

Kezer Çayı'nın hidroelektrik enerji potansiyelinin değerlendirilmesi

Mahmut EMİNOĞLU, Fevzi ÖNEN*

Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 21280, Diyarbakır

Özet

Türkiye'de su kullanım hakkının devrine ilişkin yasanın yürürlüğe girdiği 2001 yılından itibaren Hidroelektrik Santral (HES) yatırımları ivme kazanmış ve böylece ülkemiz adeta bir şantiye halini almıştır. Bu durum HES planlamalarının önemini ve akademik düzeyde ilgiyi arttırmıştır. Bu çalışmada, Kezer Çayı'nın hidroelektrik enerji potansiyelinin değerlendirmesine yönelik olarak, biriktirmesiz bir hidroelektrik tesisin planlamasına ait somut bir örnek incelenmiştir. Bu kapsamda ilk önce Türkiye'nin enerji politikasında HES'lerin önemine değinilmiştir. Proje sahası topografik, coğrafi, sosyal ve kültürel açıdan ele alınarak, Kezer Çayı hakkında drenaj alanı, beslediği sular ve katıldığı akarsu hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Akım gözlem istasyonu debi ve akım kayıtlarından faydalanılarak debi süreklilik eğrisi oluşturularak su debisi bulunmuştur. Çökeltim havuzu, iletim kanalı, cebri borudaki sürekli ve yersel yük kayıpları toplamı hesaplanarak net düşüm yüksekliği bulunmuştur. Debi, net düşü ve türbin verimi değerleri kullanılarak kurulu güç ve yıllık toplam enerji değerleri bulunmuştur. Son olarak regülatör dolu savak kapasitesinin belirlenmesi amacıyla bölgesel taşkın frekans analizi yöntemi kullanılarak taşkın hesaplamaları yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Enerji, Yenilenebilir enerji, Regülatör (bağlama), Hidroelektrik santralleri, Kezer Çayı.

Kezer River hydroelectric energy potential evaluation

Extended abstract

Energy plays a vital role in the socio-economic development and in raising the standard of living. Turkey is a rapidly growing country where both its population and economy are expanding each year, resulting in a corresponding increase in its energy demand. This increasing demand has to be met to keep a sustainable development in the economy and to raise the living conditions of the people. Although Turkey has many energy sources, it is a big energy importer. Turkey has a lot of potential to supply its own energy, which could be harnessed in order to avoid this energy dependency.

Small, mini and micro-hydro plants (usually defined as plants less than 10 MW, 2 MW and 100 kW, respectively) play a key role in many countries for rural electrification. Small scale hydro is mainly 'run of river,' so does not involve the construction of large dams and reservoirs. Therefore there have been minimal and ignorable environmental problems with small scaled hydro plants in comparison with those of HEPs with large dams. In medium head (5m < head < 15 m) or high head (head > 15 m) installations, water is carried to the forebay by a small canal. Low head installations (head < 5m) generally involve water entering the turbine almost directly from the weir. Small hydro technology is extremely robust (systems can last for 50 years or more with little maintenance) and also has the capacity to make a more immediate impact on the replacement of fossil fuels because unlike other sources of renewable energy. It can generally produce some electricity on demand with no need for storage or backup systems. Turkey has a mountainous landscape with an average elevation of 1132 m that is about three

times higher than the European average. This topography favors the formation of high gradient mountain streams which are suitable locations for SHEP development.

Investments of Hydroelectric Power Plants have been grown up and our country has become like a construction site by entering into force of the law concerning the transfer of the right of water use in Turkey since 2001. This situation has increased the importance of planning and arousing interest of academic levels of Hydroelectric Power Plant. In this study, a concrete example of a not accumulated hydroelectric facility planning is discussed by aiming of consideration of Kezer River hydroelectric energy potential. In this context, first the importance of Hydroelectric Power Plants in Turkey's energy policy is mentioned. Topographic, geographic, social and cultural aspects of the project site are considered in material and methods section of the thesis that is subject to Kezer River drainage area, fed by the waters and the river attended. Benefiting from the records of the flow rate and flow gauging stations, flow duration curve was created and the water flow rate was found. Sediment pool, a transmission channel, penstock pipe by calculating the sum of local and frictional losses, net head found. Installed power and energy values of the total annual flow have been calculated using discharge, net head and turbine efficiency. Finally, in order to determine the capacity of the regulator spillway flood calculations were made with the help of regional flood frequency analysis method.

Keywords: Energy, Renewable energy, The Regulator (binding), hydroelectric power plants, Kezer River

Giriş

Gelişmekte olan dünya ile birlikte insanoğlunun enerji ihtiyacı bir yandan artmakta, diğer yandan enerji kaynakları her geçen gün azalmaktadır. Bu durum insanoğlunu farklı enerji kaynaklarını bulma arayışına yöneltmiştir. İnsanoğlu bu arayışın neticesinde yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının başlıcaları; güneş, rüzgar, biokütle ve sudur. Bu enerji kaynakları içerisinde su, teknik ve ekonomik olarak en verimli şekilde değerlendirilebilen enerji kaynağıdır (Yüksek ve ark, 2006). Yaşamsal bir sıvı ve enerji kaynağı olarak son derece stratejik bir öneme sahip olan su, hidrolojik çevrim sayesinde doğal bir döngü içerisinde hareket halinde olup devamlı olarak potansiyel enerjisini yenileyebilmektedir. Suyun sahip olduğu bu enerjisinin önce kinetik enerjiye, sonra mekanik enerjiye ve ardından elektrik enerjisine dönüştürülmesi işlemlerinin gerçekleştirildiği tesisler hidroelektrik santral (HES) olarak adlandırılır. Farklı su havzalarından başlayıp aynı su toplama havzaları üzerinde birleşen irili ufaklı su kollarına varıncaya kadar, akarsuların hidroelektrik potansiyelinin değerlendirilmesi ülkemizin enerji ihtiyacını karşılaması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu anlamda Devlet Su İşleri (DSİ) ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) öncü kurumlar olarak Türkiye'nin su kaynaklarından en üst düzeyde faydalanabilmeyi sağlayacak projeler geliştirmiştir. Özellikle, 2001 yılında yürürlüğe giren su kullanım hakkının devrine ilişkin 4628 sayılı kanun çerçevesinde devletçe geliştirilen projelerin yanı sıra, özel sektör tarafından geliştirilen projelerle Türkiye'nin su kaynaklarından maksimum düzeyde fayda sağlanacak bir seviye yakalanmıştır. Son yıllarda özel sektöre geliştirilen yaklaşık 1216 adet proje ve devletçe geliştirilen yaklaşık 155 adet proje farklı aşamalarda işlemleri sürmektedir. Bu yoğun proje çalışmalarında kültürel ve çevresel etkilere dayalı bazı olumsuzluklar gündeme gelse de, bu tür sorunlu projelerin sayısının yürütülen projelerin toplam sayısına kıyaslandığında cüzi bir oranda kaldığı görülür. Türkiye, hala öz kaynaklardan

temin edilebilen yenilenebilir enerji yerine dışarıya bağımlılığı gerektiren ve sera gazları için olumsuz etkilere sahip, karbon salınımı yüksek olan kömür ve doğalgaz gibi termik santrallerde sağlanan enerjiye bağımlı kalmaya devam etmektedir.

Bugün yapılmakta olan ve proje safhasındaki HES'lerin yapımı çevreci baskısından dolayı durdurulsa, 2023 verilerine göre 80 milyar Kwh enerjiyi termik santrallerle karşılamak zorunda kalınacaktır. Bunun için her yıl 15 milyar m³ doğal gaz gereksinim duyulacak ve ödenecek doğal gaz bedeli her yıl yaklaşık 3 milyar dolar olacaktır (Bulu, 2011).

Türkiye 433 milyar kWh brüt teorik hidroelektrik potansiyeli ile dünya hidroelektrik potansiyeli içinde %1 paya sahiptir. 127.6 milyar kWh ekonomik olarak yapılabilir potansiyeli ile Avrupa ekonomik potansiyelinin yaklaşık %15'i mertebesinde hidroelektrik potansiyele sahip bulunmaktadır (Serencam, 2007).

Türkiye'deki Kurulu güç kapasitesinin yıllar itibarıyla gelişimi Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) kaynaklarından alınarak Tablo1.'de verilmiştir. Bu çizelge incelendiğinde, 1990-2005 yılları arasında kurulu güçte 23293 MW'lık bir artış olduğu ve 2005 yılında Türkiye kurulu gücünün 39611 MW'a ulaştığı görülmektedir. Toplam kurulu gücün 22532 MW'ını (%56.8) termik, 12941 MW'ını (%32.7) hidrolik, yaklaşık 63 MW'ını ise jeotermal ve rüzgar santralleri oluşturmaktadır. Ayrıca elektrik enerjisi üretim gelişimi de Tablo 2'de verilmiştir. Bu tablolardan da görüleceği üzere 2000 yılında 124.9 milyar kWh olan brüt elektrik enerjisi üretimi, 2005 yılında ise yaklaşık %6.5'luk bir artışla 130.3 milyar kWh'a çıkmıştır.

Tablo 1. Elektrik enerjisi kurulu güç kapasitesi gelişimi

Enerji kaynağı	1990	%	1995	%	2000	%	2005	%
Taşkömürü	332	2.0	326	1.5	480	1.8	674	1.7
Linyit	4874	29.9	6048	28.8	6510	23.8	9313	23.5
Petrol	1748	10.7	1353	6.5	1586	5.8	3110	7.9
Doğalgaz	2210	13.5	2884	13.8	4905	18.0	9435	23.8
Top. termik	9536	58.4	11073	52.8	16052	50.8	22532	56.8
Jeotermal	18	0.1	18	0.1	18	0.1	31	0.1
Rüzgar	-	-	-	-	19	0.1	32	0.1
Top. hidrolik	6754	41.5	9863	47.1	11175	41.0	12941	32.7
Diğer(*)	372	2.3	462	2.2	2571	9.4	4075	10.3
Genel toplam	16318	100	20954	100	27264	100	39611	100

*Odun, odun talaşı, sıvı kökür, kökür keki, prit, atık ve çok yakıtlı santralleri kapsamaktadır.

Tablo 2. Elektrik enerjisi üretim gelişimi (Gwh)

Enerji kaynağı	1990	%	1995	%	2000	%	2005	%
Taşkömürü	621	1	2232	3	3819	3	3908	3
Linyit	19560	34	25815	30	34367	28	32566	25
Petrol	3942	7	5772	7	9311	7	9118	7
Doğalgaz	10192	18	16579	19	46217	37	53188	41
Top. termik	34315	60	50620	59	93934	75	99000	76
Jeotermal	80	0	86	0	76	0	74	0
Rüzgar	-	-	-	-	33	0	35	0
Top. hidrolik	23148	40	35541	41	30879	25	33759	24
Diğer(*)	-	-	222	0	220	0	220	0
Genel toplam	57543	100	86247	100	124922	100	130263	100

*Sıvı kökür, kökür keki, prit ve atık santralleri kapsamaktadır.

Türkiye'deki tüketimin artmasına paralel olarak enerji üretim tesisleri devreye sokulmadığı takdirde gelecekte enerji açığı ile karşılaşmamız kaçınılmazdır. Gelecek yıllara ait elektrik ihtiyacı tahminlerine göre 2020 yılında brüt elektrik enerjisi talebi 547060 GWh olarak gözükmektedir. Bunun sağlanabilmesi için her yıl 3000 MW dolayında yeni santral ilavesi gerekmektedir (Serencam, 2007).

Hes'ler, biriktirmeli (baraj tipi) ve biriktirmesiz (nehir tipi) olarak iki kısma ayrılır. Biriktirmeli HES'lerde tarım alanlarının fazlaca işgal edilmesi, ilk yatırım bedelinin çok yüksek

olması gibi sebepler nedeniyle maliyeti daha düşük ve kamulaştırma alanı daha az olan nehir tipi santraller rağbet görmeye başlamıştır. Özellikle Yap-İşlet-devret modeliyle su kullanımı hakkının özel sektöre verilmesi sonucunda Türkiye'de bir Hidroelektrik tesis patlaması yaşanmıştır. Biriktirmesiz hidroelektrik santral (HES) dünyada ve Avrupa'da (özellikle kuzey Avrupa ülkelerinde) yaygın bir uygulama olması yönüyle yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en parlak dönemine ulaşmıştır. Tablo 3'de Avrupa ülkelerindeki hidroelektrik üretimi gösterilmiştir (Öncül, 2008).

Tablo 3. Avrupa'da hidroelektrik üretimi

Ülke adı	Hidroelektrik kurulu güç (Mwh)	Elektrik üretiminin yüzdesi
Norveç	27.569	% 99.40
Fransa	25.200	% 15.00
İspanya	20.076	% 20.00
İsveç	16.200	% 55.00
İtalya	15.267	% 18.40
İsviçre	13.240	% 57.90
Avusturya	11.700	% 70.40
Romanya	5.860	% 34.80
Ukrayna	4.732	% 06.70
Almanya	4.525	% 02.60
Portekiz	4.394	% 27.00
Yunanistan	3.080	% 09.60
Yugoslavya	2.910	% 35.00
Bosna – Hersek	2.380	% 46.00
Finlandiya	2.340	% 21.50
Türkiye	12.494	% 25.21

Ülkemiz topoğrafik yapıya bağlı olarak 26 hidrolojik su havzasına ayrılmıştır. Bu havzaların toplam yıllık ortalama akışları 186 milyar m³'tür. Fırat Havzası 31.61 milyar m³ ile en fazla su verimine sahiptir. Dicle Havzası ise 21.33 milyar m³ ile ikinci sırayı almaktadır. Fırat ve Dicle havzaları toplam ülke su potansiyelinin yaklaşık % 28.5'ini oluşturur.

Küçük, mini ve mikro hidroenerji santralleri (Bunlara genellikle sırasıyla 10 MW, 2 MW ve 100 kW'tan küçük santraller denir) birçok ülkede kırsal bölgelerin elektrik ihtiyacının karşılanmasında kilit bir rol oynarlar. Küçük ölçekli hidroenerji santralleri (SHP) maliyet açısından da birçok durumda fosil yakıtlı enerji santralleri ya da uzak kırsal alanlar için dizel jeneratörlü sistemlerden daha avantajlıdır. (Kaygusuz, 2004). Küçük hidroenerji tesisleri (< 10 MW) halen dünya kapasitesinin 40 GW'dan daha fazlasını karşılamaktadır. Dünyadaki küçük hidroenerji potansiyelinin 100 GW'tan daha fazla olduğuna inanılmaktadır. Küçük hidroenerji kaynakları 8 GW'tan fazla bir kapasiteyi karşılarlar ve mevcutların bakımı projeleri de dahil olmak üzere ek olarak 18 GW'lık bir küçük ölçekli

hidroenerji potansiyeli daha olduğu tahmin edilmektedir (Paish, 2002). Türkiye'de % 5'i orta düşümlü, % 95'i de yüksek düşümlü olmak üzere 80 adet SHP vardır (Punys, 2004).

Bir hidroelektrik tesisin planlanması; inşaat mühendisi, jeoloji mühendisi, elektrik mühendisi, makine mühendisi, hidrolog, vb. farklı alanlarda uzman kişilerin ekip halinde çalışmasını gerektiren uzun, hassas ve zorlu bir süreçtir. Bu çalışmada inşaat mühendisliği ile ilgili kısımlara yönelik bir planlama çalışması yapılmıştır. Bu planlama çalışmasında, Dicle Havzasında bulunan ve yaklaşık 101,00 km uzunluğa sahip Kezer Çayı'nın tüm hidroelektrik potansiyelinin değerlendirilmesini yapmak bu çalışmayı aşan çok kapsamlı bir konudur. Bu nedenle DSİ'nin özel sektöre uyguladığı su kullanım hakkının hangi kotlar arasında olduğunu belirten sisteme dayanarak, Kezer Çayı'nın 577 m ile 532 m kotları arasında kalan kısmına ait hidroelektrik potansiyelin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu çalışmanın sonucunda gerçek veriler kullanılarak biriktirmesiz bir hidroelektrik tesisin planlamasının aşamaları somut bir örnekle ortaya konmuş olacaktır. Bu planlama sonucunda ortaya çıkan tesis, Kezer Regülatörü ve Hidroelektrik santrali (HES) olarak isimlendirilmiştir.

Materyal

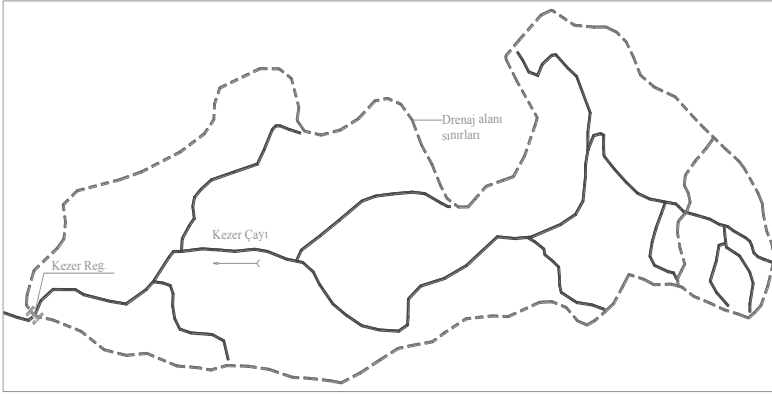
Proje sahasının tanıtılması

Güneydoğu Anadolu Bölgesinin kuzeydoğu ucunda bulunan Siirt ili 41⁰-57⁰ doğu boylamı ve 37⁰-55⁰ kuzey enlemi üzerinde yer alır. Siirt İli'nin yüzölçümü 6.186 km²'dir. Siirt'in kuzeyi ve doğusu yüksek ve sarp kesimlerdir. Genel olarak Güneydoğu Toroslar adıyla anılan bu dağ sırası, doğudan güneydoğuya genişçe bir yay çizerek Hakkari Dağları'yla birleşmektedir. Dicle Vadisi'ne eğimli olan bu yüksek ve sarp kesimde yer alan önemli dağlar Muş güneyi dağları ve Siirt doğusu dağlarıdır. İlin kuzeyindeki ve doğusundaki dağlık kesimlerden güneye ve batıya yönelik vadiler, Güneydoğu Anadolu düzlüklerinin doğu ucuna ulaşmaya kadar genellikle pek geniş değildir. Bu nedenle,

Siirt'te ovalık alanlar fazla değildir. Ovalar il topraklarının yalnızca %2,8'ini oluşturur. Bölge, Güneydoğu Anadolu düzlüklerinden sonra birden yükselmekte, doğu ve kuzey kesimleri bol yağış almaktadır. Dicle Irmağı, kuzeyden Batman Çayı, Garzan Çayı ve Botan Suyu gibi büyük akarsuları alır. Siirt'in kuzey ve doğusundaki dağların sularını toplayan bu akarsular Dicle ırmağının en önemli su kaynaklarıdır. Ayrıca 300 km uzunluğunda Botan Suyu da mevcuttur.

Projenin yerüstü su kaynağı Kezer Çayı ve yan kollarıdır. Proje yağış alanının kuzey doğu kesiminde, yaklaşık 2700.00 m kotlarından doğan Sapur Deresi daha sonra sağ ve sol sahilten irili ufaklı yan kolların katılımıyla Güzel Dere ismini almıştır. Güzel Dere daha

sonra Baykan Çayı adını almış ve yaklaşık 1050.00 m kotlarında Ceviz Derenin katılımıyla Çobansuyu olarak ismi değişmiştir. Sağ sahilten Harmanyeri Deresinin katılımıyla Koca Çay adını almıştır ve sonrada yan kolların katılımıyla Kezer Çayı ismini alarak 569.00 m kotunda regülatör yerine ulaşmaktadır. Güney yönünde akışına devam eden Kezer Çayı'na sağ ve sol sahilten kollar katılmakta ve 532.00 m kotunda Pınarca Çayı olarak santral yerine ulaşmaktadır. Kezer Çayı 577 m kotundaki drenaj alanı 1077 km² dir. Şekil 1. de drenaj alanı ve drenaj ağı haritası verilmiştir. Kezer Regülatörü ve HES için planlanan proje alanını gösteren haritalar, Mardin M47-b1 ve b2 ile Muş L47-c3 ve c4 no'lu 1/25.000'lik haritalarda yer almaktadır.



Şekil 1. Kezer Çayı drenaj alanı ve drenaj ağı haritası

Metod

Proje Formülasyonunun Belirlenmesi

Proje formülasyonunu belirlemek amacıyla proje sahası incelemelerinde 1/25.000 lik topografik haritalardan ve Google Earth programından faydalandığı gibi arazinin yerinde incelemeleri yapılarak arazinin topografik durumu, tarım alanlarının etkisi, tarihi ve kültürel varlıkların ve jeomorfolojik durumunun tesbiti yapılmıştır. Şekil 2'de proje sahasına ait uydu görüntüleri, Şekil 3 ve Şekil 4'de ise arazi resimleri verilmiştir. Bu incelemeler sonucunda; proje biriktirmesiz HES

olarak düşünölmüştür. Regülatör aks yeri, talveg kotunun belirlenmesi amacıyla yapılan incelemeler sonucunda 560 m kotuna yaklaşıldıkça talveg genişliğinin artması ve bunun sonucunda maliyetlerin yükselmesi riskine karşı 565 m kotu alternatif olarak düşünölmüş ancak bu kotta tarım arazilerinin sular altında kalmasından ötürü yine maliyetlerin artmasını ve tarım arazilerinin işgal edilmesini önlemek amacıyla regülatör aks yerinin 569 m kotuna alınması uygun görölmüştür. Regülatör ile çevrilen suyun iletimini sağlamak amacıyla tünel, betonarme kondüvi ve iletim kanalı alternatifleri arasında değerlendirme yapılmıştır. Ancak, tünelin

Kezer Çayı'nın hidroelektrik enerji potansiyelinin değerlendirilmesi

kanallı iletme göre yaklaşık 5 kat daha maliyetli ve betonarme kondüvi maliyetinin kanallı iletme göre yaklaşık 2.5 kat daha maliyetli olması ve arazinin topografik şartlarının kanallı iletme elverişli olması nedeniyle serbest yüzeyli trapez kesitli kanal düşünülmüştür. İletim kanalı güzergâhı için projenin sağ sahilinin çok fazla tarım arazisi ve yerleşim yeri içermesi ve morfolojik özellikleri ile güvenli bir görünüm vermemesi nedeniyle iletim kanalının sol sahilde yapılması düşünülmüştür. İletim kanalının toplam uzunluğu 8.200 m'dir. Atmosfere açık iletim kanalı ile yapılan isalenin cebri boru ile bağlantısını sağlamak amacıyla yükleme havuzu (yükleme odası) yapılmıştır. Yükleme havuzu cebri borunun basınçlı çalışmasını sağlamak, türbinin en az 1 dakikalık su ihtiyacını depolamak ve suyun türbinlere girişi ve suyun ani kesilmesi durumunda oluşan geri tepmeleri karşılamak amacıyla yapılır. (Berkün, 2005)



Şekil 2. Kezer regülatörü ve HES regülatör yeri ve iletim kanalı güzergahı uydü görüntüsü

Sonrasında transformatörle orta gerilimdeki elektrik enerjisi yüksek gerilime yükseltilecek şalt sahasına nakledilecektir. Türbinden çıkan suyun dere yatağına tekrar bırakılması işlemi kuyruk suyu denilen kanalla yapılmaktadır. Bu projenin kuyruk suyu kanal kotu 532 m'dir. Şekil 4'de Kezer regülatörü ve HES iletim kanalı güzergahı sonu görünmektedir.

Yükleme havuzundan santralde bulunan türbinlere suyun girişi cebri boru vasıtasıyla yapılır. Basınçlı çalışan cebri borular betonarme ve polietilen yapılabildiği gibi ağırlıklı olarak çelik borudan yapılır. Debinin büyüklüğüne

bağlı olarak cebri boru çapı değişken olur. Cebri borularda ortalama hız 3-6 m/s olması gerekirken maksimum hızın 10 m/sn olması istenir (Erdem, 2006). Kezer Regülatörü ve HES projesinde cebri boru boyu 100 m olarak belirlenmiştir.



Şekil 3. Kezer regülatörü ve HES iletim kanalı güzergahı

Cebri borudan gelen suyun enerjiye dönüşümünü sağlayan tesis santral binasıdır. Burada türbinlerden geçen su önce mekanik enerjiye dönüşür, türbinden geçen suyun enerjisi kullanılan türbinin verimine göre azalır ve jeneratöre devredilen enerji elektrik enerjisine dönüşür, ancak enerji miktarında jeneratör verimine göre yine azalma olur.



Şekil 4. Kezer regülatörü ve HES iletim kanalı güzergahı sonu, yükleme havuzu, cebri boru ve santral yeri

Su Debisinin Tesbiti

577 m-532 m olan proje çalışma sınırlarının hemen mansabında, Kezer Çayı üzerinde 530 m kotunda Pınarca köyü mevkiinde yer alan EIE 2624 nolu akım gözlem istasyonu (AGİ)'nin kayıtları 1972'den 2010 yılına kadar mevcuttur. Bu AGİ projenin temsili açısından yeterli süreye (39 yıl) ve eksiksiz bilgilere sahip olduğundan, başka bir istasyona ve istasyonlar arası istatistiksel incelemeye gerek duyulmamıştır. Bu debi ve akım değerlerinin regülatör yerine taşınarak regülatör yeri için debi ve akım değerlerinin tesbiti gerekmektedir. Bunun için regülatörün yer alacağı 569 m kotu için alan hesabı yapılarak kayıtlar alanlar oranı yöntemiyle regülatör yerine taşınmıştır. Çıkan debi sonuçlarından debi süreklilik eğrisi oluşturularak zamanın %95'inde var olan su debisi ve buna bağlı olarak firm (güvenilir) enerji miktarı belirlenmiştir.

Kurulu Güç Hesabı

Su temin çalışmaları yapılan projede kurulu gücü hesaplamak için net düşü hesabının yapılması gereklidir. Bunun için öncelikle yük kayıpları bulunacak ve sonra brüt düşü ile farkı alınarak hesaplama yapılmıştır.

Taşkın Hesabı

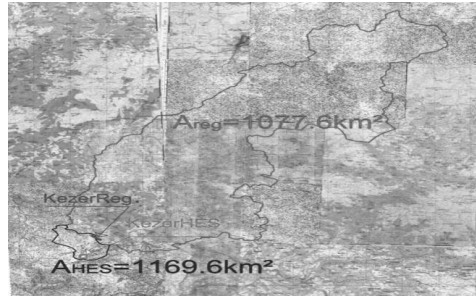
Regülatörün dolusavak kapasitesini belirlemek için taşkın hesaplarının yapılması gerekmektedir. Bunun için Bölgesel Taşkın Frekans Analizi yöntemi kullanılmıştır.

Bulgular ve Tartışma

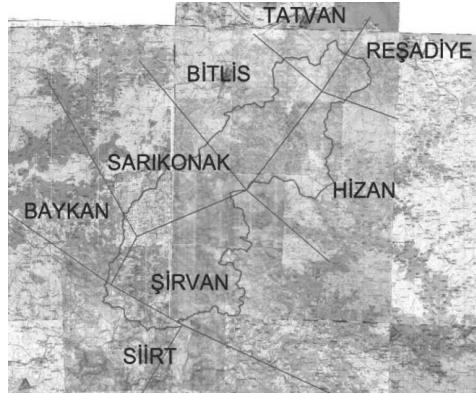
Bölgenin iklim ve Su Kaynakları

Kezer Çayı yağış alanı tamamen Doğu Anadolu ikliminin özelliklerini taşımaktadır. Bölgenin yağış, sıcaklık, buharlaşma, nispi nem, rüzgâr ve kar gibi meteorolojik parametreleri Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) ve Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından işletilmekte olan istasyonlarda tespit edilmektedir. Kezer Çayı'nın yaklaşık 569.00 m talveg kotunda teşkil edilecek olan Kezer Regülatörü, bu kotun üzerinde bulunan yağış alanından gelen suları çevirmesi planlanan bir tesistir. Şekil 5'de Kezer Regülatörü yağış alanı 1/25.000 ölçekli harita üzerine çizilerek

belirlenmiştir. Regülatör yeri yağış alanı 1077.60 km², santral yeri yağış alanı 1169.60 km²'dir. Proje yağış alanı civarındaki meteoroloji gözlem istasyonları kullanılarak çizilen Thiessen Poligonları Şekil 6'da verilmiştir. Proje yağış alanını Baykan, Siirt, Şirvan, Bitlis, Hizan, Reşadiye, Sarıkonak, Tatvan Meteoroloji Gözlem İstasyonları'nın temsil ettiği görülmüştür. Bu istasyonların temsil oranları sırasıyla % 2.11, % 4.43, % 36.08, % 19.67, % 13.79, % 4.23, % 15.86 ve % 3.82'dir.



Şekil 5. Regülatör yeri ve santral yeri drenaj alanı



Şekil 6. Meteoroloji istasyonları ve Thiessen poligonları

Proje yeri yakınındaki Tatvan Devlet Meteoroloji İstasyonu (DMİ)'nde yapılan yağış kayıtları Tablo 4'de verilmiştir. Yıllık toplam yağış 814.2 mm dir. Tatvan DMİ'ye ait aylık ortalama yağış değerlerine bakıldığında en fazla yağışın nisan ayında olduğu görülmektedir.

Kezer Çayı'nın hidroelektrik enerji potansiyelinin değerlendirilmesi

Mevsimsel dağılıma bakıldığında ise yıllık yağışın yaklaşık % 40'ı ilkbahar mevsiminde yağdığı görülmektedir.

Tablo 4. Tatvan Meteoroloji İstasyonu ortalama yağış değerleri

Mevsimler	Aylar	Ortalama Yağış (mm)		Toplam Yağışa Oranı,%	
Kış	Aralık	83.7	253	10.3	31.1
	Ocak	75.8		9.31	
	Şubat	93.8		11.5	
İlkbahar	Mart	109.3	325	13.4	39.9
	Nisan	127.0		15.6	
	Mayıs	88.6		10.9	
Yaz	Haziran	26.6	40.1	3.27	4.93
	Temuz	7.5		0.91	
	Ağustos	6.0		0.74	
Sonbahar	Eylül	18.0	196	2.21	24.1
	Ekim	76.2		9.36	
	Kasım	101.8		12.5	
	Toplam	814.2	814	100	100

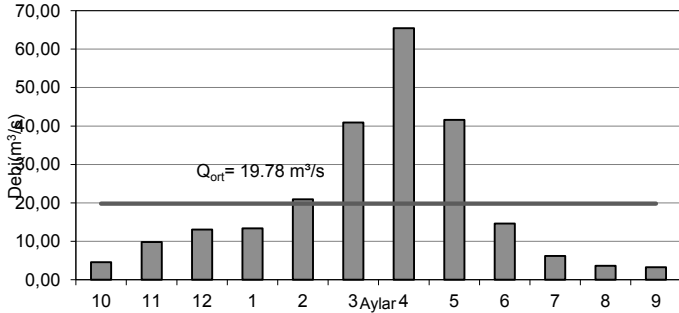
Proje alanı yakınındaki Siirt DMI'de ölçülen aylık ortalama sıcaklık değerlerinden faydalanılmıştır. Yıllık ortalama sıcaklık 15.63°C'dir. En sıcak ay 37.0°C ortalama sıcaklık ile temmuz ayı iken, en soğuk ay -0.5°C ortalama sıcaklık ile ocak ayıdır. Proje sahası yakınlarındaki Siirt Meteoroloji İstasyonu'nda buharlaşma ölçümü yapılmaktadır. Yıllık ortalama buharlaşma 1644.0 mm'dir.

Buharlaşma Temmuz ayında en yüksek değerine (373.2 mm) ulaşmaktadır.

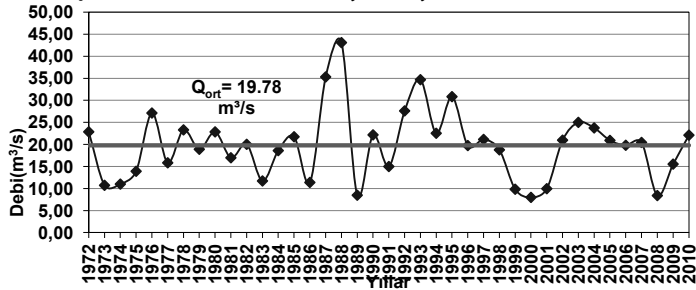
Projenin yerüsti su kaynağı Kezer Çayı ve yan kollarıdır. Proje yağış alanının kuzey doğu kesiminde, yaklaşık 2700.00 m kotlarından doğan Sapur Deresi daha sonra sağ ve sol sahilten irili ufaklı yan kolların katılımıyla Güzel Dere ismini almıştır. Güzel dere daha sonra Baykan Çayı adını almış ve yaklaşık 1050.00 m kotlarında Ceviz derenin katılımıyla Çobansuyu olarak ismi değişmiştir. Sağ sahilten Harmanyeri Deresinin katılımıyla Koca Çay adını almıştır ve sonrada yan kolların katılımıyla Kezer Çayı ismini alarak 569.00 m kotunda regülatör yerine ulaşmaktadır. Güney yönünde akışına devam eden Kezer Çayı'na sağ ve sol sahilten kollar katılmakta ve 532.00 m kotunda Pınarca Çayı olarak santral yerine ulaşmaktadır.

Kezer Regülatörü ve HES projesi kapsamında yapılacak olan tesislerin günlük ortalama debi değerlerini tespit etmek için proje alanı civarındaki Akım Gözlem İstasyonları incelenmiştir. EİE 2624 No'lu Kezer Çayı – Pınarca Akım Gözlem İstasyonu (AGİ) proje ile aynı dere üzerinde yer almaktadır. Bu istasyonun yağış alanı 1169.60 km², yaklaşık kotu ise 530 m'dir.

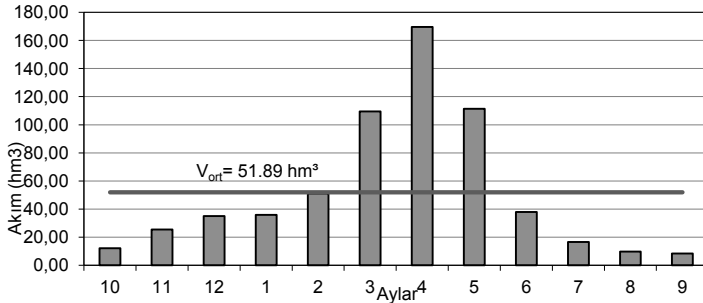
Kezer Çayı üzerinde 569.00 m talveg kotunda tesis edilmesi planlanan Kezer Regülatör yeri günlük ortalama akımlarının hesabında, EİE 2624 AGİ'nin günlük akım kayıtları kullanılmıştır. Bu AGİ'nin 1972- 2010 yıllarını kapsayan 39 yıllık döneme ait kaydedilmiş günlük ortalama debileri, aylık ve yıllık ortalama debileri (Şekil 7 ve Şekil 8), aylık ve yıllık toplam akımları (Şekil 9 ve Şekil 10) kullanılmıştır. Buna göre EİE 2624 AGİ'nin yıllık ortalama debisi 19.78 m³/s, yıllık ortalama akımı ise 622.73 hm³tür.



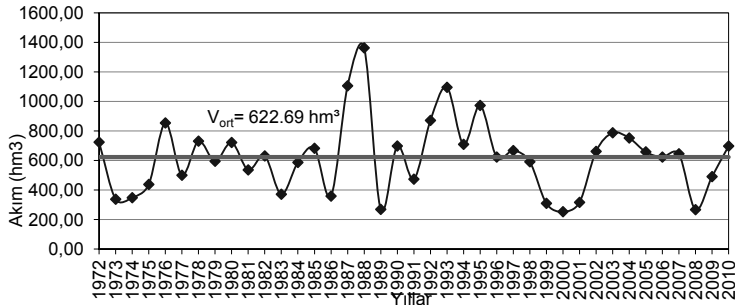
Şekil 7. EİE 2624 AGİ Uzun yıllar aylık ortalama debiler



Şekil 8. EİE 2624 AGİ yıllık ortalama debiler



Şekil 9. EİE 2624 nolu AGİ Uzun yıllar aylık ortalama akımlar



Şekil 10. EİE 2624 Nolu AGİ Uzun yıllar aylık ortalama akımlar

DSİ Genel Müdürlüğü'nden alınan bilgilere göre, Siirt İçmesuyu Projesi kapsamında Kezer Çayı'nın yaklaşık 1058 m. kotlarından yıllara göre kademeli olarak artan miktarda su çekilecektir. İçmesuyu ihtiyacı 2015 yılından 2045 yılına kadar, 558 l/s'den, 1067 l/s'ye kademeli olarak artmaktadır. İçmesuyu için çekilecek debiler Kezer Regülatör yeri ortalama debisine oranla düşük kaldığından ve güvenli tarafta kalabilmek adına, hesaplamalarda bu debi sabit ve 1067 l/s kabul edilmiştir.

Kezer Regülatör yerinde hesaplanan 1972-2010 yıllarını kapsayan toplam 39 yıllık döneme ait akımlar kullanılarak çizilen debi süreklilik eğrisi Şekil 11'de görülmektedir. Buna göre Kezer Regülatör Yeri'nin yıllık ortalama debisi 17.16 m³/s, yıllık toplam akımı ise 540.08 hm³ olarak belirlenmiştir.

Kezer Regülatörü ve HES projesi membasında sulama, içme veya kullanma suyu temini amacıyla mevcut veya planlanan bir proje bulunmamaktadır. Dere yatağına canlı hayatın devamı için cansuyu olarak isimlendirilen 1.616 m³/s debi sürekli olarak bırakılacaktır. Bu değer, DSİ hesaplamalarına göre belirlenmiş olup, regülatör yerinde hesaplanan son on yıllık (2001-2010 yılları) ortalama debinin % 10'u alınarak bulunmuştur.

EİE 2624 AGİ kayıtlarını Regülatör yerine taşımak için kayıtlarda belirtilen debiler alan oranında küçültüldü.

$$Q_{(reg)} = [A_{(reg)} / A_{(2624)}] \times Q_{(2624)} \quad (1)$$

$$A_{(2624)} = \text{EİE 2624 AGİ yağış alanı (km}^2\text{)}$$

$$A_{(reg)} = \text{Regülatör yeri yağış alanı (km}^2\text{)}$$

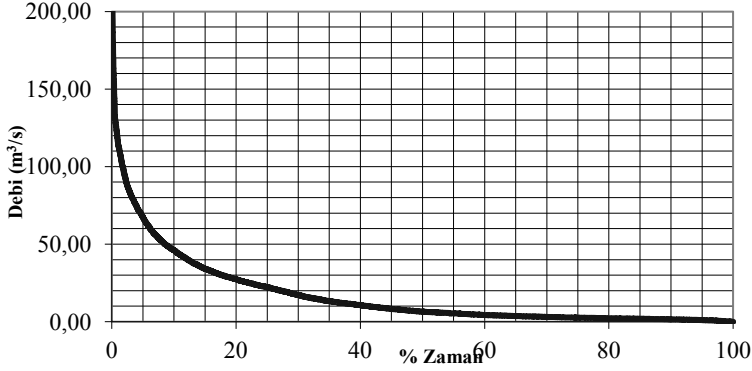
$$Q_{(2624)} = \text{EİE 2624 AGİ günlük ortalama akımları (m}^3\text{/s)}$$

$$Q_{(reg)} = \text{Regülatör yeri günlük ortalama akımları (m}^3\text{/s)}$$

Regülatör yerine taşınan kayıtlardan içmesuyu ihtiyacı olan 1.067 m³/s su çıkarılmıştır. Bunun sonucunda bulunan regülatör yeri günlük giriş debileri, işletme çalışmalarına esas olan su temin çizelgesi hazırlanmıştır. Oluşan yeni günlük debiler kullanılarak debi süreklilik eğrisi oluşturulmuştur.

Birikirtmesiz HES projelerinde kabul edilen güvenilir debi “zamanın en az %95’inde dere yatağında mevcut olan debi” olarak tarif edilmektedir (Buttanrı, 2006). Bunun için debi süreklilik eğrisinden faydalanılır. Bu değer yüksek olması havzada kaynak katılımlarının fazla olduğu, buna paralel olarak projenin verimliliğinin yüksek olduğu ortaya çıkmaktadır. Güvenilir güç “bu debi ile elde edilen güç”, güvenilir enerji ise “bu debi ile elde edilen enerji” olarak tariflenmektedir. Güvenilir olmayan enerji ise sekonder enerji olarak adlandırılmaktadır.

Debi Süreklilik eğrisinin oluşturulması için regülatör yeri günlük ortalama debi değerleri büyükten küçüğe doğru sıralandıktan sonra, her bir değerden ve yukarısında kalan değerden kaç adet olduğu yazılır. Sonra bu sayı toplam sayıya bölünerek zamansal yüzdesi bulunur. Debi ile zamansal yüzdelerin oluşturduğu bu eğri Debi Süreklilik Eğrisi (DSE)’dir (Bayazıt ve ark. 2001). Şekil 11’de DSE gösterilmiştir. DSE’den elde edilen sonuca göre zamanın %95’inde var olan debi 1.64 m³/sn’dir. Bu debiyle kurulacak santralin türbin gücü firm güç, üretebileceği enerji ise firm enerji olarak kabul edilir. Firm güç ve firm enerji hesaplamaları net düşü belirlendikten sonra verilecektir.



Şekil 11. Regülatör yeri debi süreklilik eğrisi

Kurulu Güç Hesabı

Projenin kurulu gücü debi ve düşüye bağlı olarak aşağıda belirtilen eşitlikle hesaplanmıştır.

$$P = 9.81 \times Q \times H \times \eta \quad (2)$$

Burada, P: Kurulu güç (Kwh), Q: Debi (m³/sn), H: Net düşü (m), η : Türbin verimi dir.

Bu eşitlikte verilen net düşüyü bulmak için ilk önce yük kayıplarını bulmak gerekir. Yük kayıpları suyun çevirme yapısından sonra türbine girinceye kadar; çökeltme havuzu, iletim kanalı, cebri boru ve dirseklerde oluşan kayıpların toplamıdır. Sırasıyla, çökeltme havuzundaki yük kaybı 0,40 m, iletim kanalındaki yük kaybı 3.28 m (8200x0.0004) ve cebri borudaki yük kaybı, Darcy- Weisbach bağıntısı ($(f/D) \times (v^2/2g) \times L$) kullanılarak 0.46m olarak bulunmuştur. Toplam yük kaybı 4.22 m olarak hesaplanmıştır. Net düşü, brüt düşüden kayıpların düşmesiyle bulunmuştur. Brüt düşü 45 (577-532) m olarak bulunmuş ve bu değerden 4.22 m (toplam yük kaybı) çıkarılmasıyla net düşü 40.78 m bulunmuştur.

Kurulu güç hesabına tekrar dönülecek olursa, tasarım debisi, DSE'den zamanın %15'inde varolan debi seçilerek 36 m³/s alınacaktır. Literatürde, Güvenilir güç hesabında, kurulu güç için Q₅₀ ve maksimum tasarım debisi Q₁₅ olarak verilmiştir. Başlangıç tasarım debisi, zamanın %15-%30'a karşı gelen değer olarak alınabileceği ifade edilmektedir (Bakış, 2009).

Kurulu güç P, 1325 Kwh veya 13.25 MWmekanik (9.81 x 36 x 40.78 x 0.92) olarak hesaplanmıştır. Bulunan kurulu güç türbin çevrimi ile elde edilen mekaniksel kurulu güçtür. Bu enerjiyi generatörde elektriksel enerjiye çevirmek için generatör verim katsayısı olan 0.98 katsayısı ile çarparak elektriksel gücü hesaplanır. Bu durumda Kurulu güç 13.00 MWelektrik olacaktır (Berkün, 2005).

Enerji Üretimi Hesapları

Bir yılda üretilebilecek enerji miktarı türbinden geçen yıllık su hacmi ve düşüye bağlı olarak hesaplanır. Yıllık su hacmi, cansuyu çıkarılmış tüm yılların ortalaması olarak alınmıştır.

$$E = 2.32.10^{-3} \times V \times H_{net} \times \eta \quad (3)$$

Burada, E: Yıllık üretilen net enerji miktarı (kwh), V: Yıllık türbinlenen su miktarı (m³), H: Net düşü miktarı (m), η : Türbin verimi dir. Toplam enerji 42.57GWh/yıl ($2.32.10^{-3} \times 489.12. 10^6 \times 40.78 \times 0.92$) olarak hesaplanmıştır. Firm enerji 4.44 GWh/yıl ($2.32.10^{-3} \times 50.96. 10^6 \times 40.78 \times 0.92$) olarak hesaplanmıştır. Sekonder enerji de 38.13 GWh/yıl (42.57-4.44) olarak hesaplanmıştır.

Türbin Seçimi

Türbin seçiminde en önemli kriter düşü ve debi faktörüdür. Yüksek debiler ve düşük düşülerde Kaplan tipi türbinler, düşük debi ve yüksek düşülerde pelton tipi türbinler, orta derecede debi ve orta düşülerde Francis tipi türbinler

tercih edilir. Türbin çıkış gücü verimi yaklaşık 0.92 olarak belirlenmiştir. Projenin dizayn debisinin ortalamasının üstünde olması nedeniyle türbinin sayısının iki adet olması daha uygun görülmüştür. Bunun için suyun debisi cebri borudan sonra santral girişinde bransman diye isimlendirilen kollarda ikiye bölünerek 18.00 m³/s olarak her bir türbinden geçirilmiştir. Her bir türbin gücü 6635 kwh olan iki ünite kullanılmıştır. 7350 kwh'den düşük olduğundan yatay eksenli Francis türbin kullanılmıştır. Türbinler batık çalıştığı için eksen kotları kuyruksuyu kotundan 1.00 m aşağı olmaktadır.

Taşkın Hesapları

Taşkın hesapları regülatör yeri için dolusavak hesaplarında kullanılmak üzere 100 yıllık taşkın frekansı hesaplanırken, santral yeri için suyun maksimum seviyesini belirleyerek santral binasının su basman görevini görecek olan çevre duvarının yüksekliğini belirlemek amacıyla DSİ tarafından 500 yıllık taşkın frekansı hesaplanması istenir. Bu proje kapsamında akım verilerinin sahayı tam olarak temsil etmesi ve kayıtların yeterli sayıda

olmasından ötürü bölgesel taşkın frekansı analizi yöntemi seçilmiştir.

BTFA yönteminde, yılda gözlenen anlık maksimum akım değerleri kullanılarak yapılır. Bunun için proje çevresinde bulunan en yakın 11 adet AGİ kayıtları incelenmiş, bunlardan yedi adet akım gözlem istasyonunun kayıtları kullanılmasına karar verilmiştir. Taşkın Frekans analizi EİE 2624, 2616, 2603, 2626, 2633, 2610 ve DSİ 26-24 için yapılmıştır. 5 yıldan az kayıtları bulunan istasyonların kayıtlarının kullanılmaması istendiğinden diğer istasyonlar işleme dahil edilmemiştir. (Gizbili,1995)

Bu istasyonların maksimum akım değerlerine ait frekans analizi çalışmaları NTFA yöntemiyle teker teker hesaplanmış ve en uygun istatistiksel dağılım her bir istasyon için belirlenmiştir. NTFA ile belirlenen 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 ve 500 yıllık taşkın frekanslarına 2 yıllık ve 5 yıllık frekansların enterpolasyonu ile belirlenen 2.33 yıllık taşkın frekansı da eklenerek Tablo 5'de gösterilmiştir.

Tablo 5. Bölgesel Taşkın Frekans analizi

İstasyon No	Y.Alanı (km ²)	Q ₂	Q _{2.33}	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₅	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀	Q ₅₀₀
2624	1169.60	234.78	247.98	354.77	427.34	512.61	572.07	628.56	682.75	736.93
2616	346.40	93.33	98.83	143.29	176.37	218.16	249.17	279.94	310.60	351.06
2603	2450.40	608.00	629.47	803.22	905.28	1014.18	1084.40	1147.63	1205.30	1274.88
2626	8761.20	920.59	974.09	1406.98	1729.02	2135.91	2437.76	2737.39	3035.92	3429.78
2633	8747.30	981.40	1022.05	1350.98	1595.68	1904.86	2134.23	2361.90	2588.74	2888.02
2610	640.40	201.58	212.07	296.95	360.10	439.89	499.08	557.83	616.37	693.60
26-24	1359.30	188.93	199.10	281.36	329.68	381.25	414.49	444.43	471.74	504.68

BTFA için kullanılan AGİ'lere ait gözlem süreleri Tablo 5'de verilmiştir. Gözlem aralığına göre iki adet baz periyot seçilmiştir. 1.baz periyot 1971'den 2010 yılına kadar olan dönemi kapsayan 40 yıldır. 2.baz periyot ise 1955'ten 2000 yılına kadar olan dönemi kapsayan 46 yıldır. Bu baz periyotlar için Homojenlik testi uygulanmıştır. Homojenlik testi neticesinde, kullanılan bütün istasyonlar Homojenlik testini geçmiş ve hepsinin boyutsuz taşkın yinelenme değerleri bulunarak istasyonlar boyutsuz hale

getirilmiş ve bölgesel taşkın frekans analizlerinde kullanılması uygun görülmüştür.

Hesaplamalarda AGİ'nin frekans analizi sonucu bulunan 2, 2.33, 5, 25, 50, 100 ve 500 yıllık tekerrürlü taşkın debileri regülatör ve santral yerine aşağıdaki formül kullanılarak taşınmıştır.

$$Q_{\text{Regülatör}} = (A_{\text{Regülatör}}/A_{\text{AGİ}})^{2/3} \times Q_{\text{AGİ}} \quad (4)$$

$$Q_{\text{Santral}} = (A_{\text{Santral}}/A_{\text{AGİ}})^{2/3} \times Q_{\text{AGİ}} \quad (5)$$

Verilen yinelenme süreleri için AGİ, regülatör ve santral yeri için hesaplanan taşkın değerleri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. BTFA sonuçları

Tekerrür Yılı	Santral yeri (m ³ /s)	Regülatör Yeri (m ³ /s)
2	328.98	307.84
2.33	345.68	323.47
5	480.81	449.91
10	574.64	537.71
25	687.98	643.77
50	769.24	719.8
100	848.13	793.62
500	1022.31	956.61

Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada Dicle havzasında bulunan Botan Çayı'nın bir kolu olan Kezer Çayı'nın 577 m ile 532 m kotları arasında kalan kısmın hidroelektrik potansiyelinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Bunun için öncelikle tesis için çevirme yapısı olarak düşünülen regülatörün 569 m kotuna yerleştirilmesi uygun görülmüştür. Regülatörden alınan suyun 8.200 m uzunluğundaki serbest yüzeyle akıma sahip iletim kanalı ile santrale iletimi düşünülmüştür. İletim kanalı sonunda suyun cebri boruyla santrale girişini kontrol edebilmek amacıyla yükleme havuzu tasarlanmıştır. Tüm bunların işletim sistemini belirlemek amacıyla su temini çalışmaları kapsamında Kezer Çayı üzerinde Pınarca köyü mevkiinde yer alan EİE 2624 nolu AGİ kayıtları incelenmiştir. Bu kayıtlardaki debi ve akım değerleri alansal oranda küçültülerek regülatör yerine taşınmış ve içmesuyu için gerekli debi değeri düşüldükten sonra regülatör yeri debi değerleri elde edilmiştir. Elde edilen değerlerle debi süreklilik eğrisi oluşturularak zamanın %95'inde varolan su debisi 1.64 m³/s olarak bulunmuştur. Çökeltim havuzu, iletim kanalı, cebri borudaki sürekli ve yersel yük kayıpları toplamı 4.22 m olarak hesaplanmış ve 45 m olan brüt düşüden düşürülerek 40.78 m olarak net düşü bulunmuştur. Debi, net düşü ve türbin verimi değerleri kullanılarak 13.25 MWh kurulu güç ve 42.57 GWh yıllık toplam enerji değerleri bulunmuştur. Son olarak regülatör dolusavak kapasitesinin belirlenmesi amacıyla taşkın hesaplamaları bölgesel taşkın frekans analizi

yöntemiyle yapılmış ve regülatör yeri taşkın debisi 793 m³/s olarak hesaplanmıştır.

Kaynaklar

- Bakış, R. Bilgin, M. Tuncan, A. ve Altan, M., (2009). Porsuk havzasındaki çok amaçlı barajlardan elektrik üretiminin araştırılması, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **22**, 2,
- Bayazıt, M. Avcı, İ. ve Şen, Z., (2001). Hidroloji Uygulamaları. *Birsen yayınevi, Yayın No:0029, 1-235, İstanbul.*
- Berkün, M., (2005). Su Kaynakları Mühendisliği. *Birsen Yayınevi, Yayın No:0029, 302-306, İstanbul.*
- Bulu, A., (2011). Hidroelektrik santrallerin önemi ve gerekliliği, *DSİ Teknik Bülten*, **110**, 1-4
- Buttanrı, B., (2006). Türkiye'de küçük hidroelektrik santrallerin tarihsel gelişimi ve bugünkü durum, *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul*
- Erdem, M., (2006). Küçük hidroelektrik santrallerin tasarım ölçütleri, *Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli*
- Gizbili, M., (1995). Hidroloji. *Bizim Büro Basımevi, Sayfa: 262, Ankara.*
- Kaygusuz, K., (2004). Hydropower and the World's energy future, *Energy Sources* **26**, 215-224
- Paish, O., (2002). Small hydro power: technology and current status, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **6** (6), 537-556.
- Punys, P., (2004). Small hydro power in the New EU Member States, *Hydroenergia* **04.Falkenberg, Sweden.**
- Serencam, U., (2007). Doğu karadeniz bölgesindeki küçük akarsuların hidroelektrik potansiyellerinin analizi, *Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Adapazarı.*
- Yüksek, Ö. Kömürçü, M.İ. Yüksel, İ. ve Kaygusuz, K., (2006). Hidroenerjinin Türkiye'nin enerji ihtiyacını karşılamadaki rolü, *Enerji Policy* **34**, 3093-3103.