
Araştırma Makalesi / Research Article

Hidroelektrik ve Termik Santrallerin Karbon Emisyonu Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması: Eskişehir İli Örneği

Yıldırım BAYAZIT*

*Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bilecik
(ORCID: 0000-0002-8699-4741)*

Öz

Dünya nüfusunun hızla artmasıyla birlikte gelişen sanayi ve teknolojik gelişmeler ihtiyaç duyulan enerjiyi de arttırmaktadır. İhtiyaç duyulan enerjinin en önemlilerinden bir tanesi elektrik enerjisidir. Günümüzde elektrik enerjisi ihtiyacının büyük bir bölümü fosil kaynaklardan sağlanmaktadır. Elektrik enerjisinin fosil kaynaklardan sağlanmasının iklim değişikliği ve çevre kirliliği problemlerine yol açtığı bilinen bir gerçektir. Bu nedenle enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması konusu tüm dünyada büyük önem kazanmıştır. Ülkemizde hidroelektrik enerji santrallerin yanı sıra sulama, içme-kullanma suyu temini ve taşkın gibi amaçlarla işletilen birçok baraj bulunmaktadır. Bu çalışmada, enerji üretiminde su kaynaklarından daha efektif bir şekilde yararlanmak için kurulu barajların enerji üretebilme olanakları değerlendirilerek termik santrallere göre daha çevreci bir çözüm yaklaşımı hedeflenmiştir. Bu bağlamda çalışmada Eskişehir ilindeki Porsuk Barajının hidroelektrik enerji santraline dönüştürülmesi durumunda enerji üretimi ve karbon emisyon azaltımı SIMAHPP 5 programı kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak Porsuk Barajının 4.31 MW'lık kurulu güçle yıllık 597 GWh enerji üretebileceği hesaplanmıştır. Aynı enerji miktarının termik santrallerden üretilmesi durumunda yılda ortalama 5,5631.55 tCO₂ karbon salınımı yapabileceği ortaya konmuştur.

Anahtar kelimeler: Tükenebilir Enerji, Yenilenebilir Enerji, Termik Santral, Hidroelektrik, Karbon Emisyonu.

Investigation of the Effects of Hydroelectric and Thermal Power Plants on Carbon Emission: Example of Eskişehir Province

Abstract

With the rapid increase in the world population, developing industry and technological developments also increase the energy needed. One of the most important energies needed is electrical energy. Today, most of the electrical energy needs are provided by fossil sources. It is a known fact that obtaining electrical energy from fossil sources causes climate change and environmental pollution problems. For this reason, the issue of using renewable energy sources in energy production has gained great importance all over the world. In our country, besides hydroelectric power plants, there are many dams operated for irrigation, drinking-potable water supply and flooding purposes. In this study, a more environmentally friendly solution approach than thermal power plants is aimed by evaluating the energy generation possibilities of installed dams in order to benefit from water resources more effectively in energy production. In this context, energy production and carbon emission reduction in the case of converting the Porsuk Dam in Eskişehir to a hydroelectric power plant was calculated using the SIMAHPP 5 program. As a result, it has been calculated that the Porsuk Dam can generate 597 GWh of energy annually with an installed power of 4.31 MW. It has been demonstrated that if the same amount of energy is generated from thermal power plants, an average of 5.5631.55 tCO₂ of carbon emission per year can be achieved.

Keywords: Consumable Energy, Renewable Energy, Thermal Power Plant, Hydroelectricity, Carbon Emission.

1. Giriş

Hızla artan dünya nüfusuyla birlikte gelişen endüstrinin getirdiği sonuçlardan bir tanesi ihtiyaç duyulan enerjinin artmasıdır. Günümüzde küresel enerji talebinin %87 gibi çok büyük bir bölümü petrol,

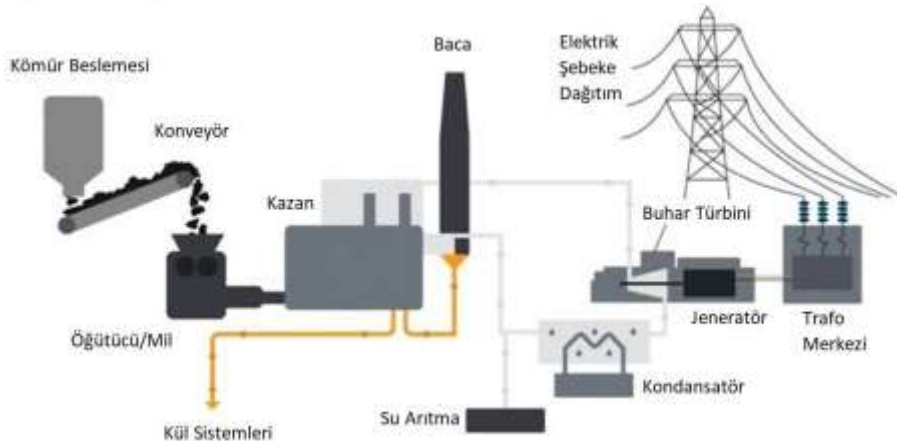
*Sorumlu yazar: yildirim.bayazit@bilecik.edu.tr
Geliş Tarihi: 17.02.2020, Kabul Tarihi: 01.04.2021

doğalgaz ve kömür tarafından karşılanmaktadır [1]. Teknolojinin bugünkü düzeyi ve yapılan tahminler doğrultusunda gelecek 20 yıllık sürede de toplam dünya enerji talebinin % 88'inin fosil yakıtlar tarafından karşılanmaya devam edeceği tahmin edilmektedir [2]. Ancak fosil kaynakların tükenebilir olması, çevreyi kirletmesi son yıllarda yenilenebilir temiz enerji kaynaklarının önemini ortaya çıkarmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları (hidrolik, jeotermal, güneş, rüzgâr, biyokütle, dalga vb.), ülkelerin enerji politikaları içinde yerli kaynak olmaları, enerji arz güvenliğine katkı yapmaları, temiz olmaları, küresel ısınma ile mücadelede salınımları azaltmaları, çevresel kaygıların giderilmesinde katkı sağlamaları ve Kyoto Protokolü mekanizmaları kapsamında ekonomik değer taşıma özellikleri nedeniyle büyük öneme sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının düşük karbon ekonomisine geçme amacıyla kullanımı, dünya genelinde her geçen gün daha da yaygınlaşmaktadır. Özellikle kömür ve petrol türevi enerji santrallerinin ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılaması sırasında ortaya çıkardıkları karbondioksit gazı atmosferde birikerek iklim üzerinde olumsuz etkiler yapmaktadır. Bu durum küresel iklim değişikliğine neden olmaktadır.

Elektrik güç santralleri kullanılan kaynağa göre termik, hidrolik ve nükleer elektrik santralleri olarak sınıflandırılmaktadır. Bu çalışmada termik ve hidrolik enerji santralleri ele alınacaktır.

1.1. Termik santrallerin karbon emisyonu üzerindeki etkileri

Termik santraller, genel prensip olarak ısı enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren santrallerdir. Termik santrallerin en bilinen tipi yakıt olarak kömür ham maddesini kullanan santrallerdir. Bu enerji santrallerinde öncelikle yakıtta bulunan kimyasal enerjiyi kazanda ısı enerjisine çevirerek buhar elde edilir. Daha sonra buhardaki ısı enerjisi türbin yardımıyla mekanik enerjiye çevrildikten sonra jeneratörde elektrik enerjisine çevrilir. Termik santrallerin çalışma prensibi şematik olarak Şekil 1'de verilmiştir. Kömür santralleri dünyada elektrik enerjisi üretiminde en çok kullanılan santrallerdir. Dünya elektrik enerjisi üretiminin yaklaşık %38'i kömür rezervlerinden sağlanmaktadır (WCA, 2020). Termik santraller çevreye zararlı birçok gaz verirken, termal kirlilik olarak bilinen bir çevre problemini ortaya çıkarır. Termal kirlilik, atık suyun elektrik santralinden deşarjı ile yerel çevredeki doğal kaynakların kirlenmesine neden olur. Çevrede bulunan yeraltı ve yerüstü su kaynakları bu durumdan olumsuz etkilenirler. Termik santrallerin emisyonlarıyla ilgili son yıllarda birçok çalışma yapılmıştır. Liu vd. [3] Güney Afrika'da bulunan bir kömür termik santralinden atmosfere salınan sera gazını uydu görüntülerinden faydalanarak analiz etmişlerdir. Gai vd. [4] termik santrallerin karbon emisyonları için tipik bir hesaplama analizi ortaya koymuşlardır. Termik santrallerin çevreye duyarlılığını arttırmak için CO₂ salınımını azaltma teknolojileri üzerine 2012 yılında Moazzem vd. bir çalışma yayınlamışlardır [5].



Şekil 1. Bir termik santralin çalışma prensibi [6]

Termik santrallerin fosil yakıtları atmosfere yakmanın yan ürünü olan çok sayıda sera gazı ve kül pompaladığı bilinmektedir. Bu durum insan sağlığı üzerinde birçok problemleri ortaya çıkardığı bilinmektedir [7]. Termal santrallerden atmosfere salınan gazlardan en önemlileri karbondioksit, kükürt dioksit ve azot oksitlerdir.

Karbondioksit (CO₂), fosil yakıtların yakılmasından çıkan ana gazlardan biridir. Sera gazının, küresel iklim değişikliğinin en büyük sorumlularından biri olduğu bilinmektedir. Özellikle kömür yakıtlı

santraller enerji üretiminde CO₂ emisyonlarının %34-40'ını oluşturarak küresel olarak en büyük antropojenik CO₂ yayıcıları arasında yer aldıkları bilinmektedir [8]. Bir termik santralden salınan tüm gazlardan en önemlisi karbondioksit olup, termik santraller tüm dünyada artan karbondioksit seviyelerine en çok katkıda bulunan enerji üretim tesisleridir. Dünya kömür rezervlerinin önümüzdeki on yıllar boyunca enerji üretiminde kullanımı devam edeceği düşünüldüğünde CO₂ emisyonlarının ana sebebi olmaya devam edecektir [9]. Bu nedenle, iklim değişikliğini daha iyi tahmin etmek için enerji üretiminde küresel CO₂ emisyonlarının doğru bir şekilde izlenmesi ve etkili emisyon azaltma stratejilerinin geliştirilmesini desteklemek önemlidir [9].

Kükürt dioksit, enerji santrallerinden salınan bir diğer gazdır. Teknik olarak bir sera gazı olmamakla birlikte, atmosfere dolaylı etkilerinin olduğu bilinmektedir. Çünkü gelen güneş ışığının saçılmasını, bulutların oluşumunu ve yağış modellerini etkileyebilir. Bu nedenle, birçok durumda dolaylı bir sera gazı olarak kabul edilir. Sülfür dioksit atmosferde sülfürik asit oluşturur, daha sonra Dünya'ya asit yağmuru olarak dönebilir ve çeşitli ekosistemleri etkileyebilir. Termik santrallerden salınan kükürt dioksit seviyesi kullanılan kömürdeki kükürt miktarına bağlıdır. Kullanılan kömürün hangi tipte kullanıldığına bağlı olarak ortalama % 0.1 ila %3.5 kükürt vardır. Termik santraller aynı zamanda dünya çapında en büyük kükürt dioksit yayıcılarıdır.

Azot oksitler, termik santraller tarafından atmosfere salınan bir başka gaz grubudur. Termik santraller küresel azot oksit seviyelerine en büyük katkıda bulunanlardan biridir. Karbondioksitlerden farklı olarak, azot oksitler yine teknik olarak sera gazları değildir, ancak atmosfer üzerinde dolaylı bir etkiye sahiptirler. Azot oksitlerin görünürlük ve solunum sorunları yarattığı bilinmektedir ve ayrıca asit yağmuru ve duman oluşturmak için diğer atmosfer gazları ve nem ile birleşebilirler.

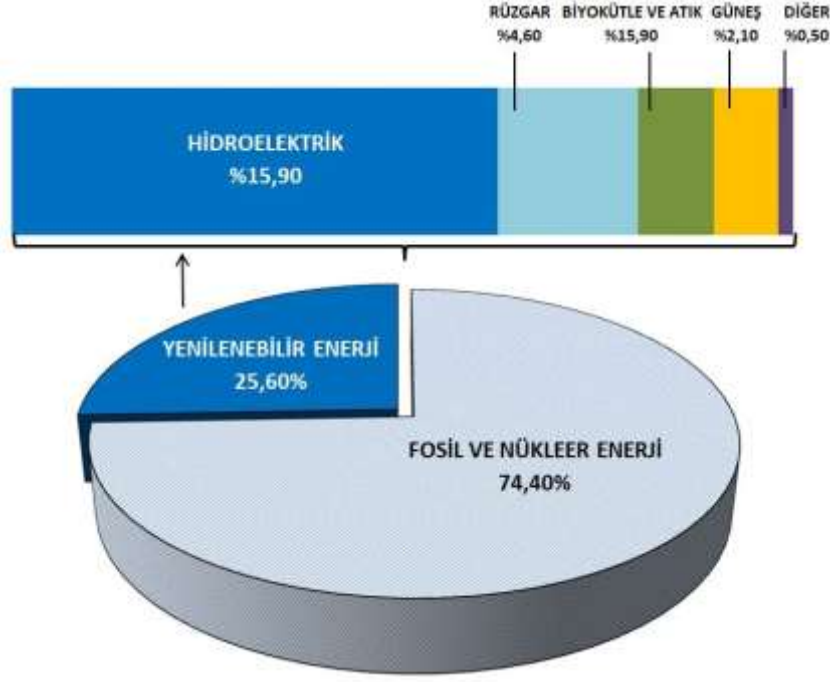
Atmosferin bir diğer büyük kirleticisi küldür. Kül genellikle zararlı partikül maddeler ve ağır metaller içerir. Külün birden fazla etkisi olabilir; düştüğü her yerde su yollarına ve toprağa girebilir (yerel çevre olması gerekmez). Bu durum toprağın veya suyun alkalinitesini değiştirerek toprağı tarımsal amaçlarla kullanılamaz hale getirebilir. Ayrıca su içilmez hale gelebilir.

1.2. Hidroelektrik enerjinin karbon emisyonu üzerindeki etkileri

Hidrolik enerji, yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde teknolojik gelişim açısından en ileri düzeyde olan enerji kaynağıdır. Suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesiyle elde edilen bu enerji türü, yenilenebilir enerji kaynakları arasında en büyük paya sahiptir (Şekil 2). Hidroelektrik enerji düşük karbon emisyonlu bir teknoloji olarak, dünyanın yenilenebilir enerji üretiminin yaklaşık üçte ikisini karşılamaktadır.

Hidroelektrik santrallerinin oluşturdukları az miktardaki sera gazı emisyonları rezervuarlarındaki su bitkileri ve alg biokütlelerinin ürettiği organik maddelerin ayrışması sonucu oluşmaktadır. Termik santrallerde ise sera gazı salınımının en önemli nedenlerinden biri fosil kaynağın yakılması işlemidir. Yanma işlemi atmosfere büyük miktarda CO₂ salınımı yaptığından, termik santrallerin hidroelektrik enerji santrallerine göre kıyaslanmayacak kadar büyük miktarlarda karbon salınımı meydana getirdiği bilinmektedir.

Hidroelektrik enerji projeleri, Paris Anlaşması ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri çerçevesinde ülkelere iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinden (taşkın ve kuraklık) korunmasını sağlar. Hidroelektrik enerji diğer enerji kaynaklarıyla kıyaslandığında kilovat saat başına en düşük sera gazı (GHG)(GreenHouseGases) salınımına sahip olduğu bilinmektedir. Bir kömür santralinin ortalama yaşam döngüsü karbon eşdeğeri yoğunluğu 820 gCO₂-eq/kWh iken bir hidroelektrik santralin 18.5 gCO₂-eq/kWh olduğu söylenmektedir. Bu durum hidroelektrik santrallerin kömür santrallerine göre %97.7 oranında sera gazı emisyonunu azalttığını göstermektedir. Hidroelektrik enerji kilovat saat başına doğalgaza göre %96.2, biokütleyle göre %92, solar PV'ye göre %61.5, jeotermale göre %51.3 sera gazı emisyonunu azaltmaktadır. Rüzgâr enerjisi ise hidroelektriğe göre sera gazı salınımında %40.5 oranında avantaj sağlamaktadır. Tüm bu değerler göz önüne alındığında eşdeğer bir enerji üretiminde bir hidroelektrik santralin yerine kömür santrali kullanıldığında atmosfere yılda 4 milyar ton fazladan sera gazı salınımı olacağı tahmin edilmektedir. Enerji üretiminde kömür gibi bir fosil yakıtta göre sudan faydalanmak atmosfere bırakılan 148 milyon ton partikül, 62 milyon ton sülfür dioksit ve 8 milyon ton nitrojen oksitinin de önüne geçmek anlamına gelmektedir.



Şekil 2. Yenilenebilir enerjide hidroelektriğin rolü [10]

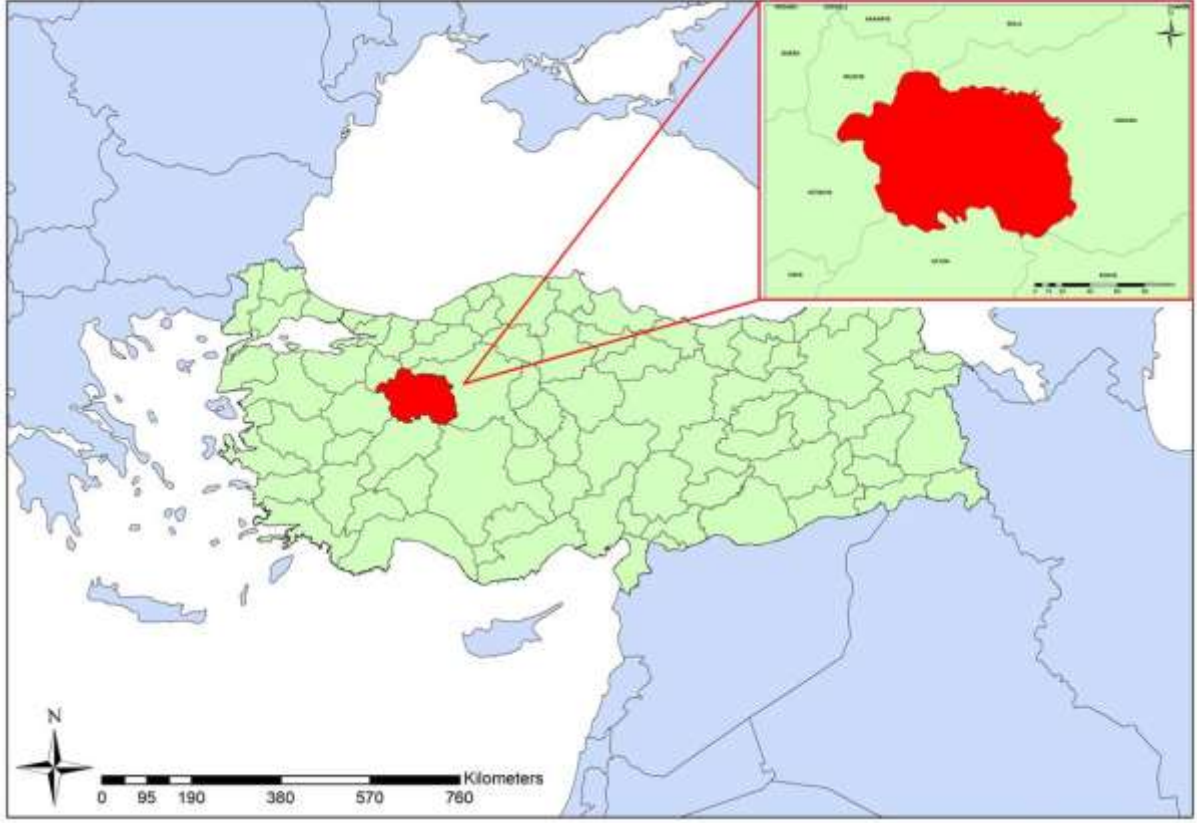
2. Materyal ve Metot

Çalışmada kullanılan verileri üç ana başlık altında toplamak mümkündür. Bunlardan ilki hidrolojik verilerdir. Hidrolojik veriler bölgeye ait akarsulardaki akım gözlem istasyonlarından elde edilen debi değerleridir. Bu veriler Eskişehir’de bulunan Devlet Su İşleri 3. Bölge Müdürlüğü’nden elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan bir diğer veri tipi ise çalışma bölgesindeki elektrik santrallerine ait enerji ve karbon salınımları verileridir. Bu veriler Türkiye İstatistik Kurumu ve T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı verilerinden elde edilmiştir. Ayrıca çalışma alanı olarak seçilen Eskişehir bölgesinde konumsal analizlerin yapılabilmesi için bölgeye ait sayısal haritalar Harita Genel Komutanlığı’ndan elde edilmiştir.

2.1. Çalışma Alanı

Hidroelektrik ve termik enerji santrallerinin karbon salınımına etkisini ortaya koymak için inceleme bölgesi olarak Eskişehir ili seçilmiştir (Şekil 3). Eskişehir, Türkiye’nin İç Anadolu Bölgesinde bulunan 2020 yılı itibariyle 887,475 nüfusa sahip bir şehridir. Şehirde sanayi son yıllarda oldukça gelişmiştir. Bu durum bölgenin elektrik enerjisine olan ihtiyacın da son yıllarda sanayi ve nüfustaki gelişmeyle birlikte doğru orantılı olarak artmaktadır.

Eskişehir’de toplam 17 adet elektrik enerji santrali bulunmaktadır (Tablo 1). Bunlardan 1’i biyogaz, 2’si hidroelektrik, 3’ü termik ve doğalgaz, 8’i ise güneş enerji santrallerinden oluşmaktadır [11]. Bu santrallerin konumları ve il sınırlarındaki kurulu güç dağılımları Şekil 4.a’da gösterilmiştir. Bu santrallerin il genelinde toplam 558 MW kurulu gücü bulunmaktadır. Toplam kurulu gücün %54,61’ini yenilenebilir enerji kaynakları oluştururken %45,39’unu yenilenemeyen enerji kaynakları oluşturmaktadır. Bu santraller atmosfere yılda ortalama 1 GWh başına toplam 215 ton CO₂ sera gazı salınımı yapmaktadır. Santrallerin il sınırları genelindeki dağılımları Şekil 4.b’de gösterilmiştir.

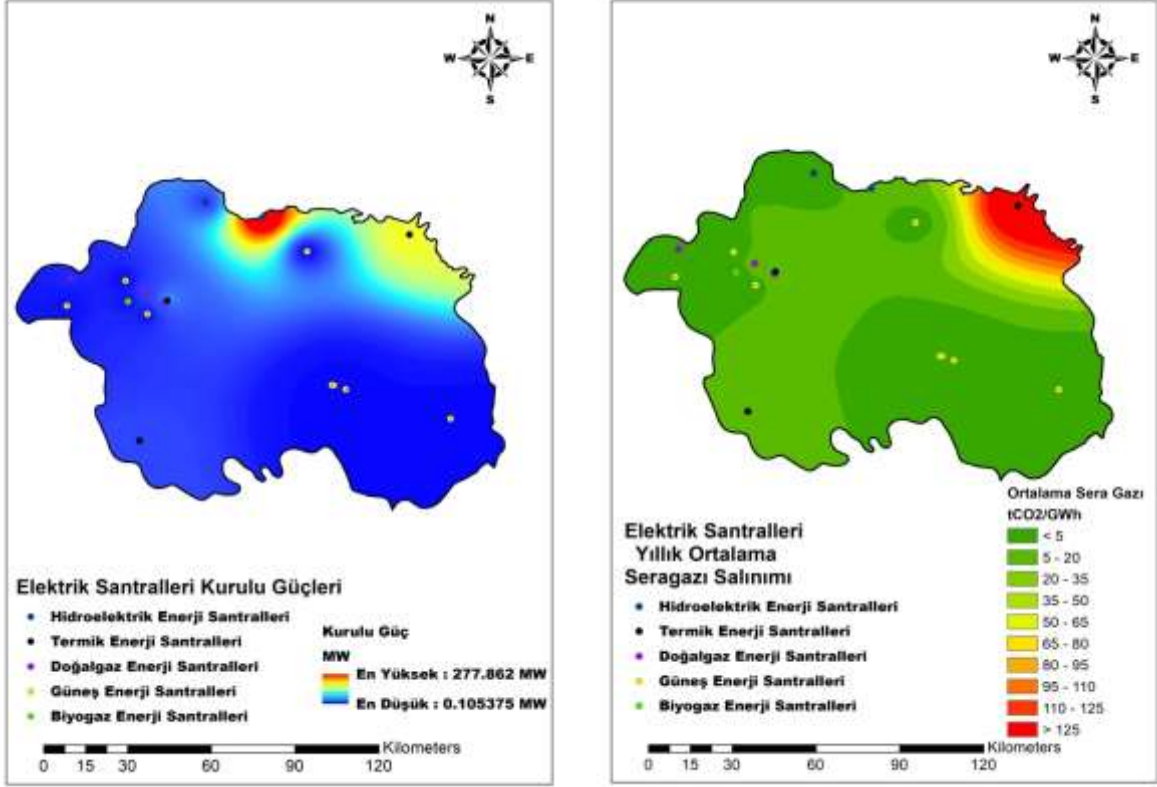


Şekil 3. Çalışma alanının konumu

Tablo 1. Eskişehir ilindeki elektrik enerjisi üreten santraller [11]

Koordinat		Santral İsmi	Kurulu Güç (MW)	Ortalama Sera Gazı Salınımı (tCO ₂)
x (m)	y (m)			
330771	4433315	Gökçekaya HES	278	6.394
383372	4426858	Yunus Emre Termik Santrali	145	152.830
296630	4402909	Eskişehir OSB Termik Santrali	59	29.441
286633	4351880	Kırka Bor Termik Santrali	18	11.088
310267	4438842	Beyköy HES	17	0.442
289148	4406011	Şeker Fabrikası Doğalgaz Santrali	16	7.984
261989	4411097	İnönü Kojenerasyon Tesisi	6.92	3.453
295988	4402213	*Doğalgaz Santrali	6.31	3.149
282487	4402522	*Biyogaz Santrali	2.04	0.053
356207	4372053	Çayören GES	2	0.046
355494	4372105	*GES1	2	0.046
260651	4401020	*GES2	1.82	0.042
398038	4359835	Günyüzü GES	1.76	0.041
360473	4370539	Söğütlüözü GES	1	0.023
289439	4398035	*GES3	0.97	0.022
281606	4410076	Tepebaşı Belediyesi GES	0.097	0.002
346669	4420766	Beylikova Belediyesi GES	0.071	0.002

Not: Yukarıdaki tabloda isimleri verilen bazı tesislerin özel firmalara ait olması sebebiyle ismi açıklanmayıp * ile gösterilmiştir.



Şekil 4. a) Eskişehir ili elektrik santrallerin kurulu güçleri (MW) **b)** Eskişehir ili elektrik santrallerinin yıllık ortalama sera gazı salınımları (tCO₂/GWh)

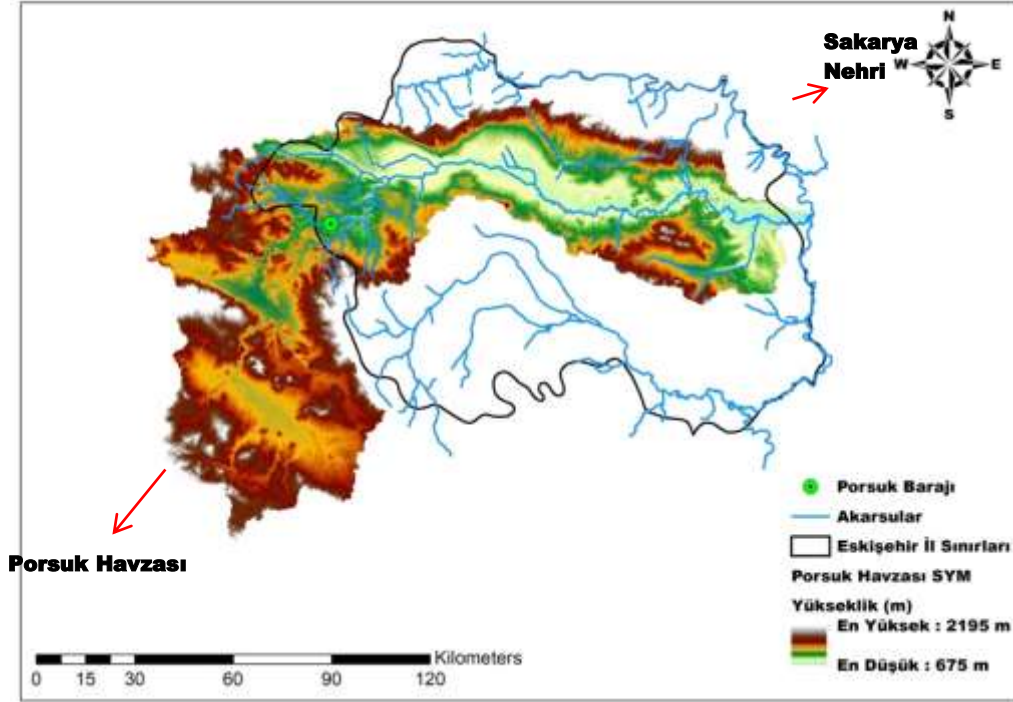
Yıllık ortalama toplam sera gazı salınımlarının sadece %3.28'i yenilenebilir enerji kaynaklarından %96.72'sinin ise yenilenemeyen enerji kaynaklarından olduğu göz önüne alındığında küresel ısınma ve hava kirliliği problemlerinin ortaya çıkmasında Eskişehir'in de payı olduğu açıktır. Tükenebilir enerji kaynaklarında %96.72'lik sera gazı salınım payı içerisinde termik santrallerin yeri %89.91 ile ilk sıradadır.

Bu çalışmada Eskişehir ilinde yıllardır taşkın, sulama ve içme-kullanma suyu olarak faydalanılan Porsuk barajının bir HES'e dönüştürülmesi sonucu beklenen kurulu güç ve sera gazı azaltımı incelenerek belli bir kurulu güçteki bir HES'in ne kadarlık bir sera gazı salınımı azaltımı yapılacağı araştırılmıştır.

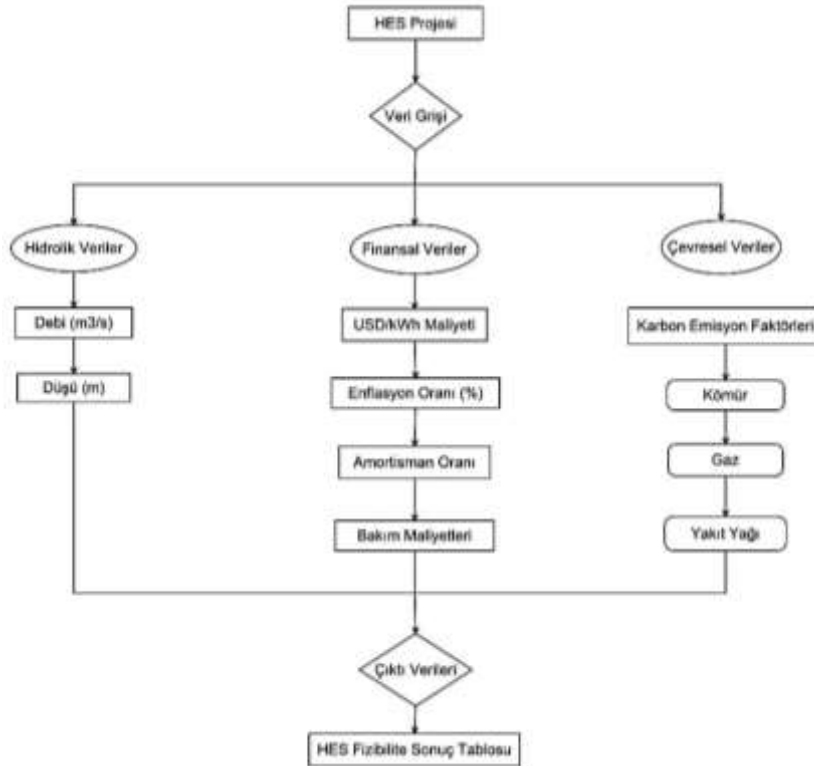
2.2. Metot

Eskişehir ilinde bulunan su kaynakları incelendiğinde birçok küçük ölçekli HES planlaması yapılabileceği görülmüştür. Bununla ilgili yapılan bir çalışmada toplam 6.30 MW kurulu güçte bir planlama yapılabileceğini ortaya koyulmuştur [12]. Bölgedeki en büyük ve en önemli barajlardan birisi Porsuk barajıdır. Barajın konumu Şekil 5'te verilmiştir. Porsuk barajı 1972 yılından beri bölgede taşkın, sulama ve içme-kullanma suyu amaçlı çalışan bir barajdır. Bu barajdan elde edilecek elektrik enerjisi ve barajın toplam kurulu gücü bu çalışma kapsamında diğer çalışmalardan farklı olarak sera gazı azaltımı açısından da değerlendirilmektedir. Bu amaç için SIMAHPP 5 Professional paket programı kullanılmıştır [13].

SIMAHPP5 Professional, hidrolik, finansal ve çevresel parametreleri kullanarak hidroelektrik enerji santrali projelerinin simülasyonu ve değerlendirmesini yapmak için kullanılan bir ön fizibilite analiz programıdır. Yazılım Windows işletim sistemi tabanlı özel bir şirkete ait bir programdır. SIMAHPP 5, uluslararası alanda danışmanlar, araştırmacılar ve türbin üreticileri tarafından kabul görmüş ve sıklıkla kullanılan profesyonel bir yazılımdır.



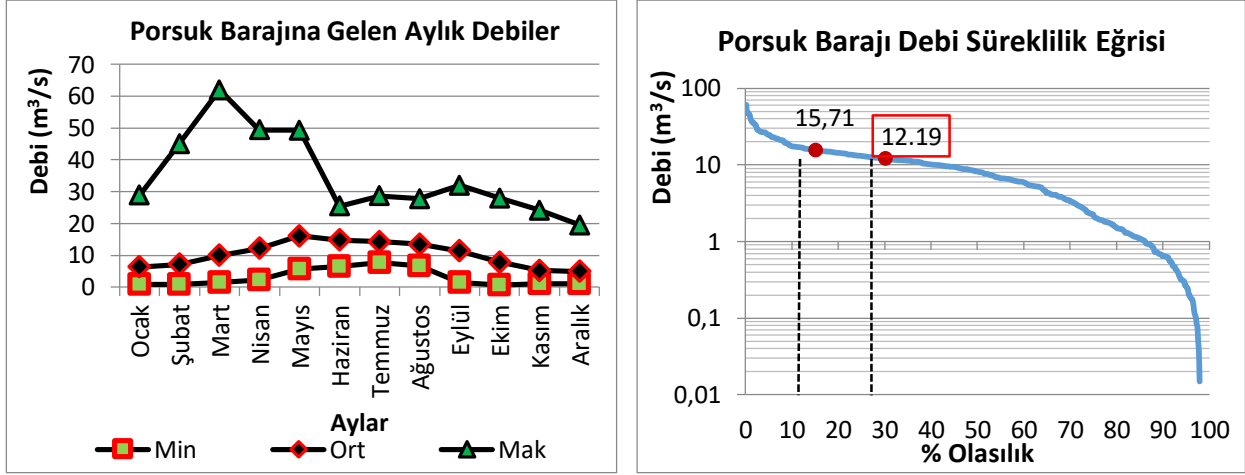
Şekil 5. Porsuk barajının il sınırlarındaki konumu



Şekil 6. SIMAHPP 5 Professional akış diyagramı [14]

SIMAHPP Professional, dizayn akışını belirlemek ve uygun hidro türbinleri seçmek, yıllık enerji üretimini en üst düzeye çıkarmak, enerji gelirini belirlemek, yatırım ve bakım maliyetlerini tahmin etmek, amortisman oranlarını belirlemek, bir yıl içinde çalışma süresini optimize etmek, Net Bugünkü Değer (NPV), İç Verim Oranı (IRR), geri ödeme süreleri ve projenin karbon emisyonunun azaltılmasının yanı sıra planlanan hidroelektrik projesi faaliyete geçerse karbon piyasası geliri potansiyeli gibi bir çok yönü bulunan çok opsiyonlu bir simülatördür (www.hydroxpert.com). Yazılım,

birden fazla Hidroelektrik santrali projesini analiz edebilecek kapasitededir. Yazılım analizlerini yapabilmesi için analiz, 3 farklı veri girişine ihtiyaç duymaktadır. Bu parametreler hidrolik, finansal ve çevresel parametrelerdir (Şekil 6). Yazılımda ilk veri girişi Hidrolik parametrelerdir. Bu parametreler baraj sahasına gelen günlük, aylık veya yıllık debi değerleri olarak girilebilmektedir. Yazılıma günlük debi değeri girilecekse, 365 değer, aylık debi değerleri girilecekse, 12 debi değeri, yıllık debi değeri girilecekse sadece 1 debi değeri girilmesi yeterlidir. Bu çalışmada Porsuk barajına gelen aylık ortalama debiler hidrolik parametre olarak girilmiştir (Şekil 7). Literatürde, hidroelektrik enerji hesaplarında, kurulu güç için Q_{50} ve maksimum tasarım debisi Q_{15} olarak verilmiştir. Başlangıç tasarım debisi, zamanın %15-%30'a karşı gelen değer olarak alınabileceği ifade edilmektedir [15-17]. Bu çalışmada dizayn debisi $12.19 \text{ m}^3/\text{s}$ olarak belirlenmiştir.



Şekil 7. Porsuk barajına gelen aylık ortalama debiler

Ayrıca bu bölümde suyun düşeceği net yükseklik Porsuk barajı için 40 metre olarak girilmiştir. SIMAHPP 5 programının hidroelektrik güç üretimi Denklem 1'de verilen formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$P = \eta * g * Q * H_{net} \quad (1)$$

Burada;

P : Hidroelektrik güç üretimi (kW)

η : Toplam verim katsayısı (%90)

g : Yer çekimi ivmesi (9.81 m/s^2)

Q : Dizayn debisi (m^3/s)

H_{net} : Net düşü yüksekliği (yersel ve sürekli enerji kayıpları ihmal edilmiştir)

Yazılıma ikinci veri girişi olarak finansal parametreler girilir. Bu bölümde kWh başına yatırım maliyetleri, yıllık veya aylık amortisman planı gibi veriler girilmektedir. Bu baraj Türkiye'de bulunduğu için ülkenin finansal parametreleri göz önünde bulundurularak değerler girilmiştir [18]. Son olarak, çevresel parametreler bölümünde karbon emisyonu Hidroelektrik enerji için diğer kaynaklara kıyasla karbon emisyonu azaltma potansiyelinin hesaplanması için oranlar girilmiştir. Bu oranlar doğal gaz için $0.5 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}$, kömür için $0.9 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}$, petrol için $0.65 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}$ olarak yazılıma girilmiştir [19]. Bu veriler girildikten sonra analiz tamamlanır.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, Porsuk barajının HES'e dönüştürülmesi durumunda üreteceği enerji SIMAHPP 5 Professional yazılımı ile analiz edilerek karbon emisyon salınımına etkisi araştırılmıştır. Porsuk barajının yıllık üreteceği elektrik miktarı, kurulu güç, türbin tasarım akışı, enerji üretimi, enerji üretimi,

yatırım ve geri ödeme süresi gibi hesaplanan veriler Tablo 2.'de verilmiştir. Ortaya çıkan sonuçlarda Porsuk barajının toplam yatırım maliyeti 11.81×10^6 USD olduğu tahmin edilmiştir. Ayrıca $12.19 \text{ m}^3/\text{s}$ 'lik bir dizayn debisinde 4.31 MW kurulu güce sahip olacağı bulunmuştur. Bu değer Porsuk HES projesi için DSİ planlamalarında yer alan 4.61 MW kurulu güce yakın çıktığı görülmüştür. Barajın yıllık enerji getirisi 1.024×10^6 USD olduğundan kendi maliyetini geri ödeme süresi barajların uzun ekonomik ömürlerinin yanında 14 yıl gibi kısa bir süre olarak ortaya çıkmıştır.

Tablo 2. SIMAHPP 5 Professional yazılımına göre Porsuk Hidroelektrik Santralının proje karakteristikleri

Project karakteristikleri	Porsuk HES
Net düşü (m)	40.000
Dizayn debisi (m^3/s)	12.19
Tasarım çalışma süresi (%)	40
Güç üretimi (kW)	4,305.020
Enerji üretimi (kWh/year)	597,853,969.200
Enerji geliri (USD/year)	1,024,739.96
Emisyon azaltımı (tCO₂/year-Coal)	9,050.874
Emisyon azaltımı (tCO₂/year-Gas)	3,016.958
Emisyon azaltımı (tCO₂/year-Fuel)	4,827.133
Ortalama Karbon piyasa değeri (USD/year)	34,146.614
Yatırım maliyeti (USD)	11,814,170.51
kW başına yatırım maliyeti (USD/kW)	2,744.277
kWh başına yatırım maliyeti (USD/kWh)	0.784
Bakım ve işletme giderleri (USD/year)	141,770.046
Net bugünkü değer (USD)	1,105,535.764
İç verim oranı (%)	6
Geri ödeme süresi (years)	14
Amortisman planı (yearly)	80,757.795
Önerilen türbin tipi	Francis
Kur oranı (17.02.2020) 1 EUR/USD	1.11

Türkiye'nin 1990 yılından bu yana karbon emisyonlarını %110 oranında arttırdığı belirtilmektedir [20]. Birleşmiş Milletlere sunulan raporda bu artışın hızlanarak devam etmesi öngörülmektedir [21]. Ancak Türkiye ve Sabancı Üniversitesi İstanbul Politikalar Merkezinin hazırladığı raporda ülkemizin ekonomik büyümeyi sürdürerek karbon emisyonlarını azaltabileceği belirtilmiştir [22]. Bu bağlamda hidrolik enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanarak hem ekonomik büyüme sürdürülebilir hem de karbon emisyonu azaltılabilir. Bu nedenle burada yapılan çalışmada ele alındığı gibi hidroelektrik enerji santrallerinin enerji ve ekonomi politikalarına Bu çalışmada yapılan analizler sonucunda yıllık 597 GWh 'lık bir enerji üretiminin termik santraller yerine bir hidroelektrik enerji santralinden üretilmesi durumunda ne kadarlık bir emisyon azaltımı yapacağı ortaya konulmuştur. Aynı miktarda enerji üretimi için çalışmada incelenen Porsuk barajı kömür yakıtlı santrallere göre $9,050.874 \text{ tCO}_2/\text{yıl}$, doğalgaz yakıtlı santrallere göre $3,016.958 \text{ tCO}_2/\text{yıl}$, petrol yakıtlı santrallere göre ise $4,827.133 \text{ tCO}_2/\text{yıl}$ emisyon azaltımı yaptığı görülmektedir (Tablo 2). Türkiye dünya karbon piyasalarında yer almamasına rağmen içerisinde oluşturmuş olduğu gönüllü karbon piyasalarında 2011 yılı itibarıyla 95 milyon ton CO_2 hacminin değeri 576 milyon dolar olarak belirtilmektedir [23]. Türkiye'de gönüllü karbon piyasalarında geliştirilen projeler ve emisyon azaltımları incelendiğinde 2018 yılına kadar 159 hidroelektrik projesinden $8,747,634 \text{ ton CO}_2/\text{yıl}$ sera gazı azaltımı olmuştur [24]. Bu çalışmada Porsuk barajından sağlanan emisyon azaltımının gönüllü karbon piyasasındaki ortalama değeri $34,146 \text{ USD/yıl}$ olacaktır. Bu durum sürdürülebilir ekonomi ve çevre politikaları açısından ülkemize değer kazandıracaktır.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, Türkiye'de son yıllarda yerli turizmin gözde şehirlerinden olan Eskişehir ilinin elektrik enerji santrallerinin durumu ortaya konmuştur. Yapılan çalışmada mevcut durumda Eskişehir ilinde

toplam 558 MW kurulu gücün %54.61'ini yenilenebilir enerji kaynakları, %45.39'unu ise tüketilebilir enerji kaynakları oluşturmaktadır. Buna rağmen yıllık ortalama sera gazı salınımlarının sadece %3.28'i yenilenebilir enerji kaynakları kullanımından geri kalanı ise yenilemeyen enerji kaynakları kullanımından kaynaklandığı görülmüştür. Bu durum yenilenebilir enerji kaynaklarının özellikle çevreci yönüyle öne çıktığı sonucunu getirmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlilerinden biri de hidroelektrik enerji santralleridir. Çalışmada, araştırma yapısı olarak seçilen Porsuk barajının hidroelektrik enerji üretiminin yanı sıra karbon emisyonu azaltımına etkisi detaylı olarak incelenmiştir. SIMAHPP 5 Professional yazılımı yardımıyla yapılan analizlerde 4.31 MW'lık bir kurulu güce sahip Porsuk barajının ürettiği enerjinin kömür, gaz ve petrol gibi fosil kaynakları kullanan bir termik santralden üretilmesi durumunda ortalama 5,5631.55 tCO₂/yıl karbon emisyonu azaltımı sağlayacağı görülmüştür. Ayrıca çalışmanın ekonomik boyutu değerlendirildiğinde barajdan üretilen enerjinin sağladığı karbon salınımı azaltımından 34,146 USD/yıl değerinde bir karbon piyasa değeri olacaktır. Böylelikle bu çalışmayla birlikte hidroelektrik santrallerin termik santrallere kıyasla küresel ısınmanın önlenmesi konusunda çevreye ve ülke ekonomisine yaptığı katkı tartışmasız bir şekilde ortaya konulmuştur.

Yazarların Katkısı

Bu makaledeki tüm katkı yazara aittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Bayraç H.N. 2009. Küresel Enerji Politikaları ve Türkiye: Petrol ve Doğalgaz Kaynakları Açısından Bir Karşılaştırma. Eskisehir Osmangazi University, Journal of Social Sciences, 10 (1): 116-142.
- [2] ExxonMobil. 2019. Outlook for Energy: A Perspective to 2040.
- [3] Liu F., Duncan B.N., Krotkov N.A., Lamsal L.N., Beirle S., Griffin D., McLinden C.A., Goldberg D.L., Lu Z. 2019. A methodology 1 to constrain carbon dioxide emissions from coal-fired power plants using satellite observations of co-emitted nitrogen dioxide. Atmospheric Chemistry and Physics: Discussions., <https://doi.org/10.5194/acp-2019-521>.
- [4] Gai Z., Zhao J., Zhang G. 2018. Typical calculation and analysis of carbon emissions in thermal power plants. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 128 (2018): 012176.
- [5] Mozazzem S., Rasul M.G., Khan M.M.K. 2012. A Review on Technologies for Reducing CO₂ Emission from Coal Fired Power Plants. Thermal Power Plants Book. Intechopen, DOI: 10.5772/31876.
- [6] WCA (World Coal Association). 2020. Coal's role in the electricity generation worldwide. (Erişim Tarihi: 11.02.2020).
- [7] ALA (American Lung Association). 2011. Toxic Air: The Case for Cleaning Up Coal-Fired Power Plants. Report.
- [8] Janssens-Maenhout G., Crippa M., Guizzardi D., Muntean M., Schaaf E., Dentener F., Bergamaschi P., Pagliari V., Olivier J.G.J., Peters J.A.H.W., van Aardenne J.A., Monni S., Doering U., Petrescu A.M.R. 2017. EDGAR v4.3.2 global atlas of the three major greenhouse gas emissions for the period 1970–2012. Earth Syst. Sci. Data Discuss., doi: 10.5194/essd-2017-79.
- [9] Shindell D., Faluvegi G. 2010. The net climate impact of coal-fired power plant emissions. Atmos. Chem. Phys., 10, 3247-3260.

- [10] International Hydropower Association (IHA). 2019. Hydropower Status Report: Sector Trends and Insights, <https://www.hydropower.org/download/file/nojs/21571>. (Erişim Tarihi: 20.02.2020).
- [11] Enerji Atlası. 2020. Eskişehir Elektrik Santralleri. <https://www.enerjiatlası.com/sehir/eskisehir/> (Erişim Tarihi: 15.02.2020).
- [12] Bakış R., Bilgin M., Tuncan A., Altan M. 2009. Porsuk Havzasındaki Çok Amaçlı Barajlardan Elektrik Üretiminin Araştırılması. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi. XXII: 2.
- [13] Hydro Xpert Technology. 2019. SIMAHPP 5 Professional- Windows Based Software.
- [14] Koç C., Bayazıt Y., Bakış R. 2016. A Study on Determining the Hydropower Potential of Çine Dam in Turkey. Computational Water, Energy, and Environmental Engineering, 5: 79-85.
- [15] Bayazıt M. 1985. Hidroloji, ITU, İstanbul.
- [16] Yanmaz A.M. 2006. Applied Water Resources Engineering. METU, Ankara, 1-606.
- [17] Gupta R.S. 2001. Hydrology and Hydraulic Systems. Second Edition, University, Bristol, 1- 867.
- [18] EPIAŞ, 2020. Genel Raporlar, Enerji Piyasaları İşletme A.Ş. (Erişim Tarihi: 16.01.2020).
- [19] Parliamentary Office of Science and Technology (POST) 2019. Carbon footprint of electricity generation, 268. <https://www.parliament.uk/documents/post/postpn268.pdf> (Erişim Tarihi: 20.07.2019).
- [20] INDC. 2020. Intended Nationally Determined Contributions, United Nations Convention on Climate Change. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/nationally-determined-contributions-ndcs/nationally-determined-contributions-ndcs> (Erişim Tarihi: 27.01.2021).
- [21] WWF. 2020. Türkiye Sera Gazı Emisyonlarını Azaltarak da Büyümeye Devam Edebilir, <https://www.wwf.org.tr/?4620> (Erişim Tarihi: 27.01.2020).
- [22] WWF-İPM. 2015. Türkiye için Düşük Karbonlu Kalkınma Yolları ve Öncelikleri. Rapor, İstanbul. http://awsassets.wwftr.panda.org/downloads/20151007_turkiye_icin_duuk_karbonlu_kalknma_yollar_ve_öncelikleri_rapor.pdf (Erişim tarihi: 27.01.2021).
- [23] Republic of Turkey: Ministry of Environment and Urban. 2012. Carbon Markets in Turkey. http://www.yegm.gov.tr/iklim_deg/document/karbon_piyasasi.pdf (Erişim Tarihi: 16.01.2020)
- [24] Gurbuz C., Karatas O.N., Bekci I. 2019. A Research on Carbon Trade and Carbon Accounting Applications in the World and Turkey. Mehmet Akif Ersoy Journal of Social Sciences Institute, 11 (28): 424-438.