan şartların değiştirilmesi ile yeniden başvuru yapılabilir.

HES'ler İçin Seçme Eleme (Ek-2 Listesi) Kriteri Uygulama Süreci

ÇED Yönetmeliğinin ek-2 listesinde yer alan ve kapsam dışı değerlendirilen projelerde kapasite artışının yapılması ve/veya genişletilmesinin planlanması durumunda yeni kapasitenin ek-2 listesi kapsamında kalması durumunda seçme, eleme kriterlerine tabidir.

Bakanlıkça yeterlik verilmiş kurum ve kuruluŐlar tarafından Ek-4'e göre hazırlanan Proje Tanıtım Dosyası ve proje sahibi tarafından Proje Tanıtım Dosyası ve eklerinde yer alan bilgi ve belgelerin doğruluğunu belirten taahhüt yazısı Bakanlığa sunulur. Proje sahibi tarafından, Bakanlıkça belirlenen başvuru bedeli ödenir.

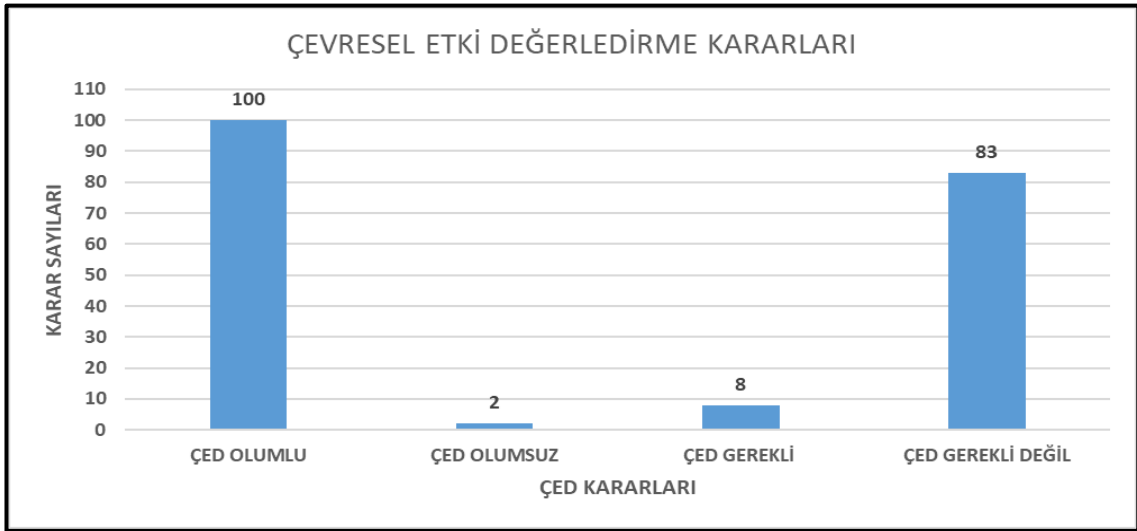
Bakanlık tarafından yeterlik verilmiş kurum/kuruluşların hazırlamış olduğu Proje Tanıtım Dosyası, Bakanlık tarafından ek-4'te yer alan kriterler çerçevesinde beş iş günü içinde incelenir. Başvuruda eksik bilgi ve belge olması durumunda Bakanlıkça yetki verilmiş kurum/kuruluŐlardan istenir. Bakanlık tarafından verilen eksikliğin altı ay içerisinde tamamlanamaması durumunda Proje Tanıtım Dosyasına ilişkin ÇED süreci sonlandırılır.

Proje Tanıtım Dosyaları Bakanlık tarafından ek-4'te yer alan kriterler çerçevesinde incelenir ve değerlendirilir. Bakanlık inceleme ve değerlendirmesini on beş iş günü içerisinde tamamlar ve proje hakkında verdiği "ÇED Gereklidir" veya "ÇED Gerekli Değildir" kararını beş iş günü içerisinde verir. Bakanlık tarafından verilen karar Valilik, proje sahibi ve Bakanlıkça yeterlik verilmiş kurum/kuruluŐlara bildirilir. Valilik, verilen kararı askıda ilan ve internet aracılığıyla halka duyurur.

"ÇED Gerekli Değildir" kararı verilen proje için beş yıl içinde mücbir sebep olmaksızın yatırıma başlanmaması durumunda ÇED Gerekli Değildir kararı geçersiz sayılır.

"ÇED Gereklidir" kararı verilen projeler için bir yıl içerisinde başvuru yapılmaması durumunda, verilen karar geçersiz sayılır.

T.C. Çevre ve Şehircilik, İklim Değişikliği Bakanlığı E-CED sitesinden alınan verilere göre, 2012-2022 yılları arasında 100 HES projesi için ÇED Olumlu kararı, 83 HES projesi için ÇED Gerekli Değildir kararı verildiği görülmektedir. Bu süre içinde yalnızca 8 HES proje için ÇED Gereklidir kararı ve yalnızca 2 HES projesi için ÇED Olumsuz kararı verildiği görülmektedir (e-CED, 2022). Bu, geçtiğimiz 10 yıl içinde yapılan HES projelerinin yalnızca ikisinin çevresel etkilerinin önemli ölçüde olacağını düşünüldüğü anlamına gelmektedir. Başvurusu yapılan tüm projelerin %99'unun kabul alması çevresel etkilerin yeterince dikkate alınıp alınmadığı konusunda soru işaretleri oluşturmaktadır. 2012 ve 2022 yılları arasında HES projeleriyle ilgili verilen ÇED kararları Şekil 27.'de verilmiştir.



Şekil 27. 2012-2022 Yılları Arasında HES Projeleriyle İlgili Verilen ÇED Kararları

5. SONUÇ

Yenilenebilir enerji kaynakları içindeki en büyük payı HES'ler oluşturmaktadır. Ülkemizde 1924 ve 2020 yılları arasında inşa edilen HES'lerin sayıları, kurulu gücü ve ürettikleri enerji verileri incelenmiş ve HES'lerin Karadeniz Bölgesi'nde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Türkiye'de HES sayısı ve kurulu güçte yıllara göre sürekli bir artış görülmesine rağmen, enerji üretiminde aynı oranda artış elde edilememiştir. Türkiye yarı-kurak iklimde yer almaktadır. İlerleyen yıllarda ülkemiz için kuraklık kaçınılmaz bir sonuçtur. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan 1970 ve 2020 yıllarındaki yağış

miktarları incelendiğinde, mevsimlerin kaydığı görülmektedir. Yaz aylarında enerji üretim veriminin düşük olduğu HES'lerde, mevsimlerin kayması ile kış aylarında da istenilen debinin gelmemesi sonucunda enerji üretiminde daha fazla kayıplar meydana gelmektedir. İklim değişikliğinin etkisi ile yıllara göre sıcaklığın artması, yağış rejiminde yaşanan düzensizlikler ile HES enerji üretim verimini düşürmektedir. YEKDEM'e kayıtlı HES'lerin enerji üretim miktarlarına bakıldığında, yıl içinde üretilen enerjinin lisansa derç edilen miktarın altında kaldığı tespit edilmiştir. DSI'nin hazırlamış olduğu faaliyet raporları incelendiğinde, hidroelektrik enerji potansiyeli belirlenirken iklim değişikliği ve yağışlardaki rejim bozukluğunun etkilerinin ele alınmadığı görülmektedir. İklim değişikliği ve yağışlarda meydana gelen düzensizliğe bağlı olarak ülkemiz için hidroelektrik enerji potansiyeli yeniden değerlendirilmelidir. Yıllara bağlı olarak kurulu gücün artmasına rağmen enerji üretiminde yaşanan dalgalanmalar, hidroelektrik enerji potansiyeline her zaman güvenemeyeceğimizi göstermektedir. Ülkemizde bulunan tüm hidroelektrik enerji potansiyelini kullanmak yerine, çevresel etkilerin detaylı incelenerek, bölgede kurulacak HES'lerden sadece çevrenin taşıyabileceği seviyede olan projelerin hayata geçirilmesi önerilmektedir.

5.1 SWOT Analizi

GÜÇLÜ YÖNLER	ZAYIF YÖNLER
<ul style="list-style-type: none">• Yenilenebilir enerji kaynakları içindeki en büyük paya sahiptir.• İşletme ömürleri uzundur.• Enerji üretimindeki kayıplar oldukça azdır.• HES'lerin çalışması için herhangi bir yakıtta ihtiyaç yoktur.	<ul style="list-style-type: none">• İnşaat ve kapatma döneminde sera gazı oluşumu meydana gelmektedir.• Baraj yapımı nedeniyle bölge halkının yer değiştirmesine ihtiyaç duyulmaktadır.• Baraj yapıları canlı hayatını olumsuz etkilemektedir.• HES'ler ile birlikte balık türleri ve bitki örtüsü zarar görmektedir.• Suyun nehirden santrale taşınması sırasında açılan kanallar veya boru sistemleri, yaban hayvanların geçişini engellemektedir.• İnşaat aşamasında meydana gelen hafriyatın çeşitli nedenler ile dere yataklarına dökülmesi sonucunda çevre kirliliği meydana gelmektedir.• Enerji üretimi ile suyun büyük bir çoğunluğu kullanılmaktadır. Geriye kalan can suyu miktarı ile suyun akış hızı azalmakta ve sudaki çözülmüş oksijen konsantrasyonunun azalmasını neden olmaktadır.• Hazırlanan ÇED raporlarında havza bazında bütüncül bir yaklaşım yoktur.
FIRSATLAR	TEHDİTLER
<ul style="list-style-type: none">• Enerjide dışa bağımlılığı azaltmaktadır.• Büyük ölçekli HES'ler ile enerji üretimi ekonomiktir.• Eğimin fazla olduğu tepelik alanlarda daha az arazi ile enerji üretimi gerçekleştirilmektedir.• Bölge halkına iş ve istihdam imkânı yaratmaktadır.• Elektrik enerjisinin olmadığı kırsal alanlara katkı sağlamaktadır.	<ul style="list-style-type: none">• Ülkemizin kuraklık ile karşı karşıya kalması durumunda HES'ler olumsuz etkilenecektir.• İklim değişikliği ile yağışlı mevsimlerin kaymasına bağlı olarak enerji üretim veriminde düşüşler yaşanmaktadır.• Yağışlarda yaşanan rejim bozukluğu enerji üretim verimini olumsuz etkilemektedir.• Yıllar içerisinde kurulu güç artsa da enerji üretiminde aynı oranda artış yoktur.

KAYNAKLAR

- Acar, E. (2008). Türkiye'deki Rüzgar ve Hidroelektrik Enerji Potansiyellerinin Karşılaştırılması ve Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi. 2008.
- Alkan, M. M. Batı Karadeniz Havzasının Hidroelektrik Santrallerinin Durumu ve Bazı HES Tesislerinin Elektrik Enerji Üretimlerinin İncelenmesi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi. 2017.
- Akarçesme, Y. (2019). Hidroelektrik Potansiyelin Türkiye Açısından Önemi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi. 2019.
- Akdoğan, M. (2006). Enerji Kaynakları ve Doğu Karadeniz'in Hidroelektrik Potansiyel Dengesi Etüdü. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi. 2006.
- Akkuş Dağdeviren, S. Sürdürülebilir Kalkınma Çerçevesinde Türkiye'de Çevre Politikaları. Yüksek Lisans Tezi. Başkent Üniversitesi. 2019.
- Alkan, S. (2019). Katıllı Çayı Havzası'nın Coğrafi Özellikleri ve Hidroelektrik Santrallerinin Çevresel Etkileri. Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi. 2019.
- Antalya Havzası Kuraklık Yönetim Planı, (2018). Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. Ankara. 2018.
- Atmış, E., Günşen, H.B. ve Gençay, G. (2014). Nehir Tipi Hidroelektrik Santrallerin Çevresel ve Sosyal Etkilerinin Ulusal Havza Yönetimi Stratejisi Ekseninde Değerlendirilmesi. I. Ulusal Havza Yönetimi Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Ankara, 2014.
- Aydın, O. (2014). Türkiye'de Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Kıyım Yöntemi ile Belirlenmesi. Doktora Tezi. Ankara Üniversitesi. 2014.
- Batı Akdeniz Havzası Kirlilik Önleme Eylem Planı, (2016). Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü. Ankara. 2016
- Berkun, M. (2016). Nehir Tipi Hidroelektrik Santrallerin Tasarımı ve Çevresel Boyutu Üzerine Genel Bir Bakış.
- Beyazıt, Y. (2021). The Effect of Hydroelectric Power Plants on the Carbon Emission; An Example of Gokcekaya Dam, Turkey. *Renewable Energy*, 170 (2021) 181-187.
- Bovo, A.A.A., Barros Ferraz, K.M.P.M., Ribeiro, F., Lins, L.V., Oliveira Barbosa, M., Prevedente, F.H., Disconzi, G.M.S., Sebaio, F., Tarso Zuquim Antas, P., Camargo Guaraldo, A., Resende, A., Lagos, A.R., Barbosa, A.E.A., Silveira, L.F. (2021). Remaining Suitable Areas for the Critically Endangered Brazilian Merganser (*Mergus octosetaceus*; Aves, Anseriformes) are Threatened by Hydroelectric Power Plants. *Perspectives in Ecology and Conservation* 19 (2021) 329-337.
- Bulu, A. (2011). Hidroelektrik Santrallerin Tasarım ve Hesap Esasları. Okan Üniversitesi Yayınları: 15
- Bulut, U. (2021). Türkiye'deki İklim Değişikliği ve Yağış Dağılımının Hidroelektrik Kazanımı Üzerindeki Etkileri. Yüksek Lisans Tezi. İskenderun Teknik Üniversitesi. 2021.

Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü. Su Türbinleri Deney Föyü. 2010.

Bülbül, S.E., ve Çokluk, Y. (2017). Türkiye’de Gelişen Enerji Sektörü HES’ler ve Kar Kaybı Sigortaları. Finansal Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi, Cilt 9, Sayı 17, 1309-1123, 89-114, 2017.

Büyük Menderes Nehir Havzası Yönetim Planı, (2018). Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. Ankara. 2018.

Catolico, A.C.C., Maestrini, M., Strauch, J.C.M., Giusti, F. and Hunt, J. (2021). Socioeconomic Impacts of Large Hydroelectric Power Plants in Brazil: A Synthetic Control Assessment of Estreito Hydropower Plant. Renewable and Sustainable Energy Reviews 151 (2021) 111508.

Ceyhan Havzası Kuraklık Yönetim Planı Hazırlanması Projesi, (2019). Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Taşkın ve Kuraklık Yönetimi Dairesi Başkanlığı. Ankara, 2022.

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, e-CED, URL: <https://eced-duyuru.csb.gov.tr/eced-prod/duyurular.xhtml>, (Erişim: 10.05.2022).

Çevresel Etki Değerlendirme Yönetmeliği. Resmi Gazete 29186 (25/11/2014)

Çukurçayır, M.A. ve Sağır, H. (2008). Enerji Sorunu, Çevre ve Alternatif Enerji Kaynakları. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Sayı 20, (2008), 257-278.

DSİ, 2020 Yılı Resmi Su Kaynakları İstatistikleri. URL: <https://dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/1499>. Erişim Tarihi: 05.05.2022

Dursun, B. ve Gokcol, C. (2010). The Role of Hydroelectric Power and Contribution of Small Hydropower Plants for Sustainable Development in Turkey. Renewable Energy, 36 (2011) 1227-1235.

Elektrik Piyasası Kanunu, Resmi Gazete 28603 (30/03/2013), Kanun No:6446.

Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik, Resmi Gazete 28001 (21/07/2011).

Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği, Resmi Gazete 30772 (12/05/2019).

Elektrik Piyasasında Üretim Faaliyetinde Bulunmak Üzere Su Kullanım Hakkı Anlaşması İmzalanmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik, Resmi Gazete 25150 (26/06/2003).

Gediz Havzası Kuraklık Yönetim Planı, (2019). Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. Ankara. 2019.

Gökdemir, M., Kömürcü, M.İ., Evcimen, T.U. (2012). Türkiye’de Hidroelektrik Enerji ve HES Uygulamalarına Genel Bakış. İMO Su Yapıları Kurulu. TMH – 471 – 2012/1.

Güler, Ç. ve Çobanoğlu, Z. (1994). Çevresel Etki Değerlendirmesi. İstanbul: Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi.

Güney, G. (2017). Porsuk Havzasında Küçük Ölçekli Hidroelektrik Enerji Potansiyelinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Anadolu Üniversitesi. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi. 2017.

International Hydropower Association, (2021). Hydropower Status Report, Sector Trends and Insights.

Kankal, M. ve Akçay, F. (2019). Doğu Karadeniz Havzası Hidroelektrik Enerji Durumunun İncelenmesi. Ömer Halis Demir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 8, Sayı 2, (2019), 892-901.

Kıratorun, E. ve Karaer, F. (2018). Su Yönetimi ve suyun Sürdürülebilirliği. Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi, 1(2): 151-159, 2018.

Kocabaş, M. ve ark. (2012). HES'ler ve Balıklar. Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi, 6(1): 128-131, 2013.

Kuzey Ege Havzası Kuraklık Yönetim Planı, (2018). Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. Ankara. 2018.

Küçük Menderes Nehir Havzası Yönetim Planı, (2020). Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. Ankara. 2020.

Meriç Ergene ve Marmara Havzaları Kuraklık Yönetim Planı Hazırlanması Projesi, (2022). Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Taşkın ve Kuraklık Yönetimi Dairesi Başkanlığı. Ankara, 2022.

Meriç-Ergene Nehir Havzası Yönetim Planı, (2018). Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. Ankara. 2018.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Resmi İstatistikler, Türkiye Ortalama Sıcaklık 2021. URL: <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceleristatistik.aspx?k=parametrelerinTurkiyeAnalizi>. (Erişim Tarihi: 10.05.2022).

Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Resmi İstatistikler, Türkiye Yağış 2021. URL: <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceleristatistik.aspx?k=parametrelerinTurkiyeAnalizi>. (Erişim Tarihi: 10.05.2022).

Özgen, N. ve Karadoğan S. (2013). Mekansal Etkileri Bakımından Hidroelektrik Santrallerin (HES) Swot Analizine Göre İncelenmesi: Alkumu ve Kirazlı Barajları Örneği (Siirt). İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü Coğrafya Dergisi, Sayı 26, Sayfa 21-45, İstanbul, 2013.

Pulat, E. (2009). Enerji Kaynakları ve Batı Karadeniz'in Hidroelektrik Enerji Potansiyeli. Yüksek Lisans Tezi. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi. 2009.

Rahman, A., Farrok, O. and Haque M. M.(2022). Environmental Impact of Renewable Energy Source Based Electrical Power Plants: Solar, Wind, Hydroelectric, Biomass, Geothermal, Tidal, Ocean and Osmotic. Renewable and Sustainable Energy Reviews 161 (2022) 112279.

Sakarya ve Susurluk Havzaları Kuraklık Yönetim Planı Hazırlanması Projesi, (2022). Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Taşkın ve Kuraklık Yönetimi Dairesi Başkanlığı. Ankara, 2022.

Sevilgen, G. Ve Kılıç, M. (2013). Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Sürdürülebilirlik Endeksi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 18, Sayı 1, (2013).

Seyhan Havzası Kuraklık Yönetim Planı, (2019). Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. Ankara. 2019.

T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Elektrik Piyasası Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması (YEKDEM) Listesi. URL: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-0-122/yenilenebilir-enerji-kaynaklari-destekleme-mekanizmasi-yekdem>. (Erişim Tarihi: 08.05.2022).

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Lisanslı Elektrik Üretimi. <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilebilirenerjiuretimfaaliyetlerilisanslielektrikuretimi#:~:text=Elektrik%20C3%BCretim%20faaliyeti%20i%20C3%A7in%20C3%B6ncelikli,ve%20benzeri%20belgelerin%20edinmesi%20gerekmektedir> – (Erişim: 25.05.2022).

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, (2022). DSİ 2021 Yılı Faaliyet Raporu. Ankara.

Teffer, B., Assefa, B. and Assefa. G. (2020). Assessing the Life Cycle Environmental Impacts of Hydroelectric Generation in Ethiopia. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 41 (2020) 700795.

TEİAŞ, (2021). Türkiye Elektrik Üretim-İletim 2020 Yılı İstatistikleri, URL: <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri>, Erişim Tarihi: 09.05.2022

TÜİK, 2021. Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2021-45500> – (Erişim Tarihi: 05.06.2022).

Türkeş, M., Sümer, U. M., Çetiner, G.,(2000). Küresel İklim Değişikliği ve Olası Etkileri. Çevre Bakanlığı, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Seminer Notları, ÇKÖK Gn. Md., Ankara.

Türkiye Elektrik Kurumu Dışındaki Kuruluşların Elektrik Üretimi, İletimi, Dağıtım ve Ticareti ile Görevlendirilmesi Hakkında Kanun, Resmi Gazete 18610 (19/12/1984), Kanun No: 3096.

Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun, Resmi Gazete 27809 (08/01/2011), Kanun No: 6094.

Yılankıran, N. ve Doğan, H. (2020). Türkiye'nin Enerji Görünümü ve 2023 Yılı Birincil Enerji Arz Projeksiyonu. Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi, Cilt 10, Sayı 2 (2020).

Yıldız, K. (1992). Hidroelektrik Santraller Hesap Esasları ve Projelendirilmesi. Devlet Su İşleri Matbaası, Ankara.

Yılmaz, A. (1995). Türkiye Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyelinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi. 1995.

Yılmaz, D. D. (2015). Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Rüzgar ve Hidroelektrik Enerji Üretiminde Birim Maliyetlerin Karşılaştırılmalı Analizi ve Türkiye Uygulaması. Doktora Tezi. Marmara Üniversitesi. 2015.

Yılmaz, M. (2012). Türkiye'nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi. Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, 4(2), (2012), 33-54.

Yolcubal, Erol. (2011). Hidroelektrik Santrallerinde Governor Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi. 2011.

WWF, (2013). 10 Soruda Hidroelektrik Santraller