



Karadeniz Bölgesinde Yer Alan Derelerde Kurulabilecek Hidroelektrik Santrallere (HES) Uygun Türbin Seçimi ve Güç Hesapları

 Battal DOĞAN^{a,*},  Nisa Nur ATAK^a

^a Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE
* Sorumlu yazar e-mail adresi: battaldogan@gazi.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, Karadeniz Bölgesindeki belirli derelerin hidroelektrik enerji potansiyeli incelenmiştir. Bölgenin coğrafi özellikleri ve derelerin hidrografi verileri temel alınarak Trabzon, Artvin, Giresun ve Rize illerinden seçilen toplam 16 dere için özgül hız ve türbin devir sayısı hesaplanmıştır. Ayrıca, bu dereler üzerine kurulması planlanan hidroelektrik santrallerin kurulu güçleri de belirlenmiştir. Giresun'un Bulancak ilçesinde yer alan Kızılev deresi 105 m net düşüye sahipken Tokmadin deresi 245 m düşüye sahiptir. Derelere ait özgül hız değerleri sırasıyla 227.77 d/d ve 59.87 d/d'dır. Kızılev deresi için uygun türbin tipi Francis tipi olarak belirlenmiş, Tokmadin deresi için ise uygun türbin tipi Pelton tipi türbin olarak belirlenmiştir. Rize'nin merkezinde yer alan Kokasor ve Askaroz derelerinin net düşüşleri aynı olup 105 metredir. Debileri ise sırasıyla 4.03 m³/s ve 6.26 m³/s'dir. Bu iki dere için uygun türbin tipi Francis tipi türbin olarak belirlenmiştir. Kokasor deresinde kurulması planlanan hidroelektrik santralin gücü 3707.26 kW iken Askaroz deresinin gücü 5758.67 kW'tır. Bu veriler, dere üzerinde kurulması planlanan hidroelektrik santralin, akışkan debisi ve net düşü değerinin yüksek olması durumunda maksimum kurulu güce ulaşabileceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Hidroelektrik santral, Karadeniz Bölgesi, debi, net düşü, türbin gücü, kurulu güç

Selection of Suitable Turbines and Power Calculations for Hydroelectric Power Plants (HPP) That Can Be Established In The Streams Located In The Black Sea Region

Abstract

In this study, the hydroelectric energy potential of certain streams in the Black Sea Region was investigated. Based on the geographical characteristics of the region and hydrographic data of the streams, specific velocity and turbine speed were calculated for a total of 16 streams selected from Trabzon, Artvin, Giresun and Rize provinces. In addition, the installed capacity of the hydroelectric power plants planned to be built on these streams was also determined. Kızılev stream in Bulancak district of Giresun has a net fall of 105 m, while Tokmadin stream has a fall of 245 m. The specific velocity values of the streams are 227.77 rpm and 59.87 rpm, respectively. The appropriate turbine type for Kizillev stream is Francis, while for Tokmadin stream it is Pelton turbine. Kokasor and Askaroz streams in the center of Rize have the same net fall of 105 meters. Their flow rates are 4.03 m³/s and 6.26 m³/s respectively. In addition, the appropriate turbine type for these two streams is determined as Francis turbine. The power of the hydroelectric power plant planned to be built on Kokasor stream is 3707.26 kW, while the power of Askaroz stream is 5758.67 kW. These data show that the maximum installed capacity of the hydroelectric power plant planned to be built on the stream can be reached if the fluid flow rate and net head value are high.

Keywords: Hydroelectric power plant, Black Sea Region, flow rate, net head, turbine power, installed capacity

1. Giriş

Enerji sektöründeki sürekli değişim, modern toplumların temel dinamiklerinden birini oluşturmaktadır. Bu değişimin öncelikli itici gücü, enerji talebinin hızla artan bir eğilim göstermesidir. Dünya genelinde enerji üretiminde sürdürülebilir, çevre dostu ve yenilenebilir kaynakların kullanımı, küresel enerji güvenliğini sağlamak ve iklim değişikliği ile mücadele etmek adına kritik bir konumda bulunmaktadır. Sürdürülebilir ve çevre dostu enerji kaynaklarına olan talep de aynı oranda yükselmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları, geleneksel enerji üretim yöntemlerinin aksine çevresel etkileri minimize ederek sürdürülebilir enerji üretimine katkıda bulunmaktadır [1]. Güneş, rüzgâr, jeotermal ve hidroelektrik gibi çeşitli kaynaklar, enerji sektörünü çeşitlendirmekte ve karbon emisyonlarını azaltarak dünya genelindeki enerji talebinin karşılanmasına yönelik stratejilerin temelini oluşturmaktadır. Bu durumun etkisiyle, araştırmacılar yenilenebilir enerji kaynaklı çalışmalara yönelmiştir [2–5]. Hidroelektrik santraller, bu yenilenebilir kaynaklarının önemli bir parçasını oluşturmakta ve enerji üretiminde temiz ve sürdürülebilir bir seçenek olarak aktif rol oynamaktadır. Suyun mekanik enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren hidroelektrik santraller, çevre dostu bir enerji üretim yöntemi olarak ön plana çıkmaktadır [6]. Ayrıca, hidroelektrik santrallerin uzun ömürlü olmasını sağlayan önemli bir faktör, suyun doğal döngüsünün kullanılmasıdır.

Literatürde hidroelektrik santrallere yönelik yapılmış araştırmalar oldukça fazladır [7–13]. Paish [14] yürüttüğü çalışmada, çeşitli küçük ölçekli hidroelektrik teknolojilerinin ve sektördeki çeşitlenmenin anlaşılması amacıyla özellikle güncel yenilikleri incelemiştir. Elde edilen sonuçlara göre hidroelektrik santrallerinin diğer alternatif enerji kaynaklarına göre daha cazip bir seçenek olduğu sonucuna varılmıştır. Hidroelektrik enerjinin, sürekli olarak güç sağlayabilmesi ve bu sayede enerji arzının istikrarlı bir şekilde sağlanması bu kaynağı güçlü kılmaktadır [14]. Sözen ve ark. [15] Türkiye'deki enerji sektörünün önemli bir unsuru olan hidroelektrik santrallerin verim analizlerine odaklanan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, Türkiye'de faaliyet gösteren on hidroelektrik santralının verimlilik performansını modelleme ile ayrıntılı bir şekilde inceleyerek, bu tesislerin enerji üretimindeki etkinliklerini değerlendirmeyi amaçlamıştır. Elde edilen bulgulara göre, Gökçekaya Hidroelektrik Santrali, enerji üretiminde en iyi etkinlik sergileyen tesis olarak öne çıkmıştır. Zayıf performans gösteren tesislerin parametrelerinin değişim göstermesi ve iyileştirmeler yapılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

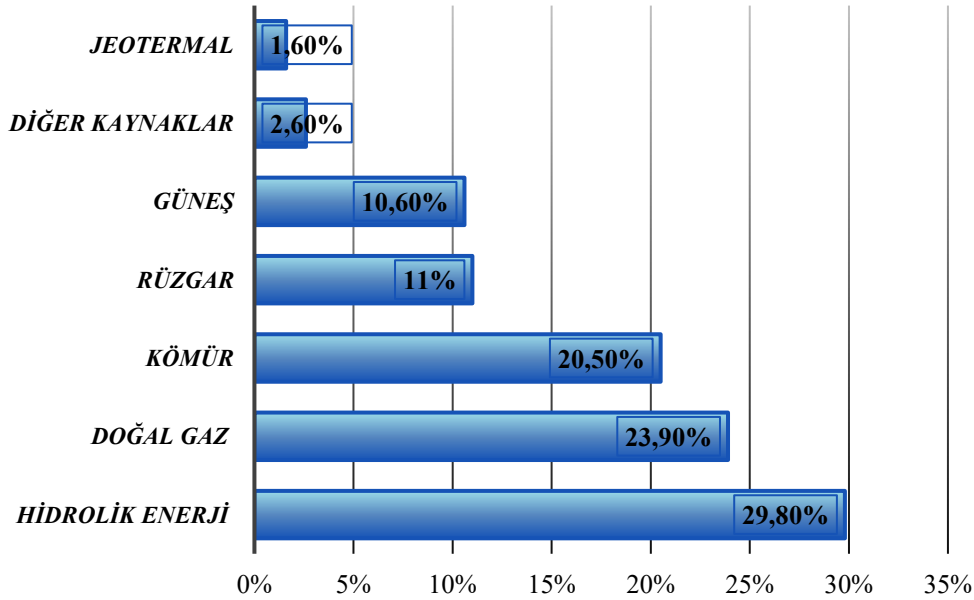
Hidroelektrik santrallerin termodinamik analizinin yapıldığı çalışmalar, santralin verimliliği ve performansı hakkında önemli bilgiler sağlayarak, tasarım ve işletme süreçlerinde iyileştirmeler yapılmasına olanak tanımaktadır [16–19]. Thapa ve Poudel [20] Güney Asya'da yer alan Nepal'deki bir hidroelektrik santralin performans analizini gerçekleştirmek amacıyla deneysel verilerle termodinamik hesaplar yapılmışlardır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre üç farklı ünite de akışkan debisinin artırılması türbin verimliliğini gözle görülür şekilde yükseltmiştir. Souza [21] yürüttüğü çalışmada Brezilya'da faaliyet gösteren hidroelektrik santrallerin, akışkan kaynağının alanına bağlı olarak güç kıyaslaması yapmıştır. Çalışmada, hidroelektrik santrallerin farklı akışkan kaynaklarına sahip olmalarının, güç üretimindeki farklılıkları nasıl etkilediği incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, baraj alanının artmasıyla birlikte üretilen güç arasında doğru bir orantı bulunmaktadır.

Bu çalışma, Karadeniz Bölgesindeki 16 adet derenin hidroelektrik enerji potansiyelini belirlemeyi amaçlamaktadır. Bölgenin coğrafi özellikleri, derelere ait debi ve düşü başta olmak üzere Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) verileri kullanılarak, Trabzon, Artvin, Giresun ve Rize illerinden seçilen toplam 16 dere için özgül hız ve türbin devir sayısı hesaplanmıştır. Böylece hangi türbin tipinin seçileceği belirlenerek türbinin gücü hesaplanmıştır. Ayrıca bu derelere kurulması tasarlanan

hidroelektrik santrallerin kurulu güçleri belirlenmiştir. Bu çalışma, bölgesel hidroelektrik potansiyeli üzerinde detaylı bir perspektif sunmanın yanı sıra, enerji üretimi için en uygun çözümleri araştırmada önemli bir ilerleme sağlamaktadır.

1.1. Hidroelektrik Enerji Potansiyeli Açısından Türkiye

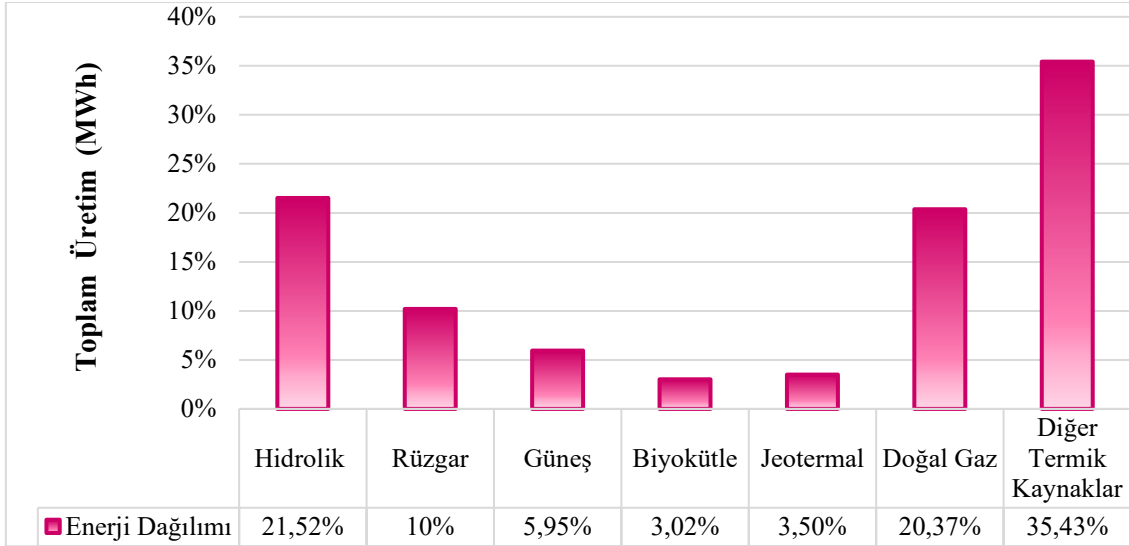
Türkiye'deki elektrik üretimi, çeşitli enerji kaynaklarından sağlanan paylarla çeşitlilik göstermektedir. Doğalgaz, kömür, sıvı yakıtlar, güneş enerjisi, hidroelektrik, rüzgâr, jeotermal ve biyogaz enerji üretim portföyünde yer almaktadır. Bu çeşitlilik, Türkiye'nin enerji üretimini farklı kaynaklardan sağlayarak enerji güvenliğini artırma ve sürdürülebilir bir enerji politikası izleme çabasını yansıtmaktadır [22]. Şekil 1'de 2023 yılı Türkiye'deki kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı verilmiştir. 2023 yılı itibarıyla, Türkiye'deki enerji üretim kapasitesi toplamda 106.152 MW'a ulaşarak, enerji sektöründeki kurulu güçte belirgin bir artış göstermiştir [23]. Bu artışta hidroelektrik enerjinin %29.80'lik bir pay ile etkisi oldukça belirgindir.



Şekil 1. 2023 yılında Türkiye'de kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı

Türkiye'de toplu elektrik üretimi enerjisi üretim dağılımı şekil 2'de sunulmuştur. Şekil incelendiğinde, hidroelektrik enerjinin %21.52'lik bir paya sahip olduğu görülmektedir. Bu oran, diğer yenilenebilir enerji türlerine kıyasla hidroelektrik enerjinin elektrik üretiminde daha önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Türkiye'nin enerji portföyünde hidroelektrik kaynaklarının bu şekilde belirgin bir paya sahip olması, ülkenin enerji ihtiyaçlarını karşılamak için su kaynaklarını etkin bir şekilde kullanmasını yansıtmaktadır.

Karadeniz Bölgesi, doğal kaynakları ve coğrafi özellikleri ile önemli bir hidroelektrik enerji potansiyeline sahiptir. Bölge, yüksek dere debilerine, dağlık arazi yapısına ve birçok nehir sisteminin varlığına sahiptir. Bu özellikler, Karadeniz Bölgesini hidroelektrik santralleri için uygun kılmaktadır [24]. Karadeniz Bölgesinde gerçekleştirilen hidroelektrik projeler, enerji üretimine önemli katkılarda bulunmaktadır. Ancak, bu potansiyelin değerlendirilmesi için türbin seçimi oldukça önemlidir. Hidroelektrik enerji, sürdürülebilir ve temiz bir enerji kaynağı olma potansiyeline sahip olduğu gibi bilinçli bir şekilde yönetilmelidir.

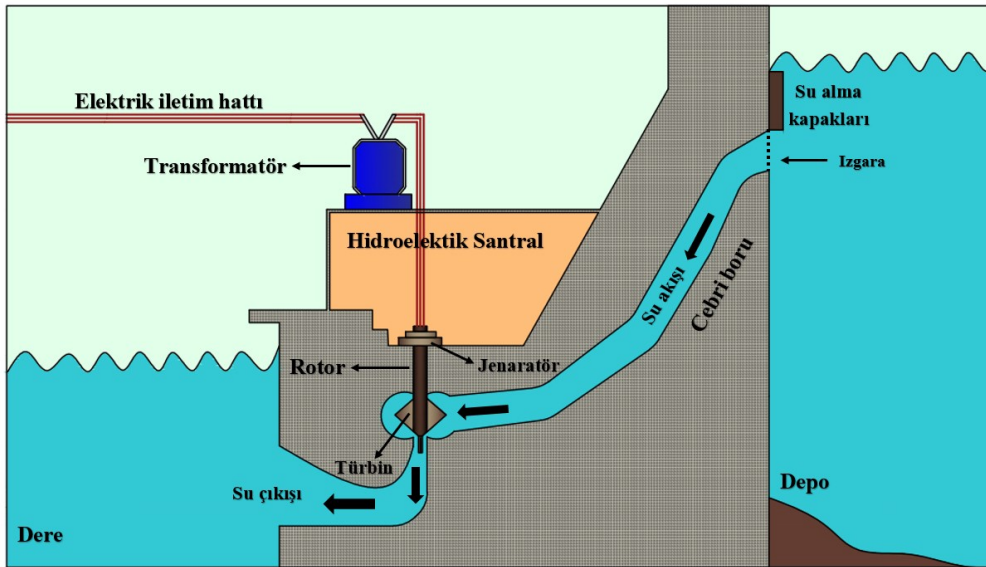


Şekil 2. Türkiye'de toplu elektrik üretimi enerjisi üretim dağılımı [25]

1.2. Hidrolik Enerji

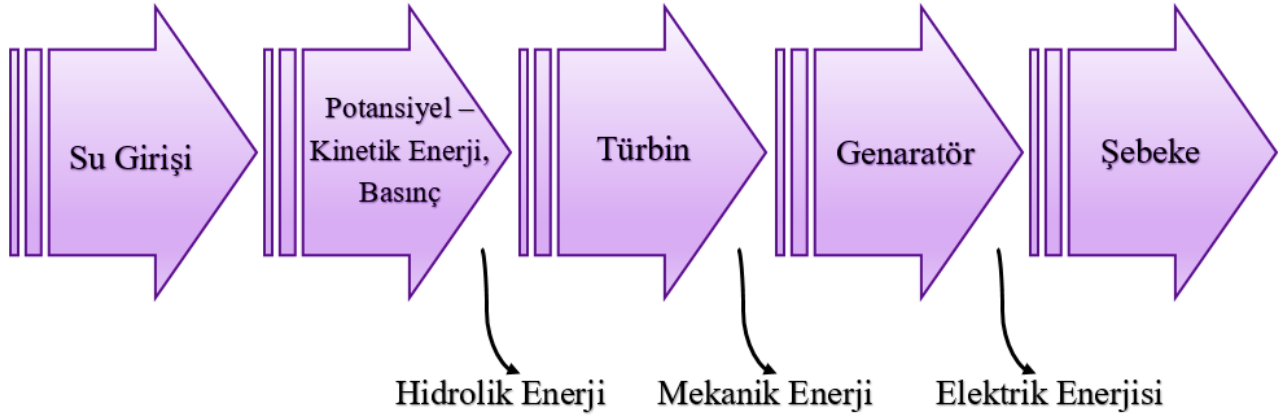
Hidrolik enerji, suyun potansiyel ve kinetik enerjisinin mekanik enerjiye dönüştürülmesi ve ardından bu enerjinin elektrik enerjisine çevrilmesiyle elde edilen önemli bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Bu enerji formu genellikle barajlar, akarsular veya derelerdeki akış kontrol tesisleri aracılığıyla kullanılmaktadır.

Aşağıda verilen şekilde (Şekil 3) görülebileceği üzere hidroelektrik santraller, suyun kontrol altına alınması ve belirli bir yükseklikten akan suyun enerjiye dönüştürülmesi prensibiyle çalışmaktadır [26]. Barajlarda depolanan su, belirli bir yükseklik farkı sağlandığında serbest bırakılarak türbinlere yönlendirilmektedir. Bu süreçte, suyun potansiyel enerjisi kinetik enerjiye dönüştürülerek türbinlerin dönmesi sağlanmaktadır. Bu dönme işlemi, mekanik enerjinin ortaya çıkmasını sağlamaktadır [27].



Şekil 3. Hidroelektrik santralden enerji üretimi

Bu enerji türünün üretimi şematik olarak aşağıdaki şekilde (Şekil 4) verilmiştir. Bu teknoloji, çevre dostu bir enerji üretim yöntemi olarak öne çıkmaktadır. Su kaynaklarının sürdürülebilir şekilde kullanılmasını sağlayan hidroelektrik santraller, elektrik enerjisi üretimine katkıda bulunurken çevresel etkileri de en aza indirmektedir. Hidrolik enerji, yenilenebilir enerji kaynakları arasında güvenilir ve etkili bir seçenek olup, enerji ihtiyacının temiz bir şekilde karşılanmasına katkı sağlamaktadır.



Şekil 4. Hidroelektrik enerji üretiminin şematik gösterimi

1.2. Hidroelektrik Santrallerin Sınıflandırılması

Türbinler, genellikle hidroelektrik santrallerinde, termik santrallerde, rüzgâr türbinlerinde ve uçak motorlarında enerji üretmek için kullanılmaktadır. Hidroelektrik türbinler, suyun kinetik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren önemli makine elemanıdır [28]. Temel olarak bir mil ve bu mil üzerinde yer alan kanatçıklardan oluşmaktadır. Türbinlerin yapısı, kullanılan akışkan türüne bağlı olarak değişim göstermektedir. Genel olarak, türbinler, akışkanın türbin kanatçıklarına çarparak türbin miline hareket kazandırması ile çalışmaktadır. Bu hareket, milin çıkışında mekanik işe dönüşür ve mekanik iş, jeneratörler aracılığıyla elektrik enerjisine çevrilir. Türbinler kullanım alanlarına, ürettikleri güce ve güç üretme biçimlerine göre Tablo 1'deki gibi çeşitli şekillerde sınıflandırılabilirler. Bu çeşitlilik, su kaynaklarının farklı özelliklerine ve enerji ihtiyaçlarına uygun çözümler sunma kapasitesini yansıtmaktadır.

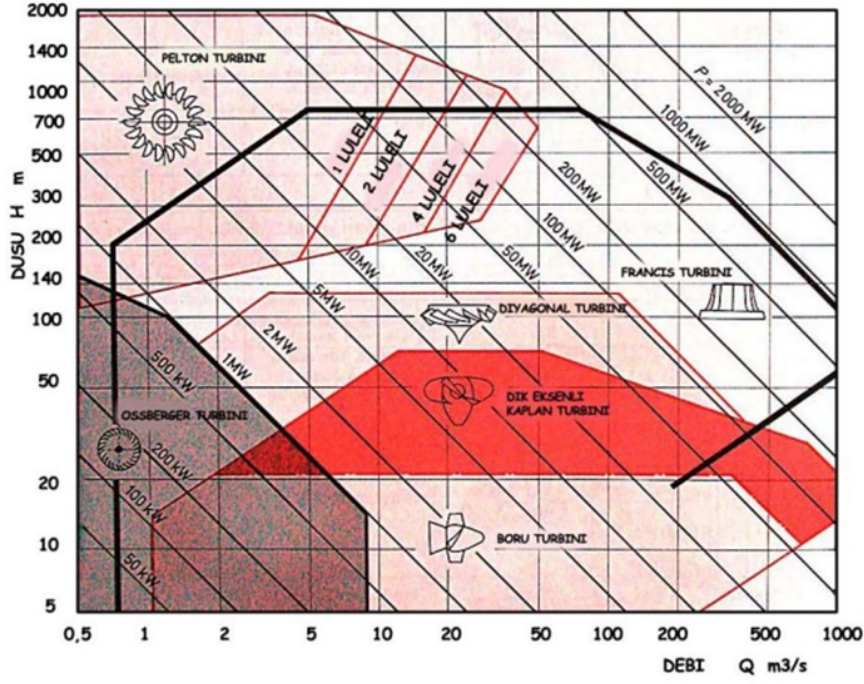
Tablo 1. Hidroelektrik türbinlerinin sınıflandırılması [29,30]

<i>Düşü</i>		<i>Türbin Çıkış Gücü</i>		<i>Suyun Akış Doğrultusu</i>	<i>Türbin Milinin Durumu</i>	<i>Suyun Etki Şekli</i>
Düşük Basınç	H<50 m	Yüksek güçlü hidrolik türbinler)	P > 100 MW	Eksenel akışlı türbinler	Yatay eksenli türbinler	Aksiyon tipi türbinler [Pelton, Turgo, Banki]
Orta Basınç	20-400 m	Orta güçlü hidrolik türbinler	20 – 100 MW	Radyal akışlı türbinler	Dikey eksenli türbinler	Reaksiyon tipi türbinler [Francis, Kaplan]
Yüksek Basınç	H>300 m	Küçük güçlü hidrolik türbinler	1 – 20 MW	Diyagonal akışlı türbinler	Eğik eksenli türbinler	
		Mini hidrolik türbinler	100 KW – 1 MW	Teğetsel akışlı türbinler		
		Mikro hidrolik türbinler	5 KW – 100 KW	Saptırılmış akışlı türbinler		
		Piko hidrolik türbinler	< 5 KW			

2. Materyal Metot

Karadeniz Bölgesinde bulunan dere, nehir ve akarsular, genellikle dik yamaçlardan gelen sularla beslenmekte olup yoğun yağış rejimleri nedeniyle genellikle yüksek debilere sahiptir. Bu derelerin taşıdığı su potansiyeli, hidroelektrik enerji üretimi için önemli bir kaynak oluşturmaktadır. Hidrolik enerji, çevre dostu ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak öne çıkmakta ve Karadeniz Bölgesi'nin enerji ihtiyaçlarını karşılamak için stratejik bir potansiyele sahiptir. Derenin hidrolik potansiyeli, sadece enerji üretimi için değil, aynı zamanda su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi ve çevresel denge açısından da büyük önem taşımaktadır.

Akarsu veya deredeki akışkan debisi ile net düşü dikkate alarak, çalışma türbininin belirlenmesi sürecinde, Esher-Wyss'ın geliştirdiği şekil 5'de verilen debi ve düşüye göre belirlenen tabloyu kullanarak türbin seçimi yapılmaktadır [31–33]. Analizler sırasında, kurulu güç ve özgül hız hesaplamalarının detaylı bir şekilde yapılması gerekmektedir.



Şekil 5. Debi ve düşü değerlerine göre türbin tipi seçim diyagramı [34]

Bir türbinin 1 m düşü altında 1kW güç üretebilmesi için dakikada yapması gereken devir sayısı, özgül hız (n_s) olarak ifade edilmektedir. Eşitlik 1’de verildiği gibi özgül hız, net düşüye (H_{net}) bağlı olarak değişim göstermektedir. Literatürdeki araştırmalardan elde edilen bilgiler doğrultusunda, özgül hız hesaplamaları için çeşitli ampirik formüller [35] geliştirilmiştir. Bu çalışmada Bureau of Reclamation’ın geliştirdiği özgül hız formülü kullanılmıştır. Türbin özgül hız değeri hesaplandıktan sonra tablo 2’den uygun türbin tipi seçimi yapılmaktadır.

Oesterlen’e göre özgül hız;

$$n_s = \frac{3500}{H_{net}^{0,7}} \quad (1)$$

Voith’e göre özgül hız;

$$n_s = \frac{4140}{H_{net}^{0,7}} \quad (2)$$

Kuarner Brug’a ve Egyazarof’a göre özgül hız;

$$n_s = \frac{5000}{H_{net}^{0,7}} \quad (3)$$

Bureau of Reclamation’a göre özgül hız;

$$n_s = \frac{2334}{H_{net}^{0,7}} \quad (4)$$

Siervo ve Leva’ya göre özgül hız;

$$n_s = \frac{3470}{H_{net}^{0,65}}$$

Tablo 2. Türbin tipinin özgül hız değeri sınıflandırılması [36]

<i>Türbinler</i>	<i>Özgül hız (n_s)</i>
Kaplan	250-300
Francis	51-250
Pelton	7-26

Hidroelektrik santralının kurulu gücü (P), akışkan yoğunluğu (ρ), yerçekimi katsayısı (g), akışkanın debisi (Q), net düşü (H_{net}) ve verime (η) bağlı olarak aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır [30,37]. Nakil hattı verimi η_n , transformator verimi η_T , cebri boru verimi η_c , türbin verimi η_t ve jeneratör verimi η_j olmak üzere: Kesin hesap verilerine erişmek mümkün olmayacağı için sadece belirlenen türbine göre türbin verimi (η_t) değiştirilmiştir. Formülde yer alan diğer verimler sabit alınarak hesaplanmıştır.

$$P = \rho g Q H_{net} \eta \quad (6)$$

$$\eta = \eta_n \times \eta_T \times \eta_c \times \eta_t \times \eta_j \quad (7)$$

Türbin özgül hızı ve kurulu güç değerleri belirlendikten sonra, özgül hızın kurulu gücün kareköküne oranının, akarsu düşüşü ile çarpılması yoluyla türbin devir sayısı (n), eşitlik 8'de ifade edildiği gibi hesaplanmaktadır [38].

$$n = H_{net}^{1,25} \times \left(\frac{n_s}{p^{0,5}} \right) \quad (8)$$

Pompaj sırasında toplam türbin gücü (P_t), akışkan yoğunluğu (ρ), yerçekimi katsayısı (g), akışkanın debisi (Q), net düşü (H_{net}) ve seçilen türbin verimine (η) bağlı olarak hesaplanır. Bu hesaplama, aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir [37].

$$P_t = \rho g Q H_{net} / \eta \quad (9)$$

3. Sonuçlar ve Tartışma

Yapılan çalışmada Karadeniz Bölgesinde stratejik öneme sahip olan Trabzon, Artvin, Giresun ve Rize illerinde bulunan derelerin hidrolik özellikler detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu illerdeki derelerin doğal özellikleri, su debisi ve düşü gibi temel hidrografi verileri üzerinde kapsamlı bir araştırma yapılmıştır. Araştırmanın temelini, DSİ verilerinden elde edilen net düşü ve akışkan debisi oluşturmuştur. Bu veriler, seçilen illerindeki derelerin hidroelektrik enerji üretimine uygunluk potansiyelini analiz etmek amacıyla kullanılmıştır. Yapılan değerlendirmede, derelerin coğrafi özellikleri, su debisi, düşü, özgül hız gibi önemli parametreler göz önüne alınarak bölgenin enerji taleplerini karşılamak üzere uygun türbin seçimleri yapılmıştır. Özgül hız hesapları Bureau of Reclamation'ın geliştirdiği formülü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca özgül hız için geliştirilen diğer amprik formüllerle de hesaplamalar yapılmış olup standart sapma değeri belirlenmiştir. Daha düşük net düşü değerine sahip derelerde standart sapmanın yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Ardından kurulması tasarlanan hidroelektrik santrallerin kurulu güçleri hesaplanmıştır. Bu çalışma, bölgesel hidroelektrik potansiyelinin detaylı bir anlayışını sunmakla birlikte, enerji üretimi için optimal çözümler arayışında önemli bir adım olma niteliği taşımaktadır. Elde edilen bulgular, Karadeniz Bölgesi'ndeki su kaynaklarından maksimum verim elde etme amacını destekleyerek, sürdürülebilir enerji üretimi konusunda stratejik kararlar alınmasına katkı sağlamaktadır.

Trabzon ilinde bulunan Kalyan, Baltacı, Solaklı ve Yanbolu Dereleri için gerçekleştirilen araştırmada, debi ve düşü değerleri üzerinden özgül hız hesaplamaları yapılmış ve uygun türbin tipinin belirlenmesi amacıyla analizler gerçekleştirilmiştir. Her bir dere için özgül hız ve standart sapma değeri tablo 3’de yer almaktadır. Net düşünün yüksek olmasına bağlı olarak en düşük özgül hız 200.88 d/d ile Kalyan Deresinde görülmüştür. Trabzon ilindeki dört dere için reaksiyon tipi türbin kullanımının uygun olduğu belirlenmiştir. Kalyan, Baltacı ve Solaklı Dereleri için en uygun türbin seçeneği Francis türbini olurken, Yanbolu Deresi için ise Kaplan türbini tipi olarak belirlenmiştir. Bu değerlendirmeler, her dere için özelleştirilmiş enerji üretim çözümleri sağlamak adına yapılmıştır.

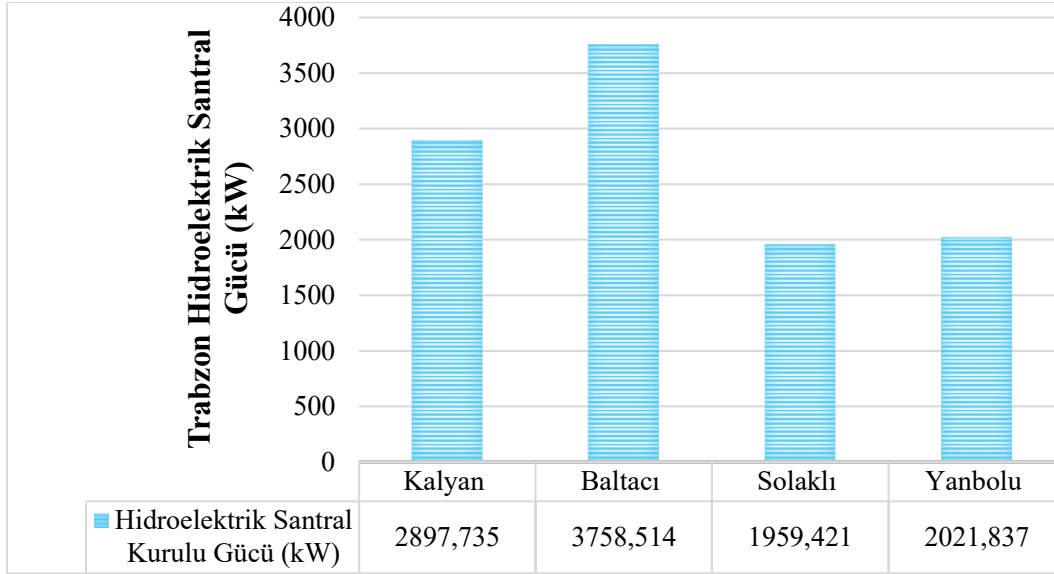
Türbin gücü, hidroelektrik santral içindeki türbinin kendisinin üretebildiği maksimum enerji gücünü ifade etmektedir. Türbin gücü, suyun düşü ve debisi gibi faktörlere bağlı olarak belirlenir ve genellikle kW (kilovat) veya MW (megavat) cinsinden ölçülmektedir. Trabzon ilindeki maksimum türbin gücü Baltacı Deresinde 4253.74 kW olarak hesaplanmıştır. Bu değer elde edilmesinde debinin rolü belirgindir. Çaykara ilçesinde bulunan Solaklı Deresinin debisi 2.13 m³/s’dir. Bu değere göre kurulması planlanan türbinin gücü 2217.59 kW olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu veriler, hidroelektrik potansiyelinin belirlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır.

Tablo 3. Trabzon ilinde bulunan 4 dere için uygun türbin tipleri ve türbin güçleri

<i>İlçe</i>	<i>Dere Adı</i>	<i>Debi (Q)</i>	<i>Net Düşü (H_{net})</i>	<i>Özgül Hız (n_s)</i>	<i>Özgül Hız Standart Sapma Değeri</i>	<i>Uygun Türbin Tipi</i>	<i>Türbin Gücü (kW)</i>
<i>Maçka</i>	Kalyan Deresi	2.45	135	200.88	5.365	Francis	3279.54
<i>Hayrat</i>	Baltacı Deresi	5.72	75	269.51	7.985	Francis	4253.74
<i>Çaykara</i>	Solaklı Deresi	2.13	105	227.78	6.254	Francis	2217.59
<i>Arsin</i>	Yanbolu Deresi	4.9	60	301.32	9.246	Kaplan	3090.15

Hidroelektrik santral gücü, sadece türbin tarafından üretilen enerjiyi değil, aynı zamanda santral içinde bulunan jeneratör, transformatör ve diğer sistemlerdeki enerji kayıplarını da içeren tüm enerji dönüşüm süreçlerini de içermektedir. Bu güç, hidroelektrik santralde gerçekleşen bütün enerji dönüşüm adımlarını içererek, elektrik şebekesine beslenen toplam enerji miktarını temsil etmektedir. Hidroelektrik santral gücü, su kaynağından elektrik enerjisi üretimine kadar olan süreçteki verimliliği, kayıpları ve sistem içi etkileşimleri değerlendirmektedir. Bu veri tesisin enerji üretim kapasitesini belirlemekte önemli bir faktördür, çünkü sadece türbinin performansını değil, aynı zamanda tüm enerji dönüşüm süreçlerini hesaba katarak daha kapsamlı bir perspektif sunmaktadır.

Trabzon ilinden seçilen dört ildeki derelerde kurulması tasarlanan hidroelektrik santralin kurulu güçleri şekil 6’de verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere Solaklı ve Yanbolu Deresi benzer bir kurulu güç değeri sergilemişlerdir. Solaklı ve Yanbolu Deresindeki planlanan hidroelektrik santralin kurulu güçleri sırasıyla 1959.42 kW ve 2021.83 kW’tır. Trabzon’un Hayrat İlçesinde bulunan Baltacı Deresi diğer derelere kıyaslaya daha yüksek bir debiye sahiptir. Bu durumun sonucunda 3758.51 kW’lık hidroelektrik santral gücüyle maksimumum değer elde edilmiştir.



Şekil 1. Trabzon ilinde bulunan 4 dere için hidroelektrik santral güçleri

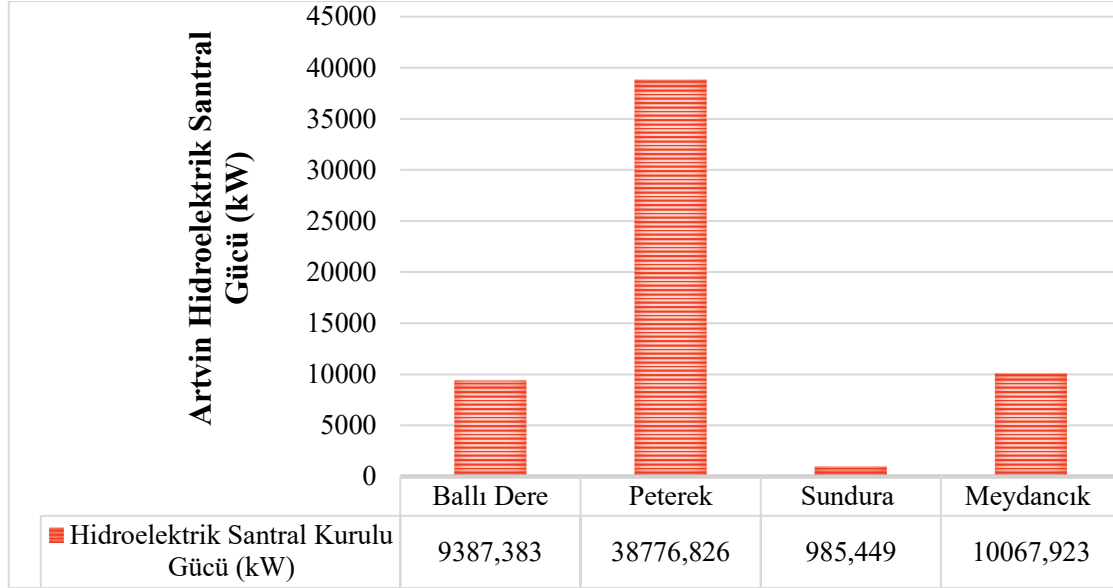
Artvin ilinden Ballı, Peterek, Sundura ve Meydancık Dereleri seçilmiş olup analizler için gerekli hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Özgül hız, standart sapma değerleri ve uygun türbin tipleri, tablo 4'de detaylı bir şekilde sunulmuştur. Meydancık Deresinin özgül hız değeri, dakikada 61.36 devir olarak belirlenmiştir. Bu özgül hız, Pelton türbininin kullanımı için uygun olduğunu göstermektedir. Pelton türbinleri genellikle düşük özgül hızlara sahiptir ve özellikle yüksek düşüşlerde etkili bir şekilde çalışabilmektedir. Ballı Deresi 360 m³'lük düşüşü ile 123.01 d/d özgül hıza sahiptir. Hopa ilçesindeki Sundura Deresi, 2.96 m³/s debi değeriyle 1115.29 kW'lık bir türbin gücü elde etmektedir. Peterek Deresi en yüksek 66.09 m³/s debiye sahip olmasıyla maksimum türbin gücüne sahiptir. Bu değer 43886.12 kW olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4. Trabzon ilinde bulunan 4 dere için uygun türbin tipleri ve türbin güçleri

İlçe	Dere Adı	Debi (Q)	Net Düşü (H _{net})	Özgül Hız (n _s)	Özgül Hız Standart Sapma Değeri	Uygun Türbin Tipi	Türbin Gücü (kW)
Arhavi	Ballı Deresi	3.46	360	123.01	4.965	Pelton	12219.33
Yusufeli	Peterek Deresi	66.06	67	285.14	9.948	Francis	43886.12
Hopa	Sundura Deresi	2.96	38	378.62	11.586	Francis	1115.29
Şavşat	Meydancık Deresi	4.38	305	61.36	5.126	Pelton	13105.17

Artvin ilinde seçilen dört dere için planlanan hidroelektrik santrallerin kurulu güçleri şekil 7'de verilmiştir. Peterek Deresinde planlanan santralin kurulu gücü 38776.82 kW olarak belirlenmiştir. Peterek Deresinin diğer derelere kıyasla daha yüksek potansiyele sahip olmasının temel nedeni maksimum akışkan debisine sahip olmasıdır. Ballı ve Meydancık Dereleri için öngörülen

hidroelektrik santrallerin güçleri sırasıyla 9387.38 kW ve 10067.92 kW olarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalarda. Artvin'deki minimum hidroelektrik santral kurulu gücü Hopa'da yer alan Sundura Deresinde 985.44 kW olarak görülmüştür. Bu durumun nedeni dereninin en düşük 2.96 m³/s debi ve 38 m düşü değerine sahip olmasıdır.



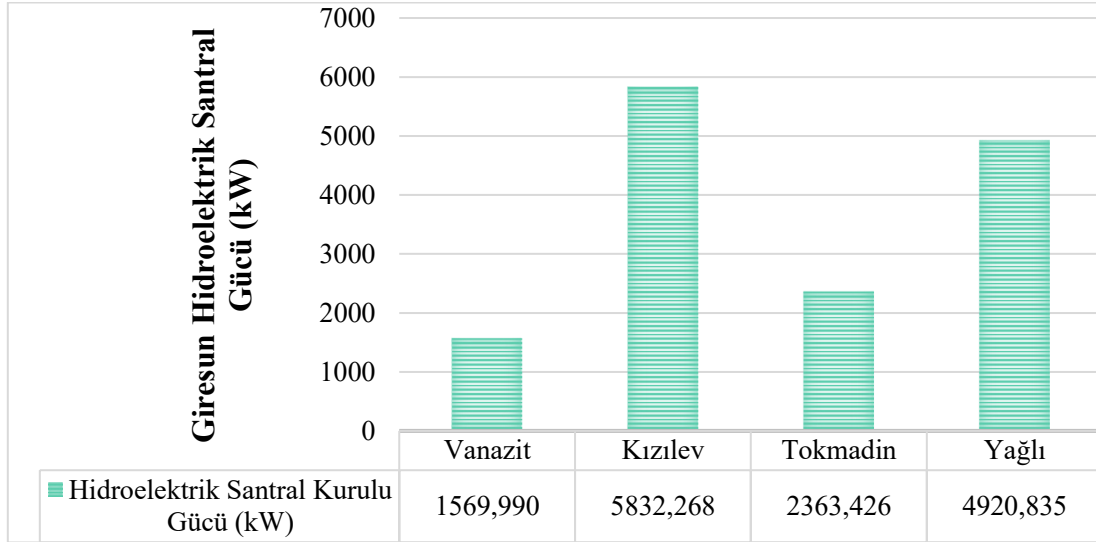
Şekil 7. Artvin ilinde bulunan 4 dere için hidroelektrik santral güçleri

Giresun ilinde yer alan Vanazit, Kızılev, Tokmadin ve Yağlı Dereleri üzerinde yapılan analizlerden elde edilen verileri tablo 5'de verilmiştir. Bu hesaplamaların amacı, her dere için en uygun türbin tipini belirlemek ve hidroelektrik potansiyeli üzerinde değerlendirmelerde bulunmaktır. Düşük net düşü değerine sahip olan Tirebolu ilçesindeki Yağlı Deresi için uygun türbin tipi Kaplan Türbinidir. Bu dereye ait özgül hız değeri 314.716 d/d'dır. Vanazit Deresi için uygun türbin tipi Francis iken Tokmadin Deresi için Pelton türbinidir. Tokmadin Deresinin özgül hızı 59.873 d/d'dır. Kızılev Deresinde 6600.73 kW türbin gücü sağlanırken Yağlı Deresi 8022.33 kW türbin gücüne sahiptir.

Tablo 5. Giresun ilinde bulunan 4 dere için uygun türbin tipleri ve türbin güçleri

<i>İlçe</i>	<i>Dere Adı</i>	<i>Debi (Q)</i>	<i>Net Düşü (H_{net})</i>	<i>Özgül Hız (n_s)</i>	<i>Özgül Hız Standart Sapma Değeri</i>	<i>Uygun Türbin Tipi</i>	<i>Türbin Gücü (kW)</i>
<i>Kesap</i>	Vanazit Deresi	2.56	70	278.966	8.496	Francis	1776.85
<i>Bulancak</i>	Kızılev Deresi	6.34	105	227.775	7.259	Francis	6600.73
<i>Bulancak</i>	Tokmadin Deresi	1.28	245	59.873	4.347	Pelton	3076.41
<i>Tirebolu</i>	Yağlı Deresi	13.01	55	314.716	9.436	Kaplan	8022.33

Giresun ilinde belirlenen dört dere üzerinde planlanan hidroelektrik santrallerin kurulu güçleri şekil 8'de sunulmuştur. Yağlı Deresi'nde öngörülen santralin kurulu gücü 4920.83 kW olarak belirlenmiştir. Aynı ilde yer alan Bulancak ilçesindeki Kızılev Deresi, yüksek net düşü değerine sahip olmasıyla birlikte elde edilen maksimum kurulu gücüyle dikkat çekmektedir. Bu değer 5832.26 kW'tır. Vanazit Deresi ise düşük debiye ve düşük net düşü değerine sahip olduğundan, 1569.99 kW'lık hidroelektrik santral gücü ile minimum düzeyde güç elde edilmektedir.



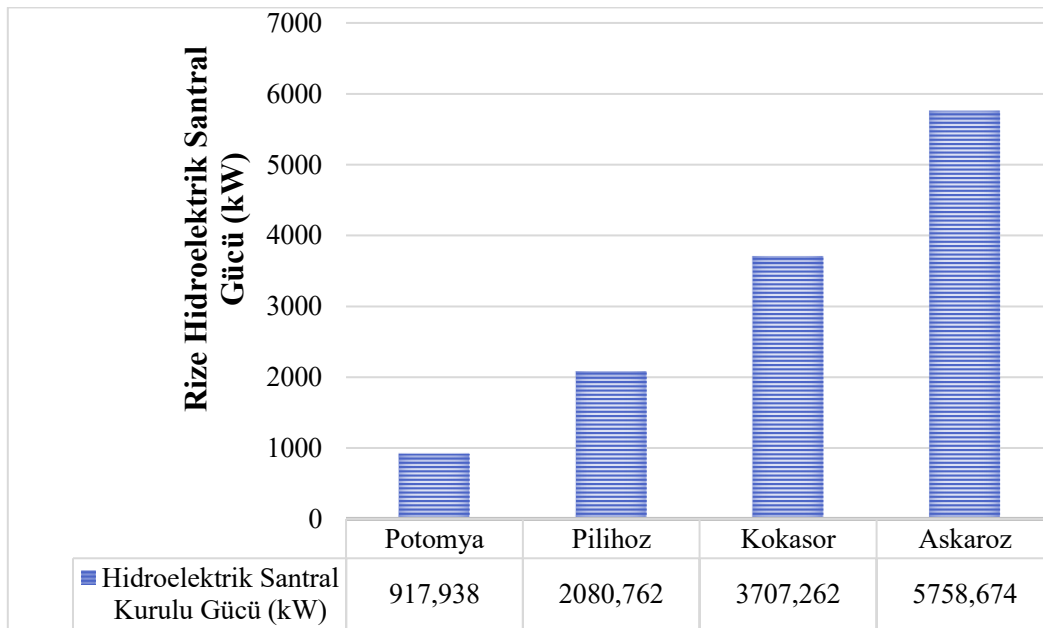
Şekil 8. Giresun ilinde bulunan 4 dere için hidroelektrik santral güçleri

Rize ilinde gerçekleştirilen analizler kapsamında Potomya, Pilihoz, Kokasor ve Askaroz Dereleri seçilmiştir. Her bir dere için hesaplanan özgül hız ve standart sapma değerleri, tablo 6'da verilmiştir. Potomya Deresi, yüksek net düşüne sahip olmasıyla birlikte en düşük 63.25 d/d özgül hız değerine sahiptir. Pilihoz, Kokasor ve Askaroz Dereleri için, en uygun türbin seçeneği olarak Francis türbini

önerilmiştir. Ancak, Potomya Deresi için Pelton türbini tipi uygun bulunmuştur. Bu dereye ait türbin gücü 1194.85 kW'tır. Rize'nin merkezinde yer alan Askaroz Deresinde yapılan hesaplamalar sonucunda türbin gücü 6507.03 kW olarak belirlenmiştir.

<i>İlçe</i>	<i>Dere Adı</i>	<i>Debi (Q)</i>	<i>Net Düşü (H_{net})</i>	<i>Özgül Hız (n_s)</i>	<i>Hız</i>	<i>Özgül Hız Standart Sapma Değeri</i>	<i>Uygun Türbin Tipi</i>	<i>Türbin Gücü (kW)</i>
<i>Güneysu</i>	Potomya Deresi	0.84	145	63.25		7.637	Pelton	1194.85
<i>Yüksekköy</i>	Pilihoz Deresi	2.5	95	239.46		8.147	Francis	2354.92
<i>Merkez</i>	Kokasor Deresi	4.03	105	227.77		6.598	Francis	4195.73
<i>Merkez</i>	Askaroz Deresi	6.26	105	227.77		6.598	Francis	6507.03

Rize ilinde seçilen dört dere üzerinde planlanan hidroelektrik santrallerin kurulu güçleri şekil 9'da gösterilmiştir. Şekilden açıkça görüldüğü üzere, derelerin akışkan debisinin kurulu güç değerleri üzerinde belirgin bir etkisi vardır. Örneğin. Potomya ve Askaroz Derelerinde planlanan hidroelektrik santrallerin kurulu güçleri sırasıyla 917.93 kW ve 5758.67 kW olarak hesaplanmıştır. Merkezde bulunan Kokasor Deresi'nde tasarlanan santralin gücü 3707.26 kW iken Pilihoz Deresinin hidroelektrik santralin gücü 2080.762 kW'tır. Bu veriler, akışkan debisinin farklı derelerin hidroelektrik potansiyellerini ve enerji üretimine olan etkisini açıkça ortaya koymaktadır.



Şekil 9. Rize ilinde bulunan 4 dere için hidroelektrik santral güçleri

4. Değerlendirme

Araştırma, Karadeniz Bölgesi'ndeki belirli akarsuların hidroelektrik enerji potansiyelini ortaya çıkarmayı amaçlamış ve bölgenin coğrafi karakteristikleri ile akarsularının hidrografi verilerini kullanarak Trabzon, Artvin, Giresun ve Rize illerinden seçilen 16 dere için özgül hız ve türbin devir sayısı hesaplamıştır. Bu analizler, enerji üretimi için en uygun türbin tipini belirlemiştir. Aynı zamanda, planlanan hidroelektrik santrallerin kurulu güçleri üzerinde kapsamlı bir analiz yapılmıştır. Çalışmanın elde ettiği sonuçlara göre, derelerin net düşü değerlerinin özgül hız üzerinde belirleyici bir etken olduğu ortaya çıkmıştır. Örneğin, Trabzon'da yer alan Kalyan Deresi ile Yanbolu Deresi'nin net düşüşleri sırasıyla 135 m ve 60 m iken, bu derelere ait özgül hız değerleri 200.8 d/d ve 301.32 d/d olarak belirlenmiştir. Derenin net düşüşünün düşük olması standart sapmayı yükselteceğinden yüksek net düşüye sahip derelere hidroelektrik santral kurmanın daha makul olduğu görülmüştür.

Ayrıca elde edilen veriler, özellikle yüksek akışkan debisi ve net düşü değeri olan derelerin, planlanan hidroelektrik santrallerin maksimum kurulu güce ulaşabileceği potansiyeli taşıdığını göstermektedir. Artvin'in Yusufeli ilçesindeki Peterek Deresi'nde planlanan hidroelektrik santralin gücü 38776.82 kW iken, Meydancık Deresi'nin gücü 10067.92 kW olarak belirlenmiştir. Bu bulgular, hidroelektrik enerji üretimi açısından bu bölgelerdeki derelerin önemli bir potansiyele sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Semboller

H_{net}	Net düşü
n	Türbin Devir Sayısı [d/d]
n_s	Türbin Özgül Hızı [d/d]
P	Hidroelektrik Santralin Kurulum Gücü [kW]
P_t	Türbin Gücü [kW]
Q	Debi [m^3/s]
ρ	Akışkan Yoğunluğu [kg/m^3]
g	Yerçekimi Katsayısı [m/s^2]
η	Verim
η_n	Nakil Hattı Verimi
η_T	Transformatör Verimi
η_c	Cebri Boru Verimi
η_t	Türbin Verimi
η_j	Jeneratör Verimi

Teşekkür ve Finansman

Yazarlar, bu çalışmaya imkan sağladığı için Gazi Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümüne teşekkür ederler.

Deklarasyon ve Etik Standartlar

Yazarlar bu makalenin araştırılması, yazarlığı ve/veya yayınlanmasıyla ilgili olarak herhangi bir potansiyel çıkar çatışması beyan etmemiştir. Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan eder.

Yazar Katkısı

Yazar 1 ve Yazar 2 sunulan fikri tasarladı. Yazar1 ve Yazar 2 teoriyi geliştirdi, hesaplamaları yaptı ve deneyleri gerçekleştirdi. Yazar 1 ve Yazar 2 bu çalışmanın bulgularını denetledi. Tüm yazarlar sonuçları tartıştı ve makaleyi son haline getirdi.

Kaynaklar

- [1] Sachdev HS, Akella AK, Kumar N. Analysis and evaluation of small hydropower plants: A bibliographical survey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2015;51:1013–22.
- [2] Sayed ET, Olabi AG, Alami AH, Radwan A, Mdallal A, Rezk A, et al. Renewable energy and energy storage systems. *Energies* 2023;16:1415.
- [3] Erdogan S, Pata UK, Solarin SA. Towards carbon-neutral world: The effect of renewable energy investments and technologies in G7 countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2023;186:113683.
- [4] Dinçer H, Yüksel S, Çağlayan Ç, Yavuz D, Kararoğlu D. Can renewable energy investments be a solution to the energy-sourced high inflation problem? *Managing inflation and supply chain disruptions in the global economy*, IGI Global; 2023, p. 220–38.
- [5] Zheng J, Du J, Wang B, Klemeš JJ, Liao Q, Liang Y. A hybrid framework for forecasting power generation of multiple renewable energy sources. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2023;172:113046.
- [6] Yaman M, Haşıl F. Türkiye'deki Hidroelektrik Santrali (HES) Uygulamalarına Çevre Açısından Bakış. *Uluslararası Afro-Avrasya Araştırmaları Dergisi* 2018;3:145–56.
- [7] Wijesinghe A, Lai LL. Small hydro power plant analysis and development. 2011 4th International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT), IEEE; 2011, p. 25–30.
- [8] Martinez-Monseco FJ. Analysis of maintenance optimization in a hydroelectric power plant. *Journal of Applied Research in Technology & Engineering* 2020;1:23–9.
- [9] Bezerra UH, Ohana I, Vieira JPA. Data-mining experiments on a hydroelectric power plant. *IET Generation, Transmission & Distribution* 2012;6:395–403. <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2011.0594>.
- [10] Jamil R, Jamil I, Jinquan Z, Li M, Qirong J, Jamil R. Development trend of Chinese hydroelectric generation technology of hydro power plant (HPP). *International Journal of Engineering Works* 2014;1:1–5.
- [11] Zaripov OO, Nimatov SJ, Tovboev AN, Eralieva YM, Zaripova SO, Zakirov MA, et al. Calculation of the nominal power and electrical energy of the hydro power plant on an electronic calculator. *E3S Web of Conferences*, vol. 486, EDP Sciences; 2024, p. 01027.
- [12] Mohibullah M, Radzi AM, Hakim MIA. Basic design aspects of micro hydro power plant and its potential development in Malaysia. *PECon 2004. Proceedings. National Power and Energy Conference, 2004.*, IEEE; 2004, p. 220–3.
- [13] Atlason RS, Unnthorsson R. Energy return on investment of hydroelectric power generation calculated using a standardised methodology. *Renewable Energy* 2014;66:364–70.
- [14] Paish O. Small hydro power: technology and current status. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2002;6:537–56. [https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(02\)00006-0](https://doi.org/10.1016/S1364-0321(02)00006-0).

- [15] Sözen A, Alp İ, Kilinc C. Efficiency assessment of the hydro-power plants in Turkey by using data envelopment analysis. *Renewable Energy* 2012;46:192–202.
- [16] Bidini G, Grimaldi CN, Postriotti L. Thermodynamic analysis of hydraulic air compressor-gas turbine power plants. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy* 1997;211:429–37. <https://doi.org/10.1243/0957650971537321>.
- [17] Blanquiceth J, Cardemil JM, Henríquez M, Escobar R. Thermodynamic evaluation of a pumped thermal electricity storage system integrated with large-scale thermal power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2023;175:113134.
- [18] Yilmaz F. Development and modeling of the geothermal energy based multigeneration plant for beneficial outputs: Thermo-economic and environmental analysis approach. *Renewable Energy* 2022;189:1074–85.
- [19] Ibrahim TK, Mohammed MN. Thermodynamic evaluation of the performance of a combined cycle power plant. *International Journal of Energy Science and Engineering* 2015;1.
- [20] Thapa SK, Poudel L. Performance Evaluation of Francis Turbine using thermodynamics analysis: A Case Study of Kali Gandaki A Hydropower Plant-144 MW. *Proceedings of IOE Graduate Conference*, 2017.
- [21] de Souza ACC. Assessment and statistics of Brazilian hydroelectric power plants: Dam areas versus installed and firm power. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2008;12:1843–63.
- [22] Öztürk, H. H. Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Birsen Yayınevi; 2013, p. 253.
- [23] Elektrik - T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı n.d. <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik> (accessed January 2, 2024).
- [24] Serencam U. Doğu Karadeniz Bölgesindeki küçük akarsuların hidroelektrik potansiyellerinin analizi. PhD Thesis. Sakarya Üniversitesi (Turkey), 2007.
- [25] Raporlar n.d. <https://www.euas.gov.tr/raporlar> (accessed March 10, 2024).
- [26] Liu Y, Ye L, Benoit I, Liu X, Cheng Y, Morel G, et al. Economic performance evaluation method for hydroelectric generating units. *Energy Conversion and Management* 2003;44:797–808.
- [27] Bilen EN, TAŞKESEN E, ALAHMAD H. Hidroelektrik Santrallerde İş Sağlığı ve Güvenliği n.d.
- [28] Özbay E, Gençoğlu MT. Hidroelektrik santrallerin modellenmesi. *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Diyarbakır* 2009;108:115.
- [29] Veli S, FIRAT SS. Hidroelektrik Santraller ve Rize İlinde Bulunan Hidroelektrik Santrallerin Şehir ve Doğu Karadeniz Havzası İçin Önemi. *Türk Hidrolik Dergisi* 2020;4:8–23.
- [30] Öztaşkın FB. Artvin İlindeki Farklı Derelerin Hidroelektrik Enerji Potansiyelinin ve Yapılabilirliğinin İncelenmesi. PhD Thesis. Sakarya Üniversitesi (Turkey), 2018.
- [31] KÖSE OÖ, Nevzat O. Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Mm 598 Seminer Dersi n.d.
- [32] Pancar, Y., Ergür, S. *Hidrolik Makinalar ve Uygulamaları*. 2007.
- [33] Çallı, İ. *Uygulamalı Hidrolik Makineleri*,. Seçkin Yayıncılık.; 2011.
- [34] ADATEPE H, Volkan Ö. Hidroelektrik Santrallerde Türbin Seçimi ve Francis Türbin Tasarım Parametreleri. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi* 2019;9:349–58.
- [35] Başeşme H. Hidroelektrik santraller ve hidroelektrik santral tesisleri. EÜAŞ Genel Müdürlüğü Hidrolik Santraller Dairesi Başkanlığı; 2003.
- [36] AYLI E, ULUCAK O. Yapay Sinir Ağları Ve Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi İle Francis Tipi Türbinler İçin Verim Tahminlemesi. *Journal of Thermal Science & Technology/Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi* 2020;40.
- [37] Altun HS. Mevcut rezervuarların pompaj depolamalı hidroelektrik santrale dönüştürülmesi üzerine bir çalışma. Master's Thesis. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 2023.
- [38] Yazıcı, H. F. *Hidrolik Makinaları Problemleri*. 2. Baskı. İstanbul Teknik Üniversitesi,: İTÜ Yayını; 1983.