

**TÜRKİYE HES POTANSİYELİ
VE
İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ETKİLERİ**

**HYDRAULIC POWER POTENTIAL OF TÜRKİYE AND
CLIMATE CHANGE IMPACTS**

Z. Fuat TOPRAK

TÜRKİYE HES POTANSİYELİ VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ETKİLERİ

Z. Fuat TOPRAK

Dicle Üniversitesi

Özet

Küresel boyuttaki nüfus artışına bağlı olarak enerji talebi artmaktadır. Gelişim yönünde değişen teknolojiye ve refah düzeyine bağlı olarak ihtiyaçlar çeşitlenerek artmaktadır. Bu ihtiyaçlar ise enerji tüketiminde çeşitlenmeye ve artışa neden olmaktadır. Dolayısıyla gün geçtikçe kişi başına düşen enerji tüketimi artmaktadır. Buna bağlı olarak araştırmacılar yeni enerji kaynaklarını araştırmaya ve keşfetmeye devam etmektedir. Bu arayış, daha çok ucuz, sürdürülebilir ve yenilenebilir temiz enerji kaynaklarının bulunması yönündedir. Bunun sonucu olarak güneş enerjisi sistemleri, rüzgâr, dalga, jeotermal, hidrojen, biokütle ve hidrolik enerji üretim sistemleri gelişmiştir. Bu çalışmada Türkiye'nin hidroelektrik santral (HES) potansiyeli ve iklim değişikliğinin bu potansiyel üzerindeki etkisine yer verilmiştir. Henüz teknik ve ekonomik olarak değerlendirilebilir hidrolik enerji potansiyelimizin tamamı işletmeye açılmamıştır. Bununla birlikte teorik (brüt) potansiyel hidrolik enerjimizin tamamı işletmeye açılabilir ki bu uygulamada mümkün değildir, 2040 yılı talep projeksiyonlarına göre toplam enerji talebimizin ancak %68,1'i karşılanabilmektedir. Mevcut potansiyel üzerindeki iklim değişikliğinin olumsuz yöndeki etkisi de dikkate alınır, teknik ve ekonomik olarak değerlendirilebilir tüm potansiyelimizin bir an önce işletmeye açılması gerekir. Bu bağlamda küçük HES'lerin önündeki mevzuat engellerinin kaldırılması, GAP'ın bir an önce tüm bileşenleri ile tamamlanması ve özellikle dağlık bölgelerde küçük HES'ler ile üretilen elektrik enerjisinin enterkonnekte şebekeden bağımsız olarak yerinde tüketiminin kolaylaştırılmasının bir zorunluluk haline geldiği söylenebilir.

Anahtar Kelimeler

Enerji, Yenilenebilir enerji, Hidrolik enerji, Türkiye, İklim değişikliği, HES

HYDRAULIC POWER POTENTIAL OF TÜRKİYE AND CLIMATE CHANGE IMPACTS

Z. Fuat TOPRAK

Dicle University

Abstract

Due to the global population growth, energy demand is increasing. Depending on the development in technology and welfare level, the needs increase and diversifies. These needs cause diversification and increase in energy consumption. Therefore, the energy consumption per person increases day by day. Accordingly, researchers research and discover new energy sources. This search is mostly towards finding cheap, sustainable and renewable clean energy sources. As a result, solar energy, wind, wave, geothermal, hydrogen, biomass and hydraulic energy production systems have developed. This study presents Türkiye's hydro electric power plant (HEPP) potential and the impact of climate change on this potential. The hydraulic energy of Türkiye, which technically and economically can be evaluated, has not been put into operation yet. However, even if all of our theoretical (gross) potential hydraulic energy is put into operation, which is not possible in practice, only 68.1% of our total energy demand can be met according to 2040 demand projections. Considering the negative impact of climate change on the existing potential, all of our technical and economically viable potential should be put into operation as soon as possible. In this context, it can be said that it has become a necessity to remove the legislative obstacles in front of small HEPPs, to complete the GAP with all its components as soon as possible, and to facilitate the on-site consumption of electrical energy produced by small HEPPs, especially in mountainous regions, independently of the interconnected grid.

Keywords

Energy, Renewable energy, Hydraulic energy, Türkiye, Climate change, HEPP

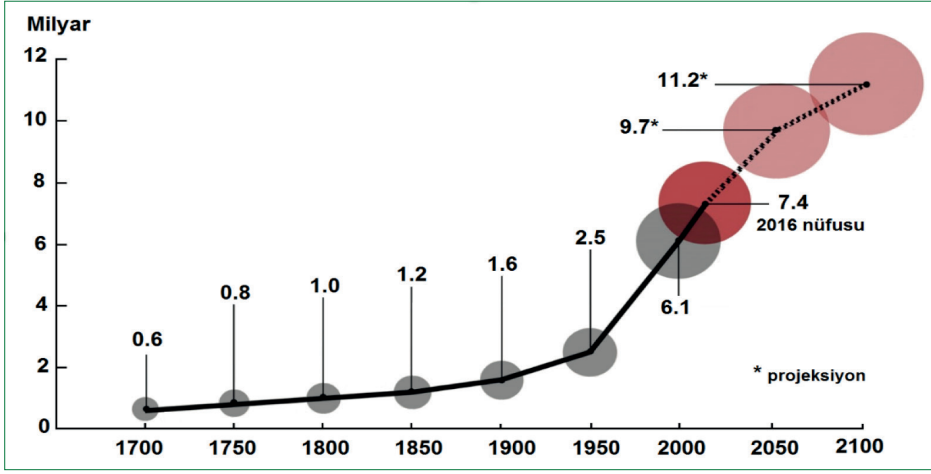
1. Giriş

Bilindiği üzere hidrolik enerji suyun potansiyel enerjisinin önce kinetik, akabinde mekanik ve neticede ise elektrik enerjisine dönüştürülmesi ile elde edilmektedir. Bu mekanizmaya en kolay imkân veren su kaynakları ise akarsulardır. Oysa küresel boyutta etkisini sürdüren iklim değişikliğinin olumsuz yönde en çok etkilediği tabii kaynakların başında ise su kaynakları gelmektedir. Yine çok iyi bilindiği gibi gerek yağışların gerek yeraltı ve yerüstü su kütlelerinin yeryüzündeki dağılımı konumsal ve zamansal açıdan homojen değildir. İklim değişikliği bu heterojenliği daha da artırmaktadır. Halihazırda sıcaklık artışı (küresel ısınma) şeklinde kendini gösteren iklim değişikliği aynı zamanda buzul ve kar kütleleri şeklinde olan tatlı su kaynaklarının eriyerek denizlere akmasına ve tuzlu suya dönüşerek doğrudan kullanılamayacak hale gelmesine neden olmaktadır. Diğer taraftan, akarsu ve göllerdeki suyun daha fazla buharlaşmasına ve kolayca yararlandığımız sıvı haldeki suyun gaz haline dönüşmesine ve doğrudan kullanılamayacak hale gelmesine neden olmaktadır. Bunun yanı sıra iklim değişikliği nedeniyle, kıştan artan nem (KAN) olarak bilinen bitkinin doğrudan kullandığı sıg toprak nemi gittikçe daha derinlere inmektedir. Dolayısıyla bitki kök bölgesi kuru kalmakta ve sulama suyuna daha çok ihtiyaç olmaktadır. Ayrıca su ihtiyacı için (özellikle sulu tarım için) yeraltı suyunu gittikçe daha derinlerden yeryüzüne çıkarma mecburiyeti hasıl olmaktadır. Bu da enerji tüketimini gittikçe artırmaktadır. Temiz ve çevre ile barışık, yenilenebilir ve ham madde tüketmeyen enerji kaynaklarının başında ise hidrolik enerji gelmektedir. Düzenli hidrolik enerji üretimi için yapılan baraj haznelerinin çok büyük alanları kaplaması, geniş çapta çevreyi, tarihi ve kültürel varlıkları ve sosyal hayatı etkilemeleri nedeniyle kamu ve özel müteşebbis günümüzde biriktürmesiz hidroelektrik santrallere (HES) yönelmiştir. Ülkemizin gerek biriktirmeli gerek biriktürmesiz hidrolik enerji potansiyeli olmakla birlikte iklim değişikliği nedeniyle bu potansiyel ciddi risk altındadır. Bu çalışmada, Türkiye HES potansiyeli ve iklim değişikliği etkileri ele alınmıştır. Bu amaçla öncelikle genel olarak enerji talebinin neden arttığı vurgulanmıştır. Bu vurgu, “Nüfus Artışının Hidrolik Enerji Üzerindeki Etkisi”, “Teknolojik Gelişme ve Refah Düzeyinin Hidrolik Enerji Üzerindeki Etkisi”, “Su Talebindeki Artışın Hidrolik Enerji Üzerindeki Etkisi” ve “Küresel İklim Değişikliğinin Hidrolik Enerji Üzerindeki Etkisi” başlıkları altında yapılmıştır. Ardından, dünyada ve ülkemizdeki enerji arz/talep dengesi ve hidrolik enerjinin diğer enerji kaynakları içerisindeki yeri ve geleceğine değinilmiştir. Sonuç olarak alınması gereken tedbirler önerilmiştir.

2. Nüfus Artışının Hidrolik Enerji Üzerindeki Etkisi

Dünya nüfusu hızla artmaktadır. Şekil 1’de geçmişten günümüze (1700 – 2022) gerçekleşen nüfus artışı ve geleceğe yönelik nüfus artış tahminleri verilmiştir. Toprak (2022), 2000 yılından itibaren nüfus artış hızında bir azalma olmakla birlikte bu durumun, dünya nüfusunun azalacağı anlamına gelmediğini ifade etmektedir. Bilindiği üzere günümüzde insan faaliyetlerinin neredeyse tamamı enerji tüketerek gerçekleşmektedir. Bir kısım faaliyetler doğrudan tüketime, bir kısmı ise dolaylı tüketime neden olmaktadır. Dolayısıyla enerji tüketimini, 1) doğrudan tüketim, 2) dolaylı tüketim şeklinde ikiye ayırmak mümkündür.

Neticede her iki tüketim türü de nüfus artışından etkilenmektedir. Nüfus artıkça, hane sayısı; hane sayısı artıkça evsel elektrik tüketimi artmaktadır. Bu tür bir tüketim doğrudan tüketime örnek olarak verilebilir. Diğer taraftan nüfus artışına bağlı olarak gıda, giyim ve benzeri ihtiyaçlarda da tüketim artmaktadır. Bu ihtiyaçların üretilmesi için yine elektrik enerjisine ihtiyaç duyulmaktadır. Dolaylı enerji tüketimine ise bu tür tüketimler örnek olarak verilebilir. Zira, daha fazla gıda üretimi için sulama suyuna, sulama suyu temini için de enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla nüfus artışına bağlı olarak enerjiye olan ihtiyacı, enerjiye olan ihtiyaç ise hidrolik enerjiye yani HES'lere olan ihtiyacı artırmaktadır.

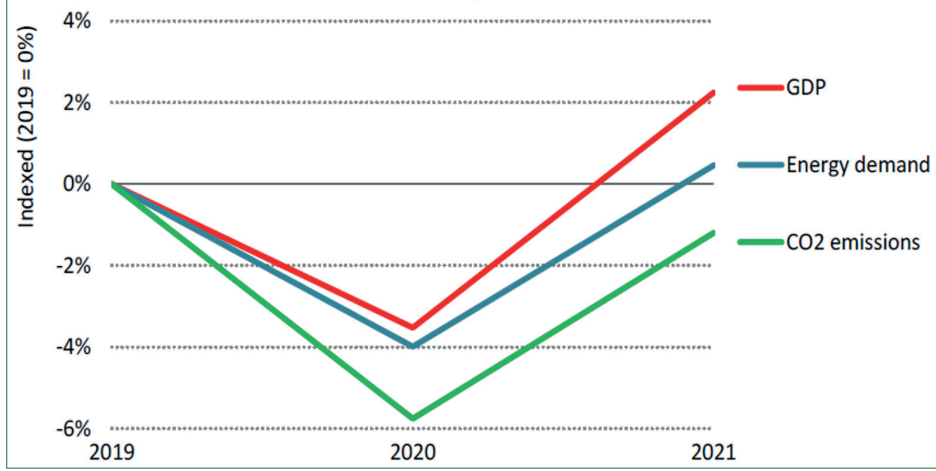


Şekil 1. Dünya nüfus artışı ve ileriye yönelik projeksiyonlar (Özgür, 2017)

3. Teknolojik Gelişme ve Refah Düzeyinin Hidrolik Enerji Üzerindeki Etkisi

Enerjiye olan ihtiyaç, teknolojik gelişmelere ve refah düzeyinin artmasına bağlı olarak da artmaktadır. Zira teknolojiye ilerleme ve paralel olarak refah düzeyinde meydana gelen yükselme insan ihtiyaçlarında çeşitliliğin artmasına neden olmaktadır. Gerek nitelik gerek nicelik olarak insan ihtiyaçlarının artması daha fazla enerji ihtiyacını beraberinde getirmektedir. Bu da daha fazla hidrolik enerji yani daha fazla HES demektir.

Nitekim Şekil 2'de verilen grafik bu ilişkiyi çok çarpıcı bir şekilde göstermektedir. Şekil 2, 2019-2021 yani Covid 19 küresel pandemi yılları için gayri safi küresel hâsıla, enerji talebi ve karbon emisyonunun değişimini göstermektedir (URL-3, 2022). Bilindiği üzere Covid 19 yıllarında neredeyse sanayi ve teknoloji durma noktasına gelmiştir. Bunun yanı sıra yaşam kalitesi de ciddi bir şekilde düşmüştür. Grafığe bakılırsa enerji talebinde de ciddi bir düşüş mevcuttur. Enerji tüketiminde düşüşü gösteren diğer bir parametre de aynı grafikte verilen karbon emisyonundaki düşüştür. Zira dünyada hala birincil enerji kaynakları fosil kaynaklardır. Şekilden görüldüğü üzere, gelişmişlik ve refah düzeyi enerji talebine, enerji talebi de karbon emisyonuna neden olmaktadır.



Şekil 2. 2019-2021 yılları arası için küresel boyutta ortalama gayri safi yurtiçi hâsıla, enerji talebi ve karbon emisyonunun değişimi (URL-3,2022)

4. Su Talebindeki Artışın Hidrolik Enerji Üzerindeki Etkisi

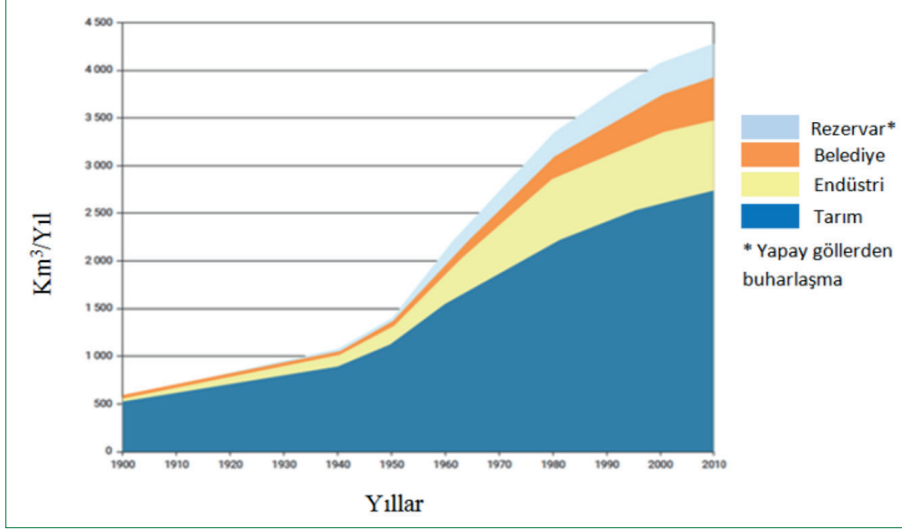
Küresel boyuttaki enerji talebinde meydana gelen artışın diğer bir nedeni de nüfusun, teknolojik gelişmelerin ve refah düzeyinin artmasına bağlı olarak içme-kullanma, sanayi ve sulama suyuna olan ihtiyacın artmasıdır. Loudière ve Gourbesville (2020), su talebindeki bu artışı, teknolojik yenilikler ve vatandaşların eğitim seviyesine bağlamaktadır. Yazarlar, Birleşmiş Milletler Dünya Su Geliştirme Raporunun (2020) Su ve İklim Değişikliği Bölümüne atıf ile 1900 yılından 2010 yılına kadar su tüketiminde sektörel bazda meydana gelen değişimi Şekil 4'teki grafik ile göstermektedir. Bu yazarların dışında çok sayıda araştırmacı nüfus artışına ve teknolojik ve refah düzeyindeki gelişmelere bağlı olarak gün geçtikçe suya olan ihtiyacın çeşitlenerek artacağını belirtmektedir (Karakaya ve Toprak, 2018; Toprak vd., 2018; Şevgin ve Toprak, 2021; Toprak, 2009; Toprak, 2016; Toprak vd., 2012; Songur vd., 2012). Dolayısıyla kişi başına düşen su tüketiminde de bir artış olacağını söylemek mümkündür. Bu nedenle dünyada çok sayıda bölgede su kıtlığının veya su stresinin yakın zamanda yaşanacağını tahmin etmek güç değildir. Artan su talebine bağlı olarak enerjiye olan ihtiyacın da artacağı açıktır. (şekil 3)

Su talebindeki artışın hidrolik enerji üzerindeki etkisini aşağıdaki gibi maddeler halinde özetlemek mümkündür:

Su talebi artınca;

- Su temini için daha fazla enerji tüketilmektedir. Bu da daha fazla hidrolik enerji talebi demektir.
- Suyu arıtmak için daha fazla enerji tüketilmektedir. Bu da daha fazla hidrolik enerji talebi demektir.

- Haznelerde su seviyesi düşünce biriktirmeli HES ile hidrolik enerji üretimi azalmaktadır
- Küçük akarsuların debisi düştüğünden biriktirmesiz HES ile hidrolik enerji üretimi azalmaktadır.



Şekil 3. Yıllara göre dünyada su tüketimi trendi (Loudière ve Gourbesville, 2020)

5. Küresel İklim Değişikliğinin Hidrolik Enerji Üzerindeki Etkisi

Enerji üretim çeşitliliğini sınırlandıran ve dolayısıyla talebin karşılanabilmesini riske sokan diğer çok önemli bir husus da küresel boyuttaki iklim değişikliğidir. Sera etkisi olan gazların insan kaynaklı üretiminin küresel iklim değişikliğine neden olduğu Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) raporlarından anlaşılmaktadır (Toprak, 2013; Çelik ve Toprak, 2016; Kınık ve Toprak, 2016; Batan ve Toprak, 2015; Toprak vd., 2009; Batan ve Toprak, 2017; Toprak, 2016; Toprak vd., 2012; Batan ve Toprak, 2020; Atabey ve Toprak, 2018). Bu gazların atmosfere salımı ise fosil yakıtlar ve/veya enerji kaynaklarının kullanılmasından kaynaklandığı bilinmektedir. Bu nedenle Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Kyoto Protokolü karbon emisyonunu azaltmak için bu tür yakıtların kullanımına sınırlama getirmektedir. Avrupa Birliği başta olmak üzere sözleşme ve/veya protokole taraf ülkelerin tamamı iç mevzuatlarını bu iki uluslararası metne uyarlamak zorundadır. Küresel iklim değişikliğinin hidrolik enerji üzerindeki etkisini şu şekilde özetlemek mümkündür:

Fosil kökenli enerji kaynaklarının kullanımının sınırlandırılmasına bağlı olarak temiz, yenilenebilir, sürdürülebilir, hammadde tüketmeyen ve dışa bağımlılığı azaltacak enerji kaynaklarına yönelim artacaktır. Dolayısıyla hidrolik enerjiye yönelimin ve yatırımların artması beklenmektedir. Zira, küçük akarsu tipi HES'ler son zamanlarda tüm dünyada özellikle dağlık kesimlerde yaygınlaşmaktadır. Küçük HES'ler sadece yatırımcıların arasında değil bilim insanları arasında da çok ilgi görmektedir (Toprak, 2014; Rijal, 2000; CII, 2004;

Malghan,1996; UN, 2006; Demirbaş vd., 2004; Bakış ve Demirbaş, 2004; Kaygusuz, 2001; Balat, 2005; Demirbaş, 2002; Demirbaş ve Bakış,2004; Montes vd., 2005; Öztürk, 2004; Kaygusuz, 2002; Paravan vd., 2004; Bonacci ve Roje, 2003; Vorsic vd., 2000; Molina vd., 2000; Naresh ve Sharma, 2000; Bonacci, 1999; Angelaki ve Harbor, 1995; Hosseini vd., 2005; Paravan vd., 2004). Tarihi su değirmenlerinin hidrolik enerji üretiminde kullanılması da böyle bir yönelimin olacağının diğer bir göstergesidir. Tarihi su değirmenlerinden enerji üretiminde daha geniş detay için Aykaç vd., (2018)'e bakılabilir.

Diğer taraftan iklim değişikliği daha çok ısınma nedeniyle kendisini gösterdiği için sıvı halde kullanılabilir olan su gaz haline dönüşmekte ve doğrudan kullanılabilir olmaktan çıkmaktadır. Buharlaşma nedeniyle akarsularda debinin ve baraj haznelerinde su seviyesinin düşmesine dolayısıyla hidrolik enerjiye beklenen yönelime rağmen hidrolik enerji üretiminde düşüşün yaşanmasına neden olacaktır.

İklimsel değişim, rüzgârlı günlerin sayısı, rüzgâr hızı ve güneşli gün sayısı gibi tüm iklim/ meteorolojik değişkenleri anormal hale getirdiği için rüzgâr ve güneş enerjisi sistemleri (RES ve GES) gibi alternatif temiz enerjilerin üretiminde de düzensizliğin meydana gelmesi beklenmektedir. Bu tür santrallerin enerji üretiminde meydana gelmesi beklenen düzensizlik ve güvensizlik nedeniyle hidrolik enerjiye yönelimi kaçınılmaz hale getirebilir.

İklim değişimi nedeniyle yağışlarda meydana gelen düzensizliğin ise doğrudan hidrolik enerji üretimini ciddi şekilde olumsuz yönde etkilemesi beklenmektedir.

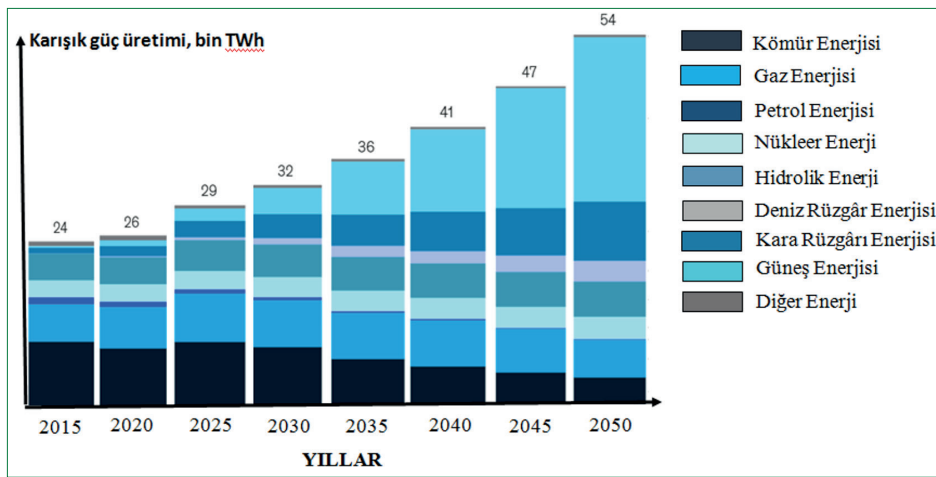
Görüldüğü üzere iklim değişikliği ileriye yönelik olarak hidrolik enerjiye yönelimi artırması beklenmekle birlikte üretimi düşürebileceği de göz ardı etmemek gerekir.

6. Dünyada Hidrolik Enerji

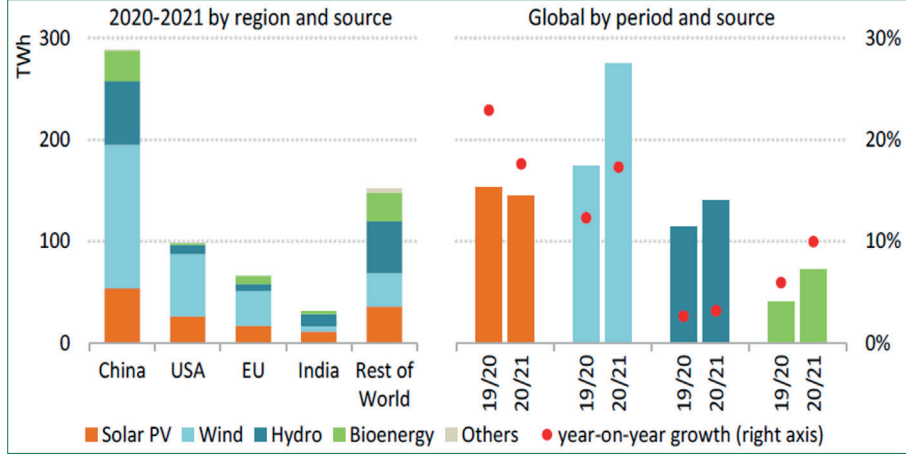
Dünya genelinde hidrolik enerjinin diğer enerji kaynakları arasındaki yerinin ve gelecekteki durumunun görülmesi konunun daha etkili değerlendirilmesi için gereklidir. Bilindiği üzere gelecekte ümit vadeden enerji kaynakları yenilenebilir, sürdürülebilir ve çevre ile barışık temiz enerji kaynaklarıdır. Nitekim dokuz enerji çeşidinin karşılaştırmalı olarak projeksiyonları verilen şekil 4'ten, 2020 yılında güneş enerjisinin üretimi bir önceki beş yıla (2015) kıyasla yaklaşık iki kat artmıştır. 2025 yılında ise artışım bir önceki beş yıla (2020) göre yaklaşık üç kat olması beklenmektedir. Benzer şekilde 2050 yılına doğru giderken geleceğin enerji kaynağının güneş enerjisi olacağı öngörülmektedir (URL-4, 2022). Bununla birlikte özellikle enerji konusunda yapılan tahminler çok kolay bir şekilde yanıtlanabilmektedir. Bunun iki nedeninden söz edilebilir: 1) Gelişerek değişen teknolojiye göre her an yeni bir enerji kaynağının gündem bulabilme ihtimali, 2) Küresel boyutta enerji piyasasındaki çoğu kez haksız rekabetçi anlayış. Bu anlayış spekülâtif haber ve yorumlara açık ve hatta bunlara karşı korumasızdır.

Diğer taraftan aynı grafikten, deniz rüzgâr enerjisi üretiminde 2020 yılına kadar kısmen artış görülse de uzun vadede düşüş olacağı veya asgari düzeyde sabit kalacağı tahmin edilmektedir. Ancak kara rüzgâr enerjisi üretimi güneş enerjisinden hemen sonra 2020 yılına kadar en çok artan ve 2050 yılına kadar en çok artacağı beklenen ikinci enerji kaynağıdır. Kömür 2020 yılına kadar enerji üretiminde en büyük paya sahiptir. Temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarındaki yönelime rağmen bu durumun 2035 yılına kadar devam etmesi beklenmektedir. Ancak 2040 yılından itibaren tersine bir durumun meydana geleceği yani, kömür kullanımında azalmanın, yenilenebilir enerji üretiminde ise artışın olacağı ve kömürün diğer enerjiler içindeki payının düşeceği düşünülmektedir. Gaz enerjisinin 2050 yılına kadar sabit kalacağı da aynı grafikten anlaşılmaktadır. Diğer taraftan hidrolik enerjinin diğer enerjiler içindeki payı her zaman yüksek görülmektedir. Ancak su kaynaklarının sınırlı olması nedeniyle uzun vadede kurulu güç olarak belirgin bir şekilde artış beklenmemektedir.

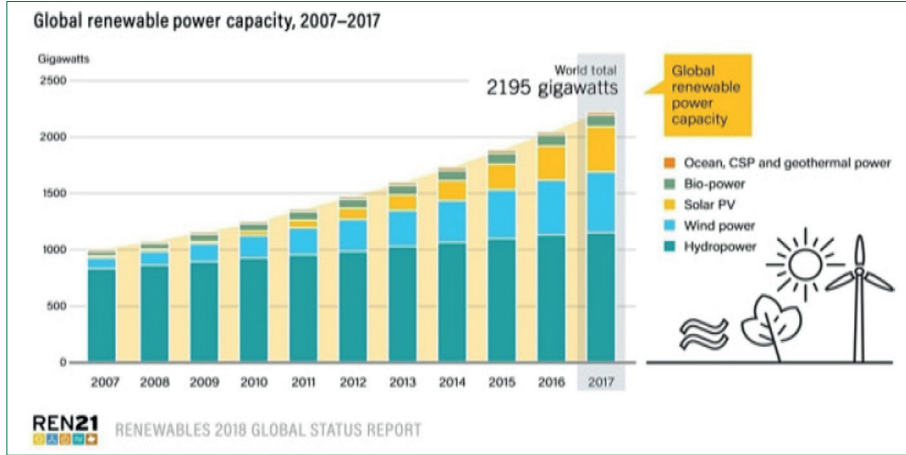
Toplam enerji payı içindeki rolü gittikçe artan ikinci enerjinin ise rüzgâr enerjisi olacağı anlaşılmaktadır (URL-4, 2022). Diğer taraftan, Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) 2021 küresel enerji araştırmasına göre 2019-2021 döneminde yenilenebilir enerjide en yüksek artış güneş enerjisinde değil rüzgâr enerjisinde olmuştur (URL-3, 2022). Bu da konunun spekülasyonlara açık olduğunun açık bir göstergesidir. Aynı rapor, rüzgâr enerjisinden sonra en büyük artışın biyoenerji ve hidrolik enerjide meydana geldiğini, güneş enerjisinde ise bir önceki periyoda göre azalmanın olduğunu belirtmektedir (Şekil 5). 2007 – 2017 periyodu için yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam kurulu güçleri açısından karşılaştırmalı olarak verildiği Şekil 6'ya göre yenilenebilir enerji kaynakları içinde en yüksek paya sahip olan hidrolik enerjidir (URL-6, 2018). HES yüzyıllar ile ifade edilebilecek kadar uzun bir süredir temiz, hammadde tüketmeyen, çevre ile barışık, sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelmektedir. Ancak artış oranı rüzgâr ve güneş enerjisi üretimine nazaran daha düşüktür.



Şekil 4. Dünyada kaynağına göre enerjilerin dünü, bugünü ve yarını (URL-4,2022)



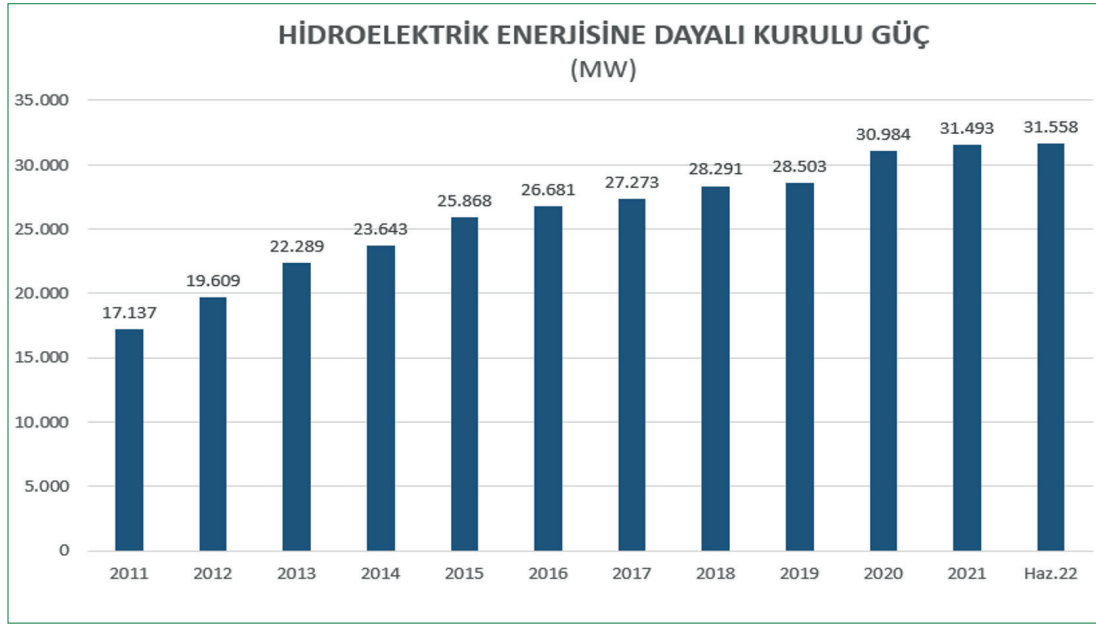
Şekil 5. Bölgelere, kaynağına ve periyoda göre 2019 – 2021 yenilenebilir enerjilerin üretimi (URL-3, 2022)



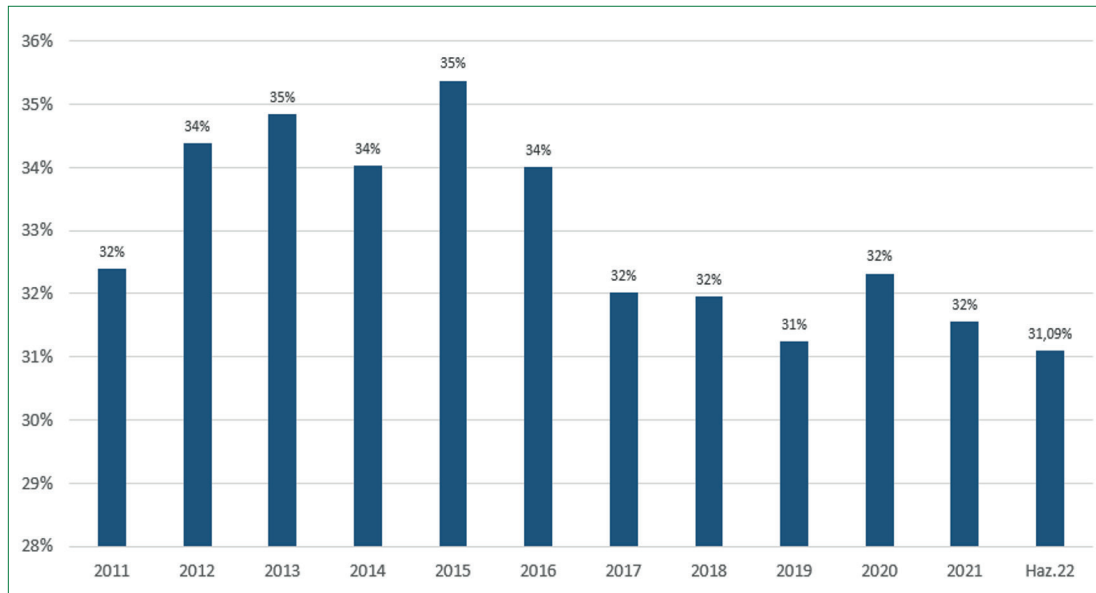
Şekil 6. Küresel boyutta yıllara göre yenilenebilir enerji üretimindeki değişim (URL-6,2022)

7. Ülkemizde Hidrolik Enerji

Ülkemizde kurulu güç itibari ile hidrolik enerji 2011 yılından itibaren adeta düzenli bir şekilde artış göstermiştir (Şekil 7). Bu artışa rağmen, güneş ve rüzgâr enerjisi, doğal gaz, nükleer enerji gibi diğer enerjilerin üretimindeki artış nedeniyle hidrolik enerjinin tüm enerji türleri içindeki payı 2015 yılından itibaren gittikçe düşmüştür (Şekil 8). Haziran 2022 sonu itibariyle hidrolik enerjiye dayalı elektrik kurulu gücümüz 31558 MW ile toplam kurulu güç içerisindeki oranı %31'e gerilemiştir (URL-1, 2022). Yıllara göre kurulu güç değişimi ve toplam kurulu güç içerisindeki oranı Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmiştir (URL-1, 2022). 2021 yılında hidroelektrik kaynaklı 55,5 milyar kWh elektrik üretilmiştir. 2022 Mayıs sonu itibariyle hidrolik kaynaklı elektrik üretimi yaklaşık 35,2 milyar kWh değerine ulaşmıştır (URL-1, 2022).

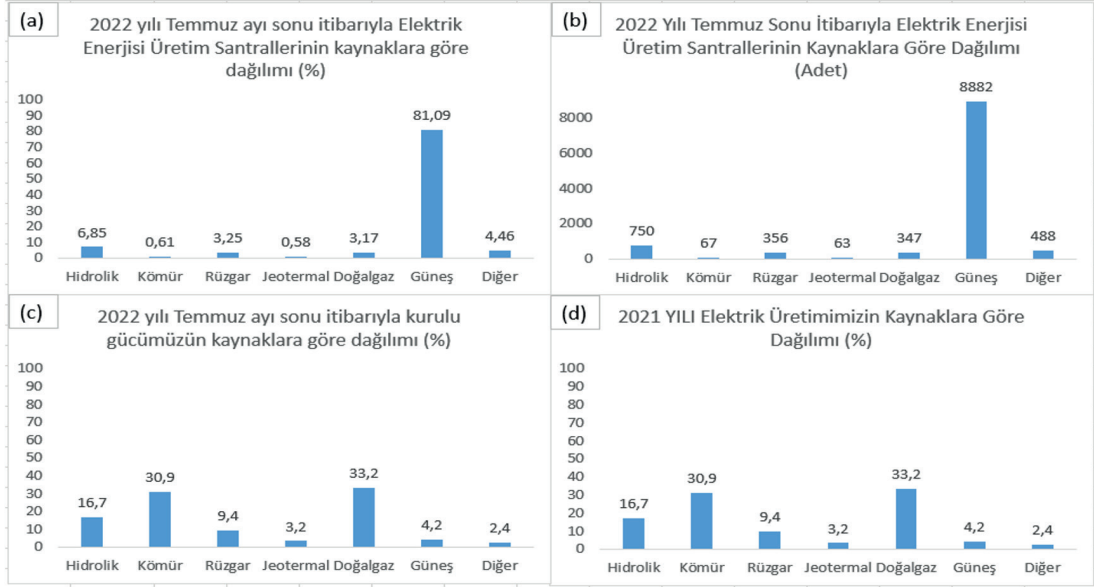


Şekil 7. Ülkemizde yıllara göre hidroelektrik kurulu güç değişimi (URL-1, 2022)



Şekil 8. Ülkemizde hidrolik enerjinin toplam kurulu güç içerisindeki oranı

Türkiye elektrik enerjisi tüketimi 2021 yılında bir önceki yıla göre %8,74 artarak yaklaşık 333 milyar kWh, elektrik üretimi ise bir önceki yıla göre %9,14 oranında artarak yaklaşık 335 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir (URL-1, 2022). (Şekil 9)



Şekil 9. Ülkemizde elektrik enerjisinin, santral sayısı ve yüzdesi, kurulu güç ve üretimin kaynaklara göre dağılımı: a) 2022 yılı Temmuz ayı sonu itibarıyla elektrik enerjisi üretim santrallerinin kaynaklara göre dağılımı (%), b) 2022 yılı Temmuz sonu itibarıyla elektrik enerjisi üretim santrallerinin kaynaklara göre dağılımı (Adet), c) 2022 yılı Temmuz ayı sonu itibarıyla kurulu gücümüzün kaynaklara göre dağılımı (%), d) 2021 yılı elektrik üretimimizin kaynaklara göre dağılımı (%) (URL-1,2022)

Yenilenebilir, sürdürülebilir ve temiz bir enerji kaynağı olarak hidrolik enerji yatırımları dünya genelinde ve ülkemizde büyük bir hızla devam etmektedir. Ülkemizde biriktirmeli HES potansiyeli büyük ölçüde değerlendirilmiştir. Ancak tüm çabalara rağmen halen toplam elektrik enerjisi üretimi içinde, hidrolik enerjinin payı, kurulu güç itibarı ile %31 ve üretim itibarı ile de %16,7'dir. Tablo 1'de 2020 – 2040 yılları için enerji talep projeksiyonları verilmiştir (URL-1, 2022). Tablo 2'de ise arz talep dengesi aynı zaman periyotları için verilmiştir. Bu iki tabloya göre teknik ve ekonomik olarak değerlendirilebilir hidrolik enerji potansiyelinin tamamı bile işletmeye açılrsa 2040 yılı elektrik enerji talebinin ancak %34'ü karşılanabilmektedir. Bilindiği üzere teknoloji büyük bir hızla gelişmektedir. Bu gelişmeye bağlı olarak teknik ve ekonomik olarak değerlendirilebilir hidrolik enerji potansiyeli de artabilir. Ancak hiçbir zaman 433 TWh olan brüt (teorik) değeri aşamaz. Bu değere ulaşsa bile 2040 yılında beklenen talebin ancak %68,1'ini karşılayabilmektedir. Diğer taraftan biriktirmesiz HES potansiyelinin değerlendirilmesine daha yeni başlanmıştır. Dünyada yaygın olmasına rağmen ülkemizde mevzuat alt yapısı yeni yeni tamamlanmış ve biriktirmesiz HES'lere yönelme olmuştur. Bazı dezavantajları olmasına rağmen biriktirmesiz HES'ler birçok avantajı nedeniyle biriktirmeli HES'lere göre tercih edilebilir. En küçük su kaynağının değerlendirilmesi kaçınılmazdır ve bu kaynakları değerlendirmenin enerji üretimi açısından en iyi yolu biriktirmesiz HES kuruludur.

Tablo 1. 2020-2040 Arası Ülkemiz Elektrik Enerjisi Talep Projeksiyonu (URL-1, 2022)

Senaryolar	2020-2040 Arası Ülkemiz Elektrik Enerjisi Talep Projeksiyonu				
	2020	2025	2030	2035	2040
Senaryo 1	305	366	427	485	545
Senaryo 2	305	370	440	507	591
Senaryo 3	305	373	450	527	636

Tablo 2. 2020-2040 Arası Ülkemiz Elektrik Enerjisi Arz/Talep Projeksiyonu (URL-1, 2022)

Türkiye Hidrolik Enerji Potansiyeli	2020-2040 Arası Türkiye Elektrik Enerjisi Talep Projeksiyonu (Senaryo 3, en kritik senaryo)					
	2020 (305 TWh)	2025 (373 TWh)	2030 (450 TWh)	2035 (527 TWh)	2040 (636 TWh)	
Teorik hidroelektrik potansiyeli (433 TWh)	142,0	116,1	96,2	82,2	68,1	Potansiyel/ Talep
Teknik değindirebilir potansiyel (305 TWh)	100,0	81,8	67,8	57,9	48,0	Potansiyel/ Talep
Teknik ve ekonomik değlendirilebilir potansiyel	70,8	57,9	48,0	41,0	34,0	Potansiyel/ Talep

8. Sonuç ve Öneriler

Küresel iklim değişikliği tüm meteorolojik değişkenlerde olduğu gibi yağışlarda da konumsal ve zamansal bir düzensizliği beraberinde getirmektedir. Bu durum, zaten zamansal ve konumsal olarak yeryüzüne heterojen dağılan yağış ve su kaynaklarını daha da heterojen hale getirmekte ve hidrolik, güneş, rüzgâr gibi yenilenebilir enerji üretimini olumsuz etkilemekte ve hatta bu üretimleri riske sokmaktadır. Su kaynaklarının sınırlı olması nedeniyle gerek dünyada gerek Türkiye’de gelecekte hidrolik kurulu güçte faza bir artış beklenmemektedir. Değişen ve gelişen teknolojiye bağlı olarak teknik ve ekonomik olarak değerlendirilebilir hidroelektrik enerji potansiyeli artabilir. Ancak bu hiçbir zaman ülkelerin teorik (brüt) hidroelektrik potansiyelini aşamaz. Türkiye’de teorik potansiyelin tamamı kullanılsa bile ancak enerji talebinin %68,1’i karşılanabilmektedir. Türkiye’nin halihazırda teknik ve ekonomik olarak değerlendirilebilir hidrolik güç potansiyelinin tamamı işletmeye açılrsa bile 2040 yılı talebinin ancak %34’ü karşılanabilecektir. Bu bağlamda, GAP’ın en kısa zamanda tüm bileşenleri ile tamamlanması gereklidir. Değişen ve gelişen teknolojiye ve ihtiyaca göre Türkiye’nin, hidrolik enerji potansiyelinin yeniden belirlenmesi günümüzde zorunlu hale gelmiştir. Yeniden belirlenecek

olan bu potansiyelin işletmeye açılması için en küçük su kaynaklarının bile değerlendirilmesi gereklidir. Bunun için de biriktirmesiz HES'lere ağırlık verilmelidir. Ancak biriktirmeli veya biriktirmesiz tüm baraj ve HES'ler için çok disiplinli, ciddi ve dikkatli bir çevresel fizibilite yapılmalıdır. Bunun için gerekirse mevzuat değişikliği yapılması düşünülmelidir. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Kyoto Protokolü yükümlülükleri de dikkate alınarak mümkün olduğunca hidrolik, güneş, dalga, rüzgâr ve benzeri temiz, yenilenebilir, sürdürülebilir enerji kaynaklarına ağırlık verilmelidir.

9. Kaynaklar / References

- Angelaki V., & Harbor JM. (1995). Impacts of flow diversion for small hydroelectric power plants on sediment transport, northwest Washington. *PHYSICAL GEOGRAPHY*, 16(5), 432-443.
- Atabey S. & Toprak Z.F.(2018). Bitlis ve Muş illerinin iklim değişikliği çerçevesinde uzun dönem sıcaklık değişimi karşılaştırması. *DÜ Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 9(1), 419 – 428.
- Aykaç Z, Karakaya D, & Toprak ZF (2018). Su Değirmenlerinin Hidrolik Enerji Potansiyelinin Araştırılması- Diyarbakır Örneği. *DÜ Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 9(1), 515 – 527.
- Bakış R., & Demirbaş A. (2004). Sustainable development of small hydropower plants (SHPs). *ENERGY SOURCES*, 26(12), 1105-1118.
- Balat M. (2005). Current hydropower potential in Türkiye and sustainability of hydropower for Türkiye's energy demand. *Energy Exploration & Exploitation*, 23(1), 1-18.
- Batan M. & Toprak Z.F. (2017). Financial comparison of the Kyoto Protocol obligations and the natural disaster losses. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 7(2/2), 180-189.
- Batan M. & Toprak Z.F. (2015). Küresel iklim değişikliğinin olumlu etkileri ve bu etkilerin iklim değişikliğine uyum kapsamında değerlendirilmesi. *DÜ Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 6(2), 93-102.
- Batan M. & Toprak Z.F. (2020). İklim Değişikliğinde Etkenler ile Sonuçların Birbirini Tetiklemesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11(2), 759–769. <https://doi.org/10.24012/dumf.547015>
- Bonacci O.(1999). Water circulation in karst and determination of catchment areas: example of the River Zrmanja. *HYDROLOGICAL SCIENCES JOURNAL-JOURNAL DES SCIENCES HYDROLOGIQUES*, 44(3), 373-386.
- Bonacci O., & Roje-Bonacci T. (2003). The influence of hydroelectrical development on the flow regime of the karstic river Cetina. *Hydrological Processes*, 17(1), 1-15.
- CII – Godrej GBC Publication (2004). Small Hydro – Potential & Prospects, RES - Fact Sheet - No.2.
- Çelik R. & Toprak Z.F. (2016). Küresel İklim Değişikliğinin Diyarbakır Kent Merkezi Yeraltı Suyu Seviyesine Etkisi. *DÜ Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 7(2), 279-290.
- Loudière D.& Gourbesville P. (2020). Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2020: L'eau et les changements climatiques (Birleşmiş Milletler Dünya Su Geleceği Raporu 2020: Su ve İklim Değişikliği), La Houille Blanche, June 2020, 3, 76–81. DOI: 10.1051/lhb/2020024

- De La Salle University, [httpURs://www.dlsu.edu.ph/research/centers/cemtre/mhp.asp](http://www.dlsu.edu.ph/research/centers/cemtre/mhp.asp)
- Demirbaş A. (2002). Sustainable developments of hydropower energy in Türkiye. *Energy Sources*, 24(1), 27-40.
- Demirbaş A., & Bakış R. (2004). Energy from renewable sources in Türkiye: Status and future direction. *Energy Sources*, 26(5), 473-484.
- Demirbaş A., Sahin-Demirbaş A., & Demirbaş A.H. (2004). Türkiye's natural gas, hydropower, and geothermal energy policies. *Energy Sources*, 26(3), 237-248.
- URL-1: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-hidrolik> Erişim Tarihi: 21.09.2022
- URL-2 Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EIGM/tr/Raporlar/ENTAP/114176turkiye_elektrik_enerjisi_talep_projeksiyonu_raporu.pdf. Erişim Tarihi: 21.09.2022
- URL-3: International Energy Agency, IEA, Global Energy Review 2021, Assessing the effects of economies recoveries on global energy demand and CO2 emissions in 2021. <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021/co2-emissions>, Erişim Tarihi: 24.03.2022.
- URL-4: Global Energy Perspective. (2022). <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/global-energy-perspective-2021>, Erişim Tarihi: 31.03.2022
- URL-5: Green Empowerment. <http://www.greenempowerment.org/aboutus.htm>
- URL-6: Renewables, (2018). https://www.ren21.net/gsr-2018/chapters/chapter_01/chapter_01/ Erişim Tarihi: 28.10.2022.
- Hosseini SMH., Forouzbakhsh F., Rahimpoor M. (2005). Determination of the optimal installation capacity of small hydro-power plants through the use of technical, economic and reliability indices. *ENERGY POLICY*, 33(15), 1948-1956.
- Int. J. Hydropower & Dams Markets of Small Hydropower in Asia, Dr. Drona Upadhyay, IT Power
- Karakaya D., & Toprak Z.F. (2018). İçme Suyu Şebekelerindeki Su Kayıplarının ZFT Algoritması Kullanılarak Sınıflandırılması Classification Water Losses in Water Distribution Networks Using ZFT Algorithm. *Su Kaynakları*, 3(2), 22-30.
- Kaygusuz K. (2002). Sustainable development of hydroelectric power. *ENERGY SOURCES*, 24(9), 803-815.
- Kaygusuz K.(2001). Hydropower and biomass as renewable energy sources in Türkiye. *Energy Sources*, 23(9), 775-799.
- Kaynak: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik>. Erişim Tarihi: 21.09.2022.
- Kımkık Z. & Toprak Z.F. (2016). Halkın İklim Değişikliğine Bakışı: Diyarbakır İçin Bir Alan Çalışması. *DÜ Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 7(2), 329-341.
- Malghan V.R. (1996). History of MHD power plant development. *Energy Conversion and Management*, 37(5), 569-590.

- Molina J.M., Isasi P., Berlanga A., & Sanchis A. (2000). Hydroelectric power plant management relying on neural networks and expert system integration. *Engineering Applications Of Artificial Intelligence*, 13(3), 357-369.
- Montes G.M., Martinez-Montes G., Rubio-Gamez MC., Alegre-Bayo J, Ordonez-Garcia J., & Oliver-Pina J. (2005). Viability of mini hydroelectric power plants. Risk analysis approach. *INGENIERIA HIDRAULICA EN MEXICO*, 20(1), 5-18.
- Naresh R., & Sharma J. (2000). A hybrid method for hydroelectric generation scheduling using an artificial neural network. *International Journal Of Systems Science*, 31(2), 263-271.
- Öztürk H.K. (2004). Present status and future prospects of hydroelectric energy in Türkiye. *Energy Sources*, 26(9), 829-840.
- Özgür, E. M. (2017). Nüfus Dinamikleri, Çevre ve Sürdürülebilirlik. *Coğrafi Bilimler Dergisi CBD*, 15(1), 1- 26.
- Paravan D., Stokelj T., & Golob R. (2004). Improvements to the water management of a run-of-river HPP reservoir: methodology and case study. *Control Engineering Practice*, 12(4), 377-385.
- Rijal K. (2000). Mini- and Micro- Hydro Power Development: Status, Issues and Strategies for the Hindu Kush Himalayan Region. *A Journal of Engineering (Publication of NESS)*, Vol. 9. Institute of Engineering, Kathmandu, Nepal.
- Songur M., Hamidi N., Toprak Z.F., & Dabanlı A. (2012). Developing Mathematical Model For Losses in Water Distribution Network by Integration of SCADA, GIS and Customer Information System. *AWERProcedia Information Technology & Computer Science*, 3, 1494-1498.
- Şevgin F., & Toprak Z.F. (2021). Meteorolojik Akış Katsayısının Bulamk SMRGT Yöntemi ile Belirlenmesi: Murat Havzası Örneği. 12(2), 401 - 409, DOI: 10.24012/dumf.844325.
- Toprak Z.F. (2009). Flow Discharge Modeling in Open Canals Using a New Fuzzy Modeling Technique (SMRGT). *CLEAN-Soil, Air, Water*, 37(9), 742-752, DOI: 10.1002/clen.200900146.
- Toprak Z.F. (2014). Türkiye’de ve Dünyada Hidrolik Enerji Potansiyeli. *Mimar ve Mühendis Grubu Dergisi*, 75, 60-64.
- Toprak Z.F. (2016). Ideal Velocity: A New Concept for Open Channel Flows. *Journal of Water Resource and Hydraulic Engineering*, 5(3), 116-121.
- Toprak Z.F. (2016). What is the Global Climate Change? With the Perspective of the People Who Live. *International Journal of Environmental Protection*, 6(1), 134-137.
- Toprak Z.F. (2022). Farklı Yaklaşımlarla Enerji Kaynakları, Editörler: Orhan Kavak ve Yusuf Kenan Haspolat, Orient Yayınları, ISBN: 978-975-6124-96-3, e-ISBN: 978-975-6124-97-0, Kitap Bölümü, s.383-397.
- Toprak Z.F., Hamidi N., Toprak Ş., & Şen Z. (2013). Climatic identity assessment of the climate change. *Int. J. Global Warming*, 5(1), 30-45, DOI: <http://dx.doi.org/10.1504/IJGW.2013.051480>.
- Toprak Z.F., Öztürkmen G., Yılmaz S., Dursun F., Yağın Bayar G., Em A., & Hamidi N.(2009). Diyarbakır Kent Merkezi İçin Sıcaklık Verilerinin İstatistiksel Analizi (Statistical Analyses of Temperature Data for Diyarbakır City Center). *İklim Değişikliği ve Çevre (Climate Change and Environment)*, 1(2), 49-74.

- Toprak Z.F., Selek B., Karaaslan Y., Yenigün K., Gümüş V., & Aydoğdu M. H. (2018). Bir Havzanın Su Bütçesinin Belirlenmesi İçin Yeni Bir Yaklaşım. *Su Kaynakları*, 3(2), 51–60.
- Toprak Z.F., Songur M., Hamidi N. & Gulsever H. (2012). Determination of Losses in Water-Networks Using a New Fuzzy Technique (SMRGT). *AWERProcedia Information Technology & Computer Science*, 3, 833-840.
- Toprak Z.F., Toprak S., & Hamidi N. (2012). Changement Climatique et Identite Climatique. *Le Journal de l'Eau et de l'Environnement, Revue Scientifique et Technique*, 81-91.
- UN Headquarters (2006). Assessing Policy Options for Increasing the Use of Renewable Energy For Sustainable Development: Modelling Energy Scenarios For Ghana, New York, NY, USA
- Vorsic J., Orgulan A., Horvat M., & Koritnik D. (2000). Very small hydroelectric plants - Their influence on the supply network. *Ieee Transactions On Energy Conversion*, 15(3), 323-327.

Yazar Hakkında / About Author

**Prof. Dr. Z. Fuat TOPRAK | Dicle Üniversitesi |
toprakzf[at]dicle.edu.tr | ORCID: 0000-0003-0876-1165**

1967'de Diyarbakır'da doğdu. İlkokulu Hızırilyas Köyü İlkokulunda, ortaokulu Diyarbakır Ali Emiri Ortaokulunda, Liseyi Gaziantep Lisesi'nde, Lisans öğrenimini DÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde, yüksek lisansını Fırat Üniversitesi'nde ve doktorasını İTÜ'de tamamladı. 2011 yılında doçent, 2017 yılında profesör oldu. Kendi alanında, 11 tanesi kitap ve kitap bölümü olmak üzere 140 tane basılı çalışması mevcuttur. Çalışmalardan bazıları en iyi 10 ve 25 makale listelerinde yer aldı. Uluslararası literatüre kendi adı ile anılan iki yöntem ve dört konsept kazandırdı. Kendi yöntemlerini paylaşmak üzere çok sayıda ülke tarafından davet edildi. Bir kısmı davetli konuşmacı olmak üzere 100'ün üstünde ulusal ve uluslararası akademik toplantıya konuşmacı olarak katıldı. Çok sayıda projeye danışmanlık yaptı. 50'nin üstünde davet üzerine müstakil seminerler verdi. Şırnak Üniversitesi'nde rektör yardımcılığı yaptı (2018 – 2019). Halen DÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde bölüm başkanlığı görevini sürdürmektedir. İki kez Akademik Performans Ödülüne layık görüldü. Satranç oynar, şiir yazar, kitap okumayı ve seyahat etmeyi sever.

**Prof. Dr. Z. Fuat TOPRAK | Dicle University |
toprakzf[at]dicle.edu.tr | ORCID: 0000-0003-0876-1165**

He was born in Diyarbakir in 1967. He graduated from Hızırilyas Village Primary School, Diyarbakir Ali Emiri Secondary School, Gaziantep High School, DÜ Civil Engineering Department, Fırat University (Master) and ITU (PhD). He became associate professor in 2011 and professor in 2017. He has 140 of published works in his field, 11 of which are books or book chapters. Some of his studies have been listed in the top 10 and top 25 paper lists. He brought two methods and four concepts to the international literature. He was invited by many countries to share his methods. He participated as a speaker in more than 100 national and international academic meetings, some of which were invited speakers. He has consulted many projects. He invited to give more than 50 separate seminars. He worked as the vice rector of Sirnak University (2018 – 2019). He is still working as the head of the Department of Civil Engineering at DU. He was awarded twice. He plays chess, writes poetry, enjoys reading and traveling.

