

Sayı (Number): 1



**Hidroelektrik Enerji Potansiyeli Üzerine
İklim Değişimi Etkisi**

Sadık Alashan ve Zekâi Şen

**Aralık (December) 2016
İstanbul - Türkiye**

**YENİLENEBİLİR ENERJİ KÜLLİYESİ
TURKISH WATER FOUNDATION
RENEWABLE ENERGY FACULTY**

YENİLENEBİLİR ENERJİ BÜLTENİ : SAYI 1

Hidroelektrik Enerji Potansiyeli Üzerine İklim Değişimi Etkisi

Sadık Alashan ve Zekâi Şen

©2016 SU VAKFI

Tüm yayın hakları anlaşmalı olarak Su Vakfı'na aittir.
Kaynak gösterilerek alıntı yapılabilir, izinsiz çoğaltılamaz, basılamaz.

Basıma Hazırlayan :
Muhiddin YENİGÜN



SU VAKFI

Libadiye Cad. Doğanay Sokak No:6 Kat:4 Üsküdar İstanbul
Tel: (216) 412 3383 - Faks: (216) 412 3390
suvakfi@suvakfi.org.tr - www.suvakfi.org.tr

Hidroelektrik Enerji Potansiyeli Üzerine İklim Değişimi Etkisi

Sadık ALASHAN^a ve Zekai ŞEN^b

^aBingöl Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü,
sadikalashan@bingol.edu.tr

^bSu Vakfı, Libadiye Caddesi, Doğanay Sokak No: 6, Kat 4, Üsküdar, İstanbul,
zekaisensu@gmail.com

Özet

Enerji ihtiyacı günden güne artmaktadır. Bu artışın nedenlerinden ilki nüfusun artması, diğeri ise artan nüfusun refah seviyesinin yükselmesidir. Refah seviyesinin yükselmesi ile birlikte insan ihtiyaçları ve enerjiye olan bağımlılık daha fazla artmaktadır. Artan enerji ihtiyacının karşılanmasında yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağı olan hidroelektrik enerji büyük önem arz etmektedir. Hidroelektrik enerji üretimi için gerekli teknik günümüz teknoloji seviyesine uyumlu olduğundan toplam yenilenebilir enerji üretimi içinde, üretilen hidroelektrik enerjisi oranı diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha yüksektir. Bu durumun oluşmasının önemli bir diğer nedeni de biriktirmeli hidroelektrik üretim tesislerinin enerji üretimi yanında canlılar için temel ihtiyaç olan suyun depolanmasına imkân tanımasıdır. Hidroelektrik üretimi için gerekli olan kaynağın (su) yerel olarak karşılanması dışı bağımlılığın azaltılması ve ucuz enerji üretimi hususlarında önemli avantajlar sağlamaktadır. Bunun yanı sıra ana kaynağın doğal yollardan elde edilmesi hidroelektrik üretiminde doğal değişimlerin önemli rol oynamasına neden olmaktadır. Özellikle küresel iklim değişikliği suyun zamansal, mekânsal ve hacimsel dağılımında önemli değişiklikler meydana getirmekte ve bu durum hidroelektrik enerji üretiminde önemli değişikliklere yol açmaktadır. İklim değişikliği sonucunda suyun miktarında meydana gelen değişimleri belirlemek üzere bu çalışmada, yenilikçi yönelim analizi yöntemi (Şen, 2012) kullanılmıştır ve buna bağlı olarak ortaya çıkan hidroelektrik potansiyel değişimi noktasal hidroelektrik potansiyeli hesaplama yöntemi (Alashan ve diğ, 2016) ile belirlenmiştir. Çalışma alanı olarak Türkiye'nin Doğu Anadolu, Akdeniz, Karadeniz ve Ege bölgelerinde yer alan Keban, Çatalan, Hasan Uğurlu ve Demirköprü barajlarının membasında bulunan istasyonların akış değerleri ve dolayısıyla bu barajların üretebilecekleri hidroelektrik enerji potansiyellerinin değişimi incelenmiştir. Keban ve Hasan Uğurlu barajlarında yıllık brüt hidroelektrik enerji miktarlarında artış; Çatalan ve Demirköprü barajlarında ise azalış gözlenmiştir.

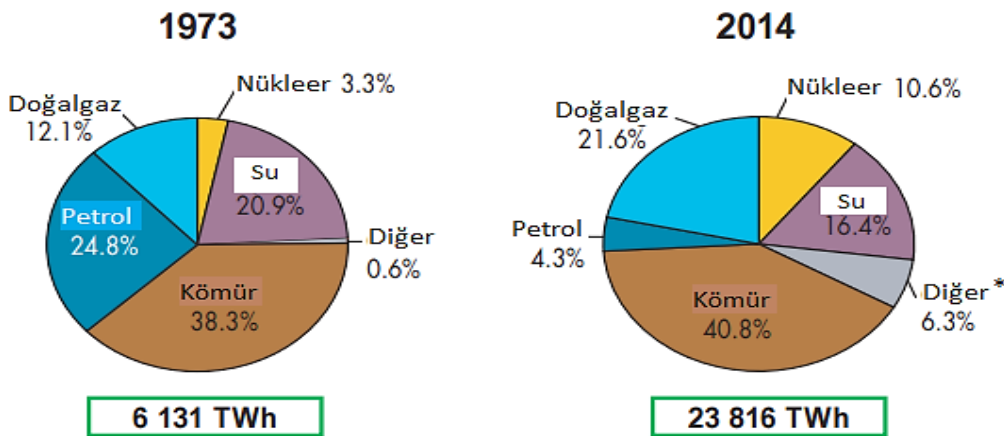
1. GİRİŞ

Su gücünden enerji üretimi diğer yenilenebilir enerji kaynakları arasında çok önemli yer tutmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA)'nın raporuna göre 2014 yılı için elektrik üretiminde suyun payı diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının toplamının yaklaşık 2,5 katıdır (Şekil 1). Yenilenebilir enerji kaynakları arasında suyun payı yüksek olmasına rağmen elektrik üretiminin hala önemli bir kısmı (%77,3) kirletici ve tükenbilir kaynaklardan elde edilmektedir. Tükenbilir ve kirletici kaynaklar atmosfere sera gazı yayılımı yaptığından iklim değişikliğine neden olmaktadır. İklim değişikliğinin etkilerinin incelenmesinde genellikle Mann-Kendall, Sperman's Rho ve eğimlerin medyanı gibi yönelim analiz yöntemleri kullanılmaktadır (Mann, 1945; Kendall, 1975; Lehmann 1975; Sen 1968). Bu yöntemler verilerin normal dağılımı ve bağımsızlığı varsayımı üzerinde inşa edilmiştir. Ancak doğal olayların ölçümü sonucunda elde edilen veriler her zaman normal dağılıma uymamaktadır ve aralarında bağımlılık bulunabilmektedir. Son zamanlarda Şen tarafından iklim değişikliğinin etkilerini belirlemek üzere başlangıç kabulleri gerektirmeyen "Yenilikçi Yönelim Analizi" (YYA) yöntemi ortaya atılmıştır (2012). Söz konusu yöntem hidro-meteorolojik verilere

başarıyla uygulanmıştır (Şen, 2012, 2014, 2016; Sonali and Kumar, 2013; Timbadiya ve diğ., 2013; Güçlü ve diğ., 2016; Dabanlı ve diğ., 2016; Elouissi ve diğ., 2016; Öztopal ve Şen, 2016). İklim değişikliği sıcaklık, yağış, buharlaşma ve debi gibi birçok hidro-meteorolojik olayların zamansal ve mekânsal değişiminde önemli rol oynamaktadır. Bu değişimler genellikle rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, dalga enerjisi ve hidroelektrik enerji gibi yenilenebilir ve temiz kaynakların potansiyelinde önemli değişikliklere yol açabilir. Hidroelektrik enerji potansiyeli brüt, teknik ve ekonomik olmak üzere üç grupta sınıflandırılır. Brüt hidroelektrik enerji potansiyeli enerji kayıplarını dikkate almaksızın bölgedeki tüm enerjiyi miktarını belirtir (Eurelectric, 1997). Bu çalışmada hidroelektrik potansiyelinin hesaplanması ve dönemsel değişimi YYA ve noktasal hidroelektrik hesaplama yöntemi (Dudhani ve diğ., 2006; Kusre ve diğ., 2010; Coşkun ve diğ., 2010) kullanılarak incelenmiştir.

2. YÖNTEM

Hidroelektrik enerji potansiyelini noktasal, çizgisel ve alansal olmak üzere 3 şekilde hesaplamak mümkündür. Alansal hesaplama havza bazında, çizgisel herhangi bir su kolu boyunca ve noktasal baraj gibi hidroelektrik santrallerin bulunduğu yer için potansi-



* Jeotermal, güneş, rüzgar, biyoyakıt v.b.

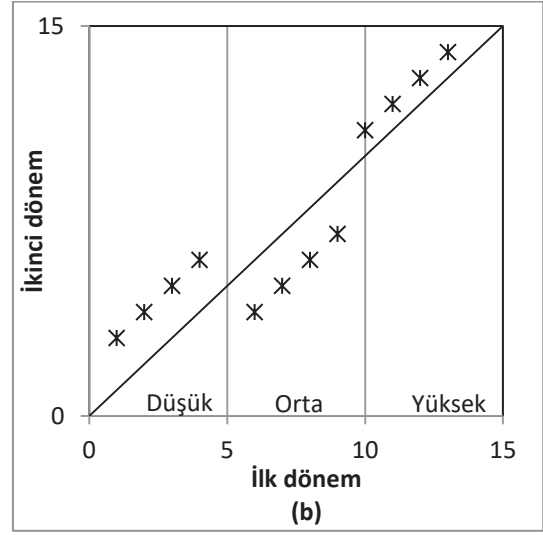
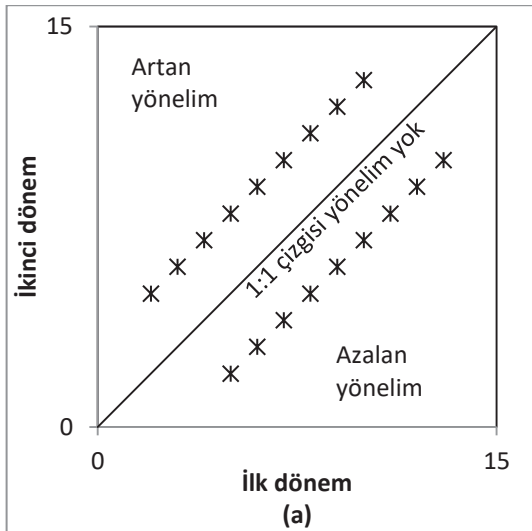
Şekil 1. Elektrik Üretimi için Yakıt Oranları (IEA, 2016)

yel enerji hesaplamayı sağlar. Bu çalışmada barajlardaki enerji potansiyeli değişimi hesaplanacağı için noktasal olarak hidroelektrik potansiyeli hesaplanmıştır. Bu yöntemde enerji miktarı gelen suyun akışına, yoğunluğuna, yüksekliğe ve zamana bağlı olacaktır (Denklem 1).

$$E = \frac{\gamma Qht}{3600 \times 10^6} \quad (1)$$

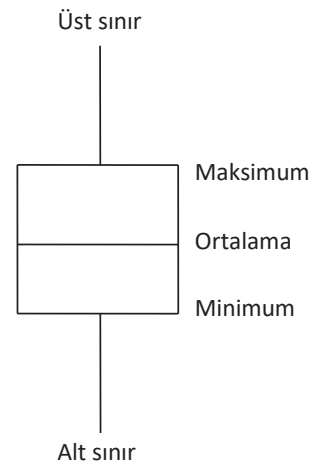
Burada, E, enerji (GWh), γ , özgül ağırlık (kN/m^3), Q, debi (m^3/s), h, yükseklik (m) ve t zamanı (s) göstermektedir. Bu parametrelerden iklim değişikliğinden en fazla etkilenecek parametre suyun akışdır. Suyun yoğunluğundaki değişim minimum düzeylerde olduğundan ihmal edilecektir. Yükseklik olarak baraj yüksekliği alınacağından sabit kabul edilecektir.

İklim değişikliği sonucunda hidroelektrik enerji potansiyelinde meydana gelecek değişim YYA yöntemi ile belirlenebilir. YYA yönteminde öncelikle incelenecek veri eşit uzunlukta iki döneme ayrılır. Her döneme ait veriler kendi içinde küçükten büyüğe doğru sıralanır. Sıralanan veriler yatay eksen ilk döneme ve dikey eksen ikinci döneme gelecek şekilde 1:1 eğriye sahip grafik üzerinde gösterilir (Şekil 2). 1:1 eğrinin üzerindeki noktalar değişimin olmadığını, altındaki noktalar azalmayı ve üstündeki noktalar artmayı göstermektedir.



Şekil 2.a) Tek düzenli b) Çok düzenli yönelim analizi

Bu çalışmada YYA yöntemine biraz daha farklı bir açıdan bakılmıştır. Bunun için dönemsel değişimin (ikinci dönem/ilk dönem) maksimum, ortalama ve minimum değerlerini gösteren değişim kutusu geliştirilmiştir (Şekil 3). Ayrıca dönemsel değişimin beklenen üst ve alt sınırları da bu değişim kutusunda gösterilebilir. Değişim kutusu üzerinde maksimum ve minimum çizgiler arasındaki mesafe değişimin sapması ile ilgili bir öngörü verebilir. Bu mesafe ne kadar fazla/az olursa değişimin sapması o kadar fazla/az olacaktır. Değişim kutusu üzerinde ortalama çizgisinin maksimum/minimum çizgisine yakınlığı değişimin sağa/sola çarpıklığını gösterir. Değişim kutusu üzerinde ortalama çizgisi minimum ve maksimum çizgilere eşit uzaklıkta ise bu durum değişimin normal dağıldığını gösterir.



Şekil 3. Tipik değişim kutusu

3. VERİ ANALİZİ VE UYGULAMA

İklim değişikliğinin barajlardaki brüt hidroelektrik enerjisi üzerinde etkisini incelemek üzere Türkiye'nin farklı bölgelerinden

barajlar seçilmiştir (Şekil 4). Bu barajlara gelen akışı belirlemek üzere barajın membасыndaki ana su kaynağı üzerindeki ilk istasyonun akış değerleri kullanılmıştır.



Şekil 4. Türkiye Barajlar ve Göller Haritası

Baraj haznesinin düzenleme etkisini bertaraf edebilmek için barajın mansap tarafından istasyon seçilmemiştir. Yıllık ortalama akış değerleri Elektrik İşleri Etüt İdaresi'nden elde edilmiştir. Elde edilen verilerin istatistik değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

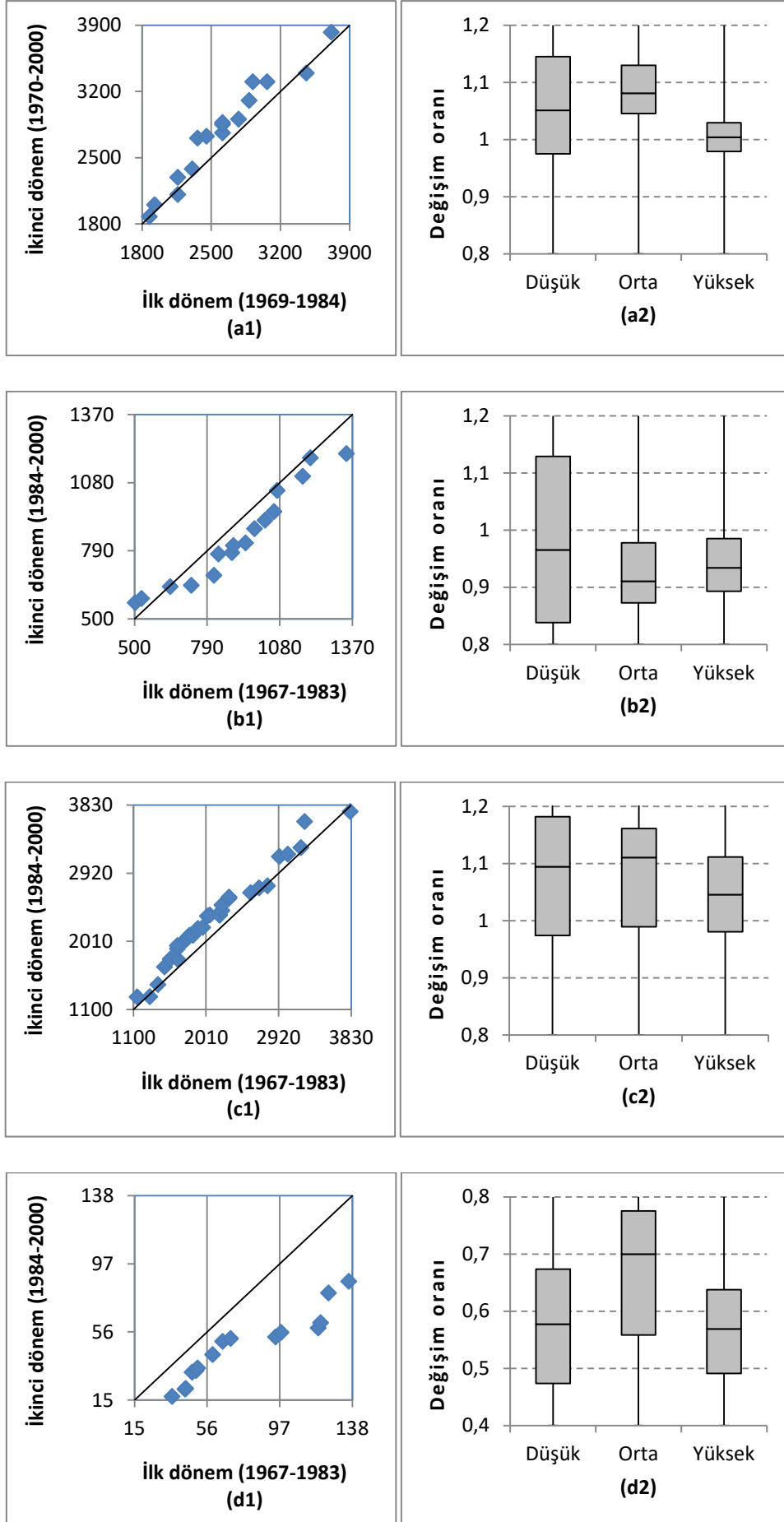
1818 numaralı istasyon en yüksek debi ve en düşük çarpıklık katsayısı değerine sahip olmasına rağmen en yüksek sapma değeri 1402 numaralı istasyonda elde edilmiştir. 523 numaralı istasyon en düşük debi ve en yüksek çarpıklık katsayısı değerine sahiptir.

Tablo 1. Temsili istasyonların İstatistik Değerleri

Çalışma Alanı	Temsili İstasyon	Ölçüm Aralığı	Yıllık Ortalama Değer (m ³ /s)	Standart Sapma (m ³ /s)	Çarpıklık Katsayısı
Keban Barajı	2156 - Elazığ	1969-2000	149,56	29,09	0,30
Çatalan Barajı	1818 - Adana	1966-2000	151,6	38,80	0,06
Demirköprü Barajı	523 - Manisa	1970-2000	10,09	5,33	0,84
Hasan Uğurlu Barajı	1402-Samsun	1939-2000	149,12	41,45	0,60

Noktasal hidroelektrik hesaplama ve YYA yöntemi Türkiye'nin Doğu Anadolu, Karadeniz, Akdeniz ve Ege bölgelerinde bulunan Keban, Hasan Uğurlu, Çatalan ve Demirköprü barajlarına uygulanmıştır. Noktasal hesaplama yöntemi kullanılarak öncelikle her yıla ait brüt hidroelektrik enerji potansiyeli GigaWattsaat (GWh) cinsinden hesaplanmıştır. Daha sonra YYA yöntemi kullanılarak hesaplanan potansiyeller iki

döneme ayrılmış ve daha sonra her dönem kendi içinde küçükten büyüğe sıralanarak 1:1 çizgisi ve değişim kutusu üzerinde dönemsel değişimleri elde edilmiştir (Şekil 5). Değişim değerleri ikinci dönemin değerlerinin ilk döneme bölünmesiyle elde edilmiştir. Böylece değişimin önceki döneme göre yüzde cinsinden değişim miktarını elde edilmiştir. Örneğin 1,1/0,9 değeri %10 artma/azalma durumuna karşılık gelmektedir.



Şekil 5. Hidroelektrik Enerji Potansiyelleri (GWh/yıl) a) Keban Barajı b) Çatalan Barajı c) Hasan Uğurlu Barajı d) Demirköprü Barajı 1) 1:1 çizgisi 2) Değişim kutusu

Keban barajını temsil eden 2156 numaralı istasyonun minimum ve ortalama enerji potansiyelinde artma görülürken maksimum potansiyel değerinde önemli değişim görülmemektedir. Minimum enerji potansiyelinde artış ortalama %4 seviyesinde iken ortalama potansiyelinde artış ortalama %8 seviyesindedir (Şekil 5a). Çatalan barajını temsil eden 1818 numaralı istasyonda düşük, ortalama ve yüksek değerlerin tümü için azalma tespit edilmiştir. Düşük, ortalama ve yüksek değerlerdeki azalış ortalama sırasıyla %3,5, %9 ve %6,6 seviyesindedir (Şekil 5b). Hasan Uğurlu barajını temsil eden 1402 numaralı istasyonun düşük, ortalama ve yüksek değerlerinde artış görülmektedir. Artış değerleri düşük, ortalama ve yüksek değerler için sırasıyla ortalama %9,4, %11,1 ve %4,5 seviyesindedir (Şekil 5c). Demirköprü barajını temsil eden 523 numaralı istasyon için en fazla azalış değerleri elde edilmiştir. Azalış değerleri düşük, ortalama ve yüksek değerler için sırasıyla ortalama %42,3, %30 ve %43 seviyesindedir (Şekil 5d).

4. SONUÇLAR

İklim değişikliği neticesinde meydana gelen artış/azalış temsili istasyonların tüm değerlerinde (düşük, orta, yüksek) artma/azalma şeklinde meydana gelmiştir. Barajların iklimi düzenleyici etkisinin bu durumu oluşturduğu tahmin edilmektedir. Türkiye'nin kuzey ve doğu bölgelerinde yer alan Hasan Uğurlu ve Keban barajlarında üretilebilecek yıllık hidroelektrik potansiyeli miktarında artış gözlenirken, güney ve batı bölgelerinde yer alan Çatalan ve Demirköprü barajlarında azalış gözlenmiştir. Barajları temsil eden istasyonların bazılarında artış, bazılarında azalış gözlenmesi yerküredeki su miktarının sabit olmasındandır. İklim değişikliğinden ötürü bazı yerlerde azalma olduğunda, suyun sabit miktarından ötürü diğer yerlerde artış zorunlu hale gelmektedir. En fazla azalma Demirköprü barajını temsil eden 523 numaralı istasyonun yüksek değerlerinde

%43 civarında meydana gelmiştir. En fazla artış Hasan Uğurlu barajını temsil eden 1402 numaralı istasyonun ortalama akışlarında meydana gelmiştir. Hidroelektrik enerji potansiyelinde meydana gelebilecek artış ve azalış miktarlarının önceden bilinmesi enerji planlamasında önemli bir rol oynayacaktır. Söz konusu çalışma Türkiye üzerinde birkaç baraj yeri üzerinde brüt hidroelektrik enerji potansiyeli değişimi üzerine yapılmış olmasına rağmen çalışma dünyanın diğer yerleri için rahatlıkla uygulanabilir.

KAYNAKLAR

- Alashan, S., Şen, Z. & Toprak, Z.F. (2016) Hydroelectric Energy Potential of Turkey: A Refined Calculation Method. Arab J Sci Eng, 41: 1511. doi:10.1007/s13369-015-1982-5
- Coskun H.G., Alganci U., Eris E., Agiralioğlu N., Cigizoglu H.K., Yilmaz L., and Toprak Z.F (2010) Remote Sensing and GIS Innovation with Hydrologic Modelling for Hydroelectric Power Plant (HPP) in Poorly Gauged Basins, Water Resources Management, 24(14), 3757-3772, DOI: 10.1007/s11269-010-9632.
- Dabanlı, İ., Şen, Z., Yeleğen, M.Ö. et al. (2016) Trend Assessment by the Innovative-Şen Method. Water Resour Manage, 30: 5193. doi:10.1007/s11269-016-1478-4
- Dudhani, S., Sinha, A.K. and Inamdar, S.S. (2006) Assessment of small hydropower potential using remote sensing data for sustainable development in India, Energy Policy, 34, 3195-3205, doi:10.1016/j.enpol.2005.06.011
- Eurelectric (1997a) Study on the importance of harnessing the hydropower resources of the world, Union of the Electric Industry (Eurelectric), Hydro Power and other Renewable Energies Study Committee, Brussels.

- Elouissi, A., Şen, Z. and Habi, M. (2016). Algerian rainfall innovative trend analysis and its implications to Mac-ta watershed. *Arabian Journal of Geosciences*, 9: 303. doi:10.1007/s12517-016-2325-x
- Güçlü YS, Şişman E, Yeleğen MÖ (2016) Climate change and frequency-intensity-duration (FID) curves for florya station istanbul. *J Flood Risk Manag.* doi:10.1111/jfr3.12229
- Kendall MG (1975) Rank correlation methods, 4th edn. Charles Griffin, London
- Kusre, B.C., Baruah, D.C., Bordoloi, P.K. and Patra, S.C. (2010) Assessment of hydropower potential using GIS and hydrological modeling technique in Kopili basin in Assam (India), *Applied Energy*, 87, 298-309, doi:10.1016/j.ap-energy.2009.07.019
- Lehmann EL (1975) Nonparametrics, statistical methods based on ranks. Holden-Day Inc, California
- Mann HB (1945) Non-parametric test against trend. *Econometrica* 13:245–259
- Öztopal, A. and Şen, Z., 2016, Innovative Trend Methodology Applications to Precipitation Records in Turkey, *Water Resources Management*, (baskıda)
- Sen PK (1968) Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *J Am Stat Assoc* 63:1379–1389
- Sonali P, Kumar Nagesh D (2013) Review of trend detection methods and their application to detect temperature changes in India. *J Hydrol* 476:212–227
- Şen Z (2012) Innovative trend analysis methodology. *J Hydrol Eng ASCE* 17(9):1042–1046
- Şen Z (2014) Trend identification simulation and application. *Journal of Hydrologic Engineering*, ACSE 19(3):635–642
- Şen, Z. (2016) Crossing trend analysis methodology and application for Turkish rainfall records. *Theor Appl Climatol*, doi:10.1007/s00704-016-1980-x
- Timbadiya P, Mirajkar A, Patel P, Porey P (2013) Identification of trend and probability distribution for time series of annual peak flow in Tapi Basin, India. *ISH Int J Hydrocarb Eng* 19(1):11–20

Tüm Su Vakfı bültenlerini <http://bulten.suvakfi.org.tr> adresinden bilgisayarınıza indirebilirsiniz.



SU VAKFI

Libadiye Cad. Doğanay Sokak No:6 Kat:4 Üsküdar İstanbul
Tel: (216) 412 3383 - Faks: (216) 412 3390
suvakfi@suvakfi.org.tr - www.suvakfi.org.tr